

# KONFERENCE ZKOUŠENÍ A JAKOST VE STAVEBNICTVÍ

Sborník recenzovaných příspěvků konference

**ZKOUŠENÍ A JAKOST VE STAVEBNICTVÍ 2013**

[www.zkouseniajakost.cz](http://www.zkouseniajakost.cz)

1. - 2. října 2013  
Fakulta stavební VUT v Brně

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

## **VĚDECKÝ VÝBOR KONFERENCE:**

prof. Ing. Jiří Adámek, CSc.  
Ing. Ondřej Anton, Ph.D.  
doc. Ing. Zdeněk Bažant, CSc.  
prof. Ing. Juraj Bilčík, PhD.  
doc. Ing. Jiří Dohnálek, CSc.  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
prof. Ing. Tibor Ďurica, CSc.  
Ing. Věra Heřmánková, Ph.D.  
prof. Ing. Leonard Hobst, CSc.  
doc. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.  
doc. Ing. Karel Kolář, CSc.  
doc. Ing. Vojtěch Mencl, CSc.  
prof. RNDr. Ing. Petr Štěpánek, CSc.  
Ing. Petr Tůma, Ph.D.  
doc. Ing. Tomáš Vymazal, Ph.D.



Sborník recenzovaných příspěvků konference  
ZKOUŠENÍ A JAKOST VE STAVEBNICTVÍ 2013

1. - 2. října 2013, Fakulta stavební VUT v Brně

Vydavatel: Vysoké učení technické v Brně

ISBN 978-80-214-4777-6

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

## OBSAH

<b>BLOK I. ZKOUŠENÍ BETONU A BETONOVÝCH KONSTRUKCÍ .....</b>	<b>9</b>
<b>SKÚSENOSTI Z DIAGNOSTIKY BETONOVÝCH KONŠTRUKCÍ</b>	
PETER BLAŽEK, MARTIN KORENKO, ADRIÁN ČELKO, MARIÁN BLAŽEK, BRANISLAV KUBÍK .....	11
<b>VPLYV PÔSOBENIA NÍZKEJ TEPLoty NA HODNOTU MODULU PRUŽNOSTI BETÓNU</b>	
MIROSLAV BRODŇAN, FRANTIŠEK BAHLEDA, JOZEF JOŠT, PETER KOTEŠ .....	17
<b>SKŮŠANIE BETONOVÝCH PRVKOV ZOSILNENÝCH CFRP MATERIÁLMI NA NÁRAZOVÉ ZAŤAŽENIE</b>	
JAKUB BRONDOŠ, JURAJ BILČÍK .....	25
<b>STANOVENÍ PŘESNÉ POLOHY DRÁTKŮ V KALIBRAČNÍCH VZORCÍCH DRÁTKOBETONU POČÍTAČOVOU TOMOGRAFII</b>	
LEONARD HOBST, PETR BÍLEK, ONDŘEJ ANTON, TOMÁŠ ZIKMUND .....	33
<b>VLIV PROTEPLENÍ NA PEVNOSTI UHPC</b>	
PETR HUŇKA, JIŘÍ KOLÍSKO, STANISLAV ŘEHÁČEK .....	43
<b>VLIV DÉLKY HYDRATACE CEMENTU NA MECHANICKÉ VLASTNOSTI BETONU</b>	
DALIBOR KOCÁB, JIŘÍ ADÁMEK, PETR CIKRLA, ONDŘEJ POSPÍCHAL .....	49
<b>VLIV VODNÍHO SOUČiniteLE NA KVALITU POVRCHOVÉ VRSTVY CEMENTOVÉ MALTY</b>	
TEREZA KOMÁRKOVÁ, DALIBOR KOCÁB, TOMÁŠ STAVAŘ .....	59
<b>ČEDIČOVÁ VLÁKNA – VLÁKNA NOVÉ GENERACE</b>	
MICHAELA KOSTELECKÁ, JIŘÍ KOLÍSKO .....	71
<b>MĚŘENÍ AUTOGENNÍHO SMRŠŤOVÁNÍ OD OKAMŽIKU ULOŽENÍ BETONU</b>	
MIROSLAV KRATOCHVÍL, IVAILO TERZIJSKI, JAROSLAV KADLEC .....	81
<b>VÝVOJ RECEPTURY A ZKOUŠENÍ HVFAC BETONŮ</b>	
LUCIE KRATOCHVÍLE, PETR HUŇKA, HANA ŠÁCHOVÁ, JIŘÍ KOLÍSKO .....	91
<b>ŠTÚDIA INTERAKCIE POŠKODENÝCH ŽELEZOBETONOVÝCH NOSNÍKOV SO ZOSILŇUJÚCIMI PRVKAMI PRI KRÁTKODOBOM ZAŤAŽOVANÍ</b>	
MARTIN KRIŽMA, JAROMÍR PETRŽALA, MAREK KOVAČOVIC .....	99
<b>VLIV RYCHLOSTI ZATĚŽOVÁNÍ NA PEVNOSTNÍ TŘÍDU DRÁTKOBETONU</b>	
VÁCLAV RÁČEK, JAN VODIČKA, JIŘÍ KRÁTKÝ .....	109
<b>ZKOUŠKY RÁZOVÉ ODOLNOSTI V PADOSTROJI</b>	
STANISLAV ŘEHÁČEK, PETR HUŇKA, JIŘÍ KOLÍSKO .....	117
<b>POROVNÁNÍ POVRCHOVÉ PROPUSTNOSTI CEMENTOVÉ MALTY PRO VODU METODOU ISAT A GWT S HLOUBKOU PRŮSAKU TLAKOVOU VODOU</b>	
TOMÁŠ STAVAŘ, TEREZA KOMÁRKOVÁ, DALIBOR KOCÁB .....	125
<b>MOŽNOSTI HODNOCENÍ POHLTIVOSTI PROTIHLUKOVÝCH PANELŮ</b>	
VÍTĚZSLAV VACEK, JAN HOLUB .....	135

---

<b>BLOK II. ZKOUŠENÍ DALŠÍCH STAVEBNÍCH HMOT, DÍLCŮ A KONSTRUKCÍ.....</b>	<b>141</b>
<b>ÚNAVOVÉ POŠKOZENÍ VE SKLO – EPOXIDOVÝCH KOMPOZITECH</b>	
PETR BROŽ, MARTIN ŠOLC.....	143
<b>DYNAMICKÉ A STATICKÉ MODULY PRUŽNOSTI BETONU</b>	
CIKRLÉ PETR, KOCÁB DALIBOR.....	156
<b>ZKOUŠENÍ VIZKOZITY INJEKTÁŽNÍCH SMĚSÍ V LABORATORNÍCH PODMÍNKÁCH</b>	
VÍT ČERNÝ, ROSTISLAV DROCHYTKA, ESTER VENHODOVÁ .....	167
<b>METODY POSUZOVÁNÍ HYDROIZOLAČNÍCH INJEKTÁŽNÍCH CLON</b>	
ROSTISLAV DROCHYTKA, PAVEL DOHNÁLEK, JINDŘICH MELICHAR.....	177
<b>ZKOUŠENÍ POŽÁRNÍ ODOLNOSTI V LABORATORNÍCH PODMÍNKÁCH</b>	
MICHAL FRANK, LENKA SMETANOVÁ .....	185
<b>DIAGNOSTIKA PŮVODU PROBLÉMŮ V KONSTRUKCI DŘEVĚNÉHO VAZNÍKOVÉHO KROVU</b>	
VĚRA HEŘMÁNKOVÁ, ONDŘEJ ANTON .....	193
<b>MOŽNOSTI VYUŽITÍ ODPADNÍCH MATERIÁLŮ Z VÝROBY MINERÁLNÍ VLNY PRO VÝROBU TENKOSTĚNNÝCH BETONOVÝCH PRVKŮ</b>	
IVANA CHROMKOVÁ, PAVEL LEBER, LUBOMÍR ZAVŘEL.....	201
<b>SKŮSENOSTI Z DIAGNOSTIKY POZEMNÝCH KOMUNIKACÍ</b>	
MARTIN KORENKO, PETER BLAŽEK, BRANISLAV KUBÍK, ADRIÁN ČELKO, MARIÁN BLAŽEK.....	209
<b>ZÁVISLOSŤ SÚČINITEĽA DIFÚZIE VODNEJ PARY OD VLHKOSTI – EFEKT POUŽITIA PREDPOKLADU KONŠTANTNEJ HODNOTY SÚČINITEĽA V MERANEJ VZORKE</b>	
OLGA KORONTHÁLYOVÁ.....	219
<b>PROBLEME IN DER VERWALTUNG DER BAU-UND ABRUCHABFÄLLE</b>	
MIRIAM LEDEREROVÁ .....	227
<b>MERANIE DEFORMÁCIÍ POLOTUHÉHO PRÍPOJA METÓDOU KONVERGENTNEJ FOTOGAMETRIE</b>	
MARIÁN MARČIŠ, MAREK FRAŠTIA.....	237
<b>SLEDOVÁNÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ HISTORICKÝCH CIHEL A VLIV POVRCHOVÝCH ÚPRAV NA JEJICH DIFUZNÍ VLASTNOSTI</b>	
ŠÁRKA NENADÁLOVÁ, LUKÁŠ BALÍK .....	247
<b>VPLYV CYKLICKÉHO ZMRAZOVANIA NA MECHANICKÉ VLASTNOSTI CEMENTOVÝCH KOMPOZITOV S OBSAHOM PLASTOVEJ DRVINY</b>	
JAROMÍR PETRŽALA, MARTIN KRIŽMA, PETER MIHÁLKA .....	257
<b>SLEDOVÁNÍ POKUSNÉHO PŘEDEPNUTÉHO ZDĚNÉHO OBJEKTU PO DOBU 16 LET</b>	
PAVEL ŠULÁK, ZDENĚK BAŽANT .....	265
<b>STANOVENIE MRAZUVZDORNOSTI PÁLENEJ KRYTINY PODĽA MAAGEHO</b>	
MIKULÁŠ ŠVEDA, MATEJ KERESTÚR, LENKA NEVŘIVOVÁ, RADOMÍR SOKOLÁŘ .....	275
<b>LABORATORNÍ PROVĚŘENÍ VHODNOSTI NEUTRALIZAČNÍHO KALU K SOLIDIFIKACI/STABILIZACI S CÍLEM VYUŽITÍ V PROCESU REKULTIVACÍ A VE STAVEBNICTVÍ</b>	
BOŽENA VACENOVSKÁ, ROSTISLAV DROCHYTKA, VÍT ČERNÝ.....	287
<b>ANALÝZA VLIVU ODPADU Z KAMENNÉ VLNY S OHLEDEM NA MOŽNOST MODIFIKACE SLOŽENÍ CEMENTOTŘÍSKOVÝCH DESEK</b>	
MIROSLAV VACULA, MARTIN KLVAČ, ROBERT MILDNER, TOMÁŠ MELICHAR.....	297
<b>POZOROVÁNÍ A OVLIVNĚNÍ STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ NA MIKROÚROVNI</b>	
JAROMÍR WASSERBAUER, MARTIN ZMRZLÝ, BERNHARD PICHLER .....	307

---

<b>BLOK III. NORMALIZACE A CERTIFIKACE VE STAVEBNICTVÍ, ŘÍZENÍ JAKOSTI A KVALITY .....</b>	<b>317</b>
<b>GEODETICKÉ PRÁCE PŘI KONTROLE KVALITY STAVEBNÝCH PRVKŮ A KONŠTRUKCÍ</b>	
JÁN JEŽKO .....	319
<b>OPAKOVATELNOST A REPRODUKOVATELNOST VÝSLEDKŮ ZKOUŠEK PODLE ČSN 73 1326</b>	
PETR MISÁK, TOMÁŠ VYMAZAL .....	335
<b>SITE DIARY- AN ESSENTIAL DOCUMENT OF A QUALITY CONSTRUCTION</b>	
MILAN NIČ .....	347
<b>CPR A ZMĚNY V POSTUPECH POSUZOVÁNÍ STAVEBNÍCH VÝROBKŮ OPATŘOVANÝCH ZNAČKOU „CE“ PO 1. 7. 2013</b>	
MIROSLAV PROCHÁZKA .....	357
<b>ZOBECŇOVÁNÍ NOREM ČSN A GEOMETRICKÁ PŘESNOST – K ČEMU MŮŽE V PRAXI DOJÍT?</b>	
LINDA VESELÁ .....	363
<b>PRVÉ EXPERIMENTÁLNE VÝSLEDKY Z MERANÍ NA SKÚŠOBNOM POLI POMOCOU GEOSONDY HUMBOLDT H-4140</b>	
DOMINIKA ĎUREKOVÁ, KATARÍNA ZGÚTOVÁ .....	373

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

<b>BLOK IV. PRAKTICKÉ UKÁZKY MĚŘENÍ A PŘÍSTROJOVÉ TECHNIKY NA ZKUŠEBNÍM POLYGONU</b> .....	<b>385</b>
<b>PRVNÍ ZKUŠENOSTI S GEORADAREM HILTI PS1000 PŘI STAVEBNĚ TECHNICKÝCH PRŮZKUMECH</b> ONDŘEJ ANTON, PETR CIKRLÉ, VĚRA HEŘMÁNKOVÁ.....	387
<b>PŘÍSTROJE PRO KONTROLU POVRCHOVÝCH ÚPRAV STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ</b> LIBOR KELLER.....	399
<b>VYUŽITÍ MĚŘICÍCH PŘÍSTROJŮ TESTO VE STAVENICTVÍ</b> JAROSLAV KMOCH.....	409
<b>VYUŽITÍ MAGNETOLEASTICKÉHO DYNAMOMETRU DYNAMAG<sup>®</sup> PRO MĚŘENÍ MECHANICKÉHO NAPĚTÍ V PŘEDPJATÝCH KONSTRUKCÍCH</b> PAVEL OBLUK, PETER FABO, JIŘÍ TKÁČ .....	417
<b>NEW NDT INSTRUMENTS FOR CONSTRUCTION INDUSTRY. TRENDS IN DEVELOPMENT</b> LUBOS MISAK.....	425



**BLOK I.  
ZKOUŠENÍ BETONU  
A BETONOVÝCH KONSTRUKCÍ**

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

## SKÚSENOSTI Z DIAGNOSTIKY BETÓNOVÝCH KONŠTRUKCIÍ

## KNOWLEDGES ABOUT DIAGNOSTICS OF CONCRETE STRUCTURES

**Peter Blažek, Martin Korenko, Adrián Čelko,  
Marián Blažek, Branislav Kubík**

INSET s.r.o.

***Anotácia:***

*Statik hovorí: „Ale je predsa normálne, že betón má trhliny.“ A diagnostik kontruje: „To máte síce pravdu, ale je normálne ak Vám obsah tej nádrže týždeň po napustení cez trhliny, aj mimo nich, presakuje?“. A nakoniec mal maslo na hlave zhotoviteľ stavby, ktorý nepoužil správny betón, kládol ho diletantsky a železo nebolo tam, kde má byť.*

***Annotation:***

*Project engineer says: „But it is normal that concrete has cracks“. And diagnostician opposes: „It is true but is it normal when the content of these reservoirs is leaking out through those cracks?“. Finally the problem was the Project builder. He used wrong concrete and the arrangement of concrete steel was wrong too.*

***Kľúčové slová:*** diagnostika, betónové konštrukcie

***Keywords:*** diagnostics, concrete structures

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

## 1. Úvod

Reálny (skutočný) stav stavebnej konštrukcie možno určiť realizáciou diagnostiky. Ideálne je použiť kombináciu deštruktívnych a nedeštruktívnych metód. Až následne je vhodné robiť potrebné opatrenia ako sú rekonštrukcia, zosilnenie, demolácia, atď.

## 2. Diagnostika fermentačných nádrží

Po naplnení nádrží začali na stenách vznikáť priesaky a trhliny. Projektant nás vyzval, aby sme našli príčinu porúch. Betónová stena je prístupná iba po štvrtine obvodu (možnosť diagnostikovania), ostatná časť je zaizolovaná.



*Obrázok 1.: Pohľad na fermentačné nádrže a koncový sklad*

Vzhľadom k tomu, že nádrže sú v prevádzke a na stenách sú značné poruchy, boli použité iba nedeštruktívne metódy.

### 2.1. Stanovenie vystúženia konštrukcie

Poloha výstuže, jej priemer a hrúbka krycej betónovej vrstvy bola určovaná prístrojmi od firmy HILTI – Ferrosan PS 200 (pracujúci na princípe elektromagnetického žiarenia) a CPR Radar PS 1000 X-scan vysielajúci vysokofrekvenčné elektromagnetické impulzy.

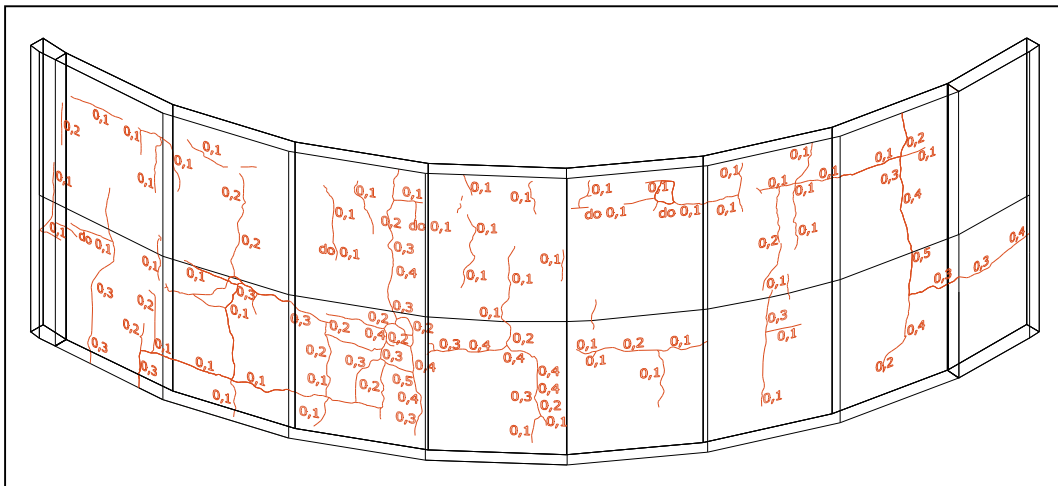


Obrázok 2.: Vyhľadávanie výstuže radarom PS 1000 X-scan

## 2.2. Podrobná prehliadka

Podrobná prehliadka nezaizolovaných častí nádrží bola realizovaná pomocou digitálneho fotoaparátu. Boli kvantifikované a kvalifikované vady a poruchy nádrží – štrkové hniezda, priesaky, trhliny.

V rámci prehliadky boli existujúce trhliny zakreslené na betónové steny predmetných nádrží. Pri ďalšej kontrole bude možné merať predĺženie existujúcich trhlín a identifikovať novo vzniknuté.



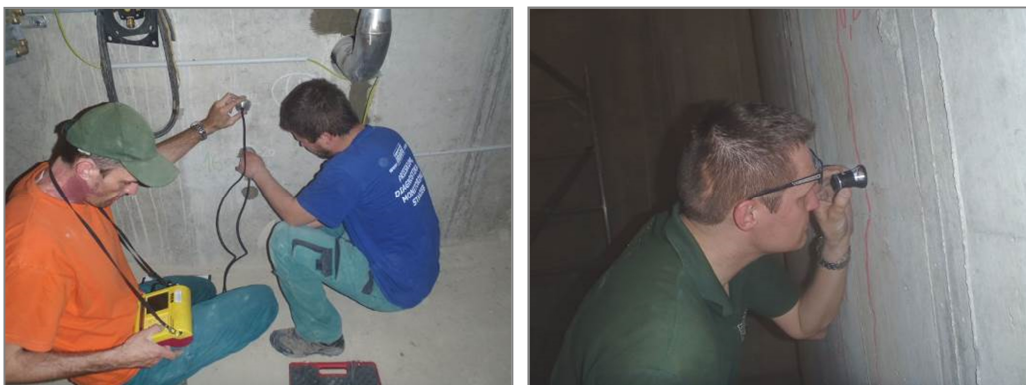
Obrázok 3.: Zdokumentovanie trhlín na stene (poloha a šírka)

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

Niektoré trhliny boli vybrané pre monitoring. V rámci nultého merania boli v meracích bodoch určené hĺbky a šírky trhlín – obr. 4.



*Obrázok 4.: Meranie hĺbky (vľavo) a šírky (vpravo) trhlín*

### **2.3. Kvalita betónu konštrukcie**

Pre stanovenie pevnosti betónu v tlaku bola použitá nedeštruktívna metóda pomocou Schmidtovo tvrdomeru. Jadrové vývrty, ktoré boli odobrané pri inštalácii technológie, boli upravené na skúšobné telesá pre skúšky:

- nasiakavosť betónu,
- určenie maximálneho priesaku vody,
- pevnosť betónu v prostom tlaku,
- modul pružnosti betónu v tlaku.

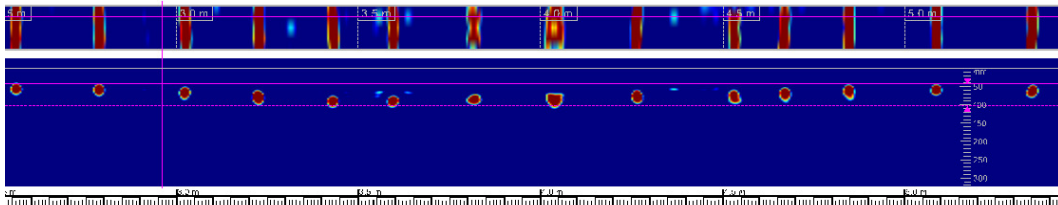
## **3. Vyhodnotenie výsledkov diagnostiky**

### **3.1. Stanovenie vystúženia konštrukcie**

Namerané údaje boli porovnávané s dostupnou projektovou dokumentáciou. Bolo zistené, že výstuž v konštrukcii je zdeformovaná pravdepodobne v dôsledku nedodržania technológie (betonáž steny z výšky 6,0 m).

Rozdielne osovú vzdialenosť prútov (zvislých i vodorovných), nie konštantné krytie, hlavne ale veľmi veľké krytie – obr. 5 (do 165 mm), majú za následok vytváranie trhlín v ťahovej oblasti betónu.

Paradoxne v miestach správneho vystúženia sú vizuálne identifikovateľné štrkové hniezda, ktoré mohli vzniknúť pri betonáži v dôsledku nedostatočného zhutnenia betónu.



Obrázok 5.: Nerovnomerné krytie výstuže

### 3.2. Kvalita betónu konštrukcie

Z nedeštruktívnych skúšok bola vypočítaná pevnosť betónu s nezaručenou presnosťou (STN 73 1373). Betón možno zatriediť do pevnostnej triedy C35/45.

Modul pružnosti bol určovaný jadrových vývrtoch. Výsledný modul pružnosti betónu v tlaku z ultrazvukovej metódy určený podľa STN 73 2011 je 32,3 GPa.

Pri skúške nasiakavosti betónu bola pri všetkých troch skúšobných vzorkách prekročená maximálna nasiakavosť betónu (6 % hmotnostných). Pri skúške vodotesnosti betónu bola pri všetkých troch skúšobných vzorkách prekročená maximálna hodnota priesaku vody (50 mm).

Z vyhodnotenia laboratórnych skúšok betónových vzoriek možno predpokladať, že pri výstavbe nádrží nebol použitý vodotesný betón, čo má vo veľkej miere za následok vznik priesakov, koróziu výstuže, zníženú životnosť konštrukcie.

## 4. Záver

Po vyhodnotení diagnostického prieskumu bolo zistené, že poruchy konštrukcie vznikli nedodržaním technologického postupu – betonáž z veľkej výšky a použitý betón nebol vhodný pre tento typ konštrukcie.

Realizáciou diagnostiky zistíme o konštrukcii také informácie, ktoré nám pomôžu navrhnúť ďalšie kroky, napr. sanáciu, rekonštrukciu, resp. demoláciu a opätovné postavenie konštrukcie. Škoda, že málokto správca, resp. investor má finančné prostriedky na diagnostiku stavebnej konštrukcie.

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

## **Kontakt**

Ing. PETER BLAŽEK, PhD., tel: 00421 908 227 886, e-mail: blazek.peter@inset.com, Inset s.r.o., Bytčická 72, 010 01 Žilina, SR.

Ing. MARTIN KORENKO, PhD., tel: 00421 907 686 194, e-mail: korenko.martin@inset.com, Inset s.r.o., Bytčická 72, 010 01 Žilina, SR.

Ing. BRANISLAV KUBÍK, tel: 00421 903 859 594, e-mail: kubik.branislav@inset.com, Inset s.r.o., Bytčická 72, 010 01 Žilina, SR.

Ing. ADRIÁN ČELKO, tel: 00421 905 559 151, e-mail: celko.adrian@inset.com, Inset s.r.o., Bytčická 72, 010 01 Žilina, SR.

MARIÁN BLAŽEK, tel: 00421 917 769 373, e-mail: blazek.marian@inset.com, Inset s.r.o., Bytčická 72, 010 01 Žilina, SR.



## VPLYV PÔSOBENIA NÍZKEJ TEPLoty NA HODNOTU MODULU PRUŽNOSTI BETÓNU

## EFFECT OF LOW TEMPERATURE ON VALUE OF ELASTICITY MODULUS OF CONCRETE

**Miroslav Brodňan, František Bahleda,  
Jozef Jošt, Peter Koteš**

Žilinská univerzita v Žiline, Stavebná fakulta,  
Katedra stavebných konštrukcií a mostov

***Anotace:***

*Z hľadiska praktických aplikácií je dôležité poznať ako sa mení modul pružnosti betónu, ktorý je v zimnom období vystavený nízkym teplotám. Prezentované sú čiastkové výsledky výskumu zameraného na sledovanie zmien hodnôt modulu pružnosti v čase zmrazovaných a nezmarazovaných betónových vzoriek.*

***Annotation:***

*In term of practical applications, it is important to know how the modulus of elasticity of concrete changes, which is exposed to low temperatures in wintertime. In the paper are presented the partial results of research oriented on monitoring the changes of the values of modulus of elasticity in time of frozen and non-frozen concrete samples.*

***Klíčová slova:*** Nízka teplota, modul pružnosti, pevnosť v tlaku, betón

***Keywords:*** Low temperature, modulus of elasticity, compressive strength, concrete

## 1. Úvod

Modul pružnosti patří k základným mechanickým vlastnostiam betónu. Výrazne ovplyvňuje deformačné vlastnosti betónu a teda aj deformácie betónových, železobetónových a predpätých konštrukcií, ako sú priehyby, posuny, pretvorenia atď. Všeobecne platí, že čím je väčší modul pružnosti betónu, tým menšie sú jeho deformácie a opačne. S narastaním modulu pružnosti sa znižujú deformácie betónu a zmenšujú sa priehyby konštrukcií. Napriek veľkému významu modulu pružnosti betónu pre deformačné správanie sa železobetónových konštrukcií je až na výnimky venovaná minimálna pozornosť tejto charakteristike betónu vo fáze návrhu a taktiež v realizačnej fáze.

Pri návrhu nových konštrukcií sa s modulom pružnosti v statickom výpočte uvažuje, ale väčšinou sa jedná o použitie normových (tabuľkových) hodnôt. Tieto tabuľkové hodnoty nemusia zodpovedať reálnym hodnotám, ktoré sa v skutočnosti dosiahnu pri praktických aplikáciách. Brať do úvahy normové hodnoty modulu pružnosti odvodené pre jednotlivé triedy betónu je preto v súčasnosti nepostačujúce. Pri konštrukciách náchylných na dosiahnutie veľkých deformácií je preto vhodné navrhnúť aj modul pružnosti a uviesť ho do špecifikácie betónu.

Z hľadiska praktických aplikácií je takisto dôležité poznať ako sa bude meniť hodnota modulu pružnosti betónu, ktorý môže byť v zimnom období vystavený nízkym teplotám ešte v čase tuhnutia a tvrdnutia betónu v konštrukcii.

## 2. Experimentálne merania

### 2.1. Vplyv zloženia čerstvého betónu na modul pružnosti

Pri návrhu a výrobe experimentálnych vzoriek je nutné zobrať do úvahy, že hodnota modulu pružnosti je ovplyvňovaná kvalitou použitých zložiek a ich vzájomným pomerom bez ohľadu na to, či je betón v prvých dňoch vystavený ideálnym alebo extrémnym podmienkam (napr. nízkym alebo mínusovým teplotám). Ak použijeme kvalitné prírodné kamenivo tak bude, mať vždy vyšší modul pružnosti ako zatvrdnutý cementová kameň. Výsledný modul pružnosti betónu by sa mal pohybovať medzi modulom pružnosti kameniva a cementového kameňa.

## 2.2. Stanovenie statického modulu pružnosti betónu

Pri stanovení statického modulu pružnosti betónu v tlaku sme postupovali v súlade se STN ISO 6784 [1].

Na realizáciu skúšok modulu pružnosti bolo vyrobených osem kusov betónových trámecov s rozmermi 100 x 100 x 400 mm (obr. 1). Na výrobu vzoriek sa použil betón STN EN 206-1 - C 30/37 - XC4, XD3 (SK) - Cl 0,4 - D<sub>max</sub>16 - S3. Bol použitý portlandský cement CEM I 42,5 R (Cement Hranice) a ťažené kamenivo (riečny štrk) frakcie 0-4, 4-8 a 8-16 mm.



Obrázok 1.: Vyrobené skúšobné vzorky.

Vzorky boli po vyrobení uložené a ošetrované v laboratórnom prostredí. Po troch dňoch boli vzorky odformované a štvrtý deň bol na dvoch vzorkách (I-4, II-4) zmeraný modul pružnosti. Štyri vzorky boli na 28 dní uložené do mraziaka (pri teplote - 15 °C). Následne bol na dvoch z nich (MI-28, MII-28) zmeraný modul pružnosti. V tom istom čase boli merania realizované aj na dvoch nezmrazených vzorkách (I-28, II-28). Posledné merania modulu pružnosti boli realizované na dvoch vzorkách (MI-28-28, MII-28-28), ktoré boli 28 dní v mraziaku a potom ešte po vybratí 28 dní uložené v laboratórnom prostredí.

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

Na zistenie pevnosti v tlaku betónu a určenie horného zaťažovacieho napätia (1/3 z maximálneho napätia) bolo tiež vyrobených ďalších osem kusov vzoriek (betónové trámce s rozmermi 100 x 100 x 400 mm).

Statický modul pružnosti v tlaku  $E_c$  je bol vypočítaný podľa:

$$E_c = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \varepsilon} = \frac{\sigma_a - \sigma_b}{\varepsilon_a - \varepsilon_b} \quad (1)$$

kde:  $E_c$  je statický modul pružnosti v tlaku [ $\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$ ],

$\sigma_a$  je horné zaťažovacie napätie [ $\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$ ] (1/3 z max. napätia),

$\sigma_b$  je základné napätie [ $0,5 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ ],

$\varepsilon_a$  je priemerné pomerné pretvorenie pri hornom zaťaž. napätí [-],

$\varepsilon_b$  je priemerné pomerné pretvorenie pri základnom napätí [-].

Samotné meranie modulu pružnosti betónu bolo realizované digitálnym príložným deformometrom (s meracou základňou 200 mm) a súčasne bola použitá aj tenzometrická aparatura SPIDER 8 s tenzometrami 1-LY41-50/120 (obr. 2). Obidva spôsoby merania boli pri vyhodnocovaní porovnané. Zmeny dĺžky boli pri obidvoch spôsoboch merané na dvoch opačných stranách každej vzorky.



Obrázok 2.: Skúšobná zostava.

Po vycentrování skúšobného telesa v skúšobnom zariadení sa aplikovalo základné napätie  $\sigma_b$ . Kontinuálne sa zaznamenali hodnoty sily a deformácie. Rovnomernou rýchlosťou sa zvýšilo napätie až na hodnotu  $\sigma_a$  (1/3 z maximálneho napätia). Po predpísanom udržaní napätia (po dobu 60 s) na hodnote  $\sigma_a$  sa zaťaženie znížilo na základné napätie  $\sigma_b$  rovnakým spôsobom ako počas zaťažovania vzorky. Potom sa vykonali ďalšie dva rovnaké zaťažovacie cykly. Po vykonaní posledného zaťažovacieho cyklu a udržaní napätia na hodnote  $\sigma_b$  sa vzorka znova zaťaží na hodnotu  $\sigma_a$  a následne sa zvyšuje zaťaženie vzorky až do jej porušenia (obr. 3).



*Obrázok 3.: Skúšobná vzorka MII-28-28 po porušení.*

Priemerné pomerné pretvorenia  $\varepsilon_a$  a  $\varepsilon_b$  sa vypočítali zo všetkých meraných miest v konkrétnom zaťažovacom cykle.

### 2.3. Výsledky merania

Výsledky merania pevností v tlaku a modulov pružnosti zisťovaných na trámoch digitálnym príložným deformometrom a tenzometrickou aparátúrou SPIDER 8 sú uvedené v tabuľke 1.

*Tabuľka 1.: Modul pružnosti nezmrazených a zmrazených vzoriek.*

Označenie vzorky	Pevnosť v tlaku [N . mm <sup>-2</sup> ]	E <sub>c</sub> deformometer [N . mm <sup>-2</sup> ]	E <sub>c</sub> tenzometricky [N . mm <sup>-2</sup> ]
I-4	22,7	26 700	26 900
II-4	20,8	26 300	27 200
I-28	38,1	32 900	33 400
II-28	39,6	30 900	31 300
MI-28	30,7	23 500	24 800
MII-28	30,6	22 100	22 600
MI-28-28	40,5	25 900	27 100
MII-28-28	42,0	26 400	27 800

Z výsledkov uvedených v tabuľke 1 je vidieť, že modul pružnosti zmrazených trámocv (MI-28, MII-28) nadobúda výrazne nižšie hodnoty ako modul pružnosti nezmrazených trámocv (I-28, II-28). Rozdiel pevností v tlaku medzi týmito vzorkami je takisto dosť výrazný v neprospech zmrazených vzoriek.

Pri vzorkách (MI-28-28, MII-28-28), ktoré boli ešte po 28 dňovom zmrazovaní uložené 28 dní v laboratórnom prostredí, môžeme oproti vzorkám, ktoré boli zmrazované 28 dní (MI-28, MII-28) vidieť nárast modulov pružnosti a aj na prekvapenie dosť výrazný nárast pevností v tlaku.

Rozdiel medzi výslednými hodnotami modulov pružnosti zisťovanými digitálnym príložným deformometrom a tenzometrickou aparátúrou SPIDER 8 s tenzometrami 1-LY41-50/120 sa pohybuje do cca 5 %.

### 3. Závěr

Teoretické predpoklady sú dobrým podkladom pre návrh zloženia čerstvého betónu, avšak ani ich splnenie nemusí zabezpečiť predpokladané dosiahnutie požadovanej hodnoty modulu pružnosti. Široká rôznorodosť používaných vstupných zložiek a druhov betónov naznačuje rozdielnosť v dosahovaných výsledkoch modulov pružnosti. Z tohoto dôvodu je potrebné zaoberať sa modulom pružnosti už v štádiu návrhu čerstvého betónu. Pre výrobcov betónov z toho vyplýva nutnosť overovania modulu pružnosti individuálne pre každý vyrábaný betón (napr. pri realizácii významných inžinierskych stavieb, aplikácii betónu v extrémnych či už letných alebo zimných podmienkach atď.), keď je to požadované, bez ohľadu na podobnosť v zložení s inými betónmi.

Prezentované výsledky ukazujú, že hodnota statického modulu pružnosti a pevnosti v tlaku betónu sa môže pôsobením nízkych teplôt výrazne meniť. Táto situácia môže pri praktických aplikáciách nastať napríklad pri uložení betónu do konštrukcie v zimnom období ešte v čase tuhnutia a tvrdnutia betónu.

V ďalších plánovaných experimentálnych meraniach bude zaujímavé sledovať zmeny modulov pružnosti a pevností v tlaku aj pri rôznych pevnostných triedach betónov s rôznym zložením (cement, kamenivo, vodný súčiniteľ, použitie prísad, prímiesí apod.).

### Pod'akovanie

Tento príspevok vznikol za finančnej podpory Grantovej agentúry VEGA SR v rámci riešenia úloh 1/0517/12, 1/0364/12 a podpory Agentúry na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0106-11.

### Literatúra

- [1] STN ISO 6784 Betón. Stanovenie statického modulu pružnosti v tlaku. SÚTN Bratislava. 1993.
- [2] STN EN 206-1 Betón. Časť 1: Špecifikácia, vlastnosti, výroba a zhoda. SÚTN Bratislava. 2002.
- [3] STN EN 1992-1-1 Eurokód 2. Navrhovanie betónových konštrukcií. Časť 1-1: Všeobecné pravidlá a pravidlá pre budovy. SÚTN Bratislava. 2006.

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

[4] BILČÍK, J.; FILLO, L.; BENKO, V.; HALVONÍK, J.: Betónové konštrukcie. STU Bratislava. 2008.

[5] UNČÍK, S.; ŠEVČÍK, P.: Modul pružnosti betónu. Edícia BetónRacio. Trnava. 2008.

[6] HUŇKA, P.; REITERMAN, P; KOLÁŘ, K.: Vlivy složení betonu na vývoj hodnot modulu pružnosti v tlaku. Construction Materials. Technická fakulta, SPU Nitra. 2013.

## **Kontakt**

Ing. MIROSLAV BRODŇAN, PhD., tel: 00421 41 513 5669, e-mail: brodnan@fstav.uniza.sk, Katedra stavebných konštrukcií a mostov, SvF ŽU v Žiline, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovensko.

Ing. FRANTIŠEK BAHLEDA, tel: 00421 41 513 5670, e-mail: frantisek.bahleda@fstav.uniza.sk, Katedra stavebných konštrukcií a mostov, SvF ŽU v Žiline, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovensko.

Ing. JOZEF JOŠT, tel: 00421 41 513 5676, e-mail: jozef.jost@fstav.uniza.sk, Katedra stavebných konštrukcií a mostov, SvF ŽU v Žiline, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovensko.

doc. Ing. PETER KOTEŠ, PhD., tel: 00421 41 513 5663, e-mail: kotes@fstav.uniza.sk, Katedra stavebných konštrukcií a mostov, SvF ŽU v Žiline, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovensko.



**SKÚŠANIE BETÓNOVÝCH PRVKOV  
ZOSILNENÝCH CFRP MATERIÁLMI  
NA NÁRAZOVÉ ZAŽAŽENIE**

**TESTING OF CONCRETE MEMBERS  
STRENGTHENED WITH CFRP MATERIALS  
UNDER IMPACT LOAD**

**Jakub Brondoš, Juraj Bilčík**

Stavebná fakulta STU,  
Katedra betónových konštrukcií a mostov

***Anotace:***

*Článok je zameraný na skúšanie betónových nosníkov pred a po zosilnení CFRP materiálmi. Výsledky skúšok preukázali vhodnosť a účinnosť zosilnenia.*

***Annotation:***

*The article is focused on testing of concrete beams under impact load before and after CFRP strengthening. Testing results demonstrate the suitability and effectiveness of strengthening.*

***Klíčová slova:*** Nárazové zaťaženie, CFRP, zosilňovanie

***Keywords:*** Impact load, CFRP, strengthening

## 1. Úvod

Intenzita výstavby dopravnej infraštruktúry, požiadavky na dodatočné zvýšenie odolnosti na mimoriadne a seizmické zaťaženia vyvoláva potrebu prehodnotenia odolnosti betónových konštrukcií na účinky nárazového zaťaženia. Stanovenie odozvy betónových konštrukcií na účinky nárazového zaťaženia môže byť, vzhľadom na krehké chovanie betónu, kľúčový problém pri ich návrhu, najmä v súvislosti s rizikom náhleho zrútenie (kolapsu) konštrukcie. Zvýšené riziko predstavujú najmä staršie konštrukcie, ktorých prvky, napr. stĺpy majú nedostatočnú priečnu výstuž. Boli urobené experimenty s cieľom overiť možnosti dodatočného zvýšenia odolnosti betónových prvkov existujúcich konštrukcií na účinky nárazového zaťaženia pomocou nových kompozitných materiálov na báze polymérov vystužených uhlíkovými vláknami (CFRP). Zosilnenie malo zvýšiť robustnosť celej betónovej konštrukcie zväčšením lokálnej odolnosti kritických prvkov.

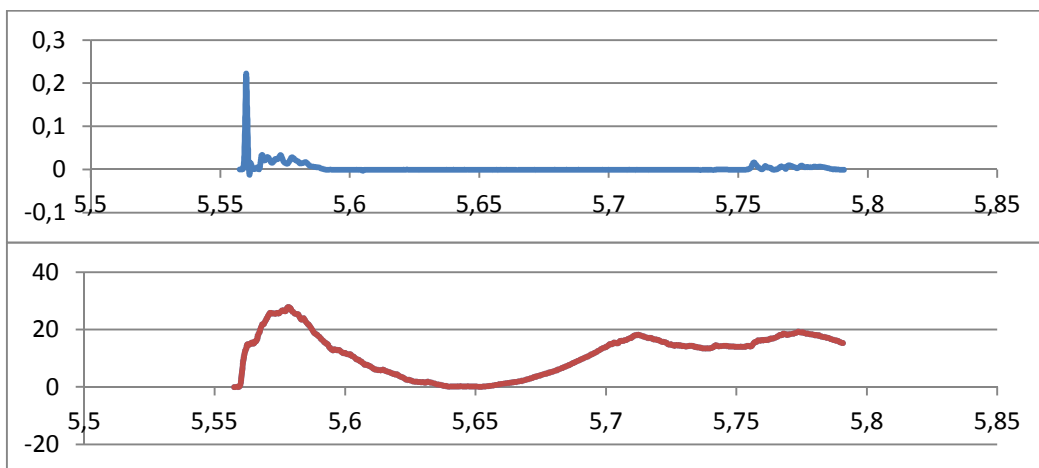
## 2. Experiment

Hlavný experimentálny program bol zameraný na odskúšanie desiatich vzoriek, dvoch nezosilnených, dvoch zosilnených ovnutím CFRP tkaninou, troch zosilnených CFRP lamelami v drážkach a troch zosilnených kombináciou lamiel a tkaniny. Pred hlavným experimentom bol uskutočnený „pilotný experiment“, nakoľko sa z technického hľadiska jedná o skúšanie odolnosti vzoriek zaťažovaných rázovým zaťažením, s čím je doposiaľ málo skúseností. Pilotný experiment mal overiť realizovateľnosť skúšky v podmienkach laboratória a navrhovanú metodiku.

### 2.1. Pilotný experiment

Vzorok pre pilotný experiment boli dva trámy 200/200/2200. Vystužené boli iba betonárskou výstužou – pozdĺžne 2 $\varnothing$ 10 pri hornom a spodnom povrchu, strmene  $\varnothing$  6/100, vzdialenosť podpier 1,95 m. Na nosník dopadalo 118 kg závažia v strede rozpätia z výšky 0.5,1.0,1.5 a 2.0 m. Na meranie boli použité odporové tenzometre umiestnené na výstuži, indukčné priehybomery s voľným jadrom a silomer v mieste dopadu závažia. Najlepšie výsledky poskytli priehybomery, ktoré potvrdili

predpokladané maximálne výchylky s rozdielom približne 5% pri porovnaní s teoretickou analýzou. Silomer potvrdil predpoklad, že špička sily pri náraze trvá iba pár tisícín sekundy. S daným silomerom je preto komplikované túto špičku presne odmerať. Dôvodom je použitie veľmi vysokej vzorkovacej frekvencie a existovali pochybnosti, či je silomer schopný v tak krátkom čase presne merať silu. Z týchto dôvodov v hlavnom experimente nebol silomer použitý, čo však nijako neovplyvnilo dôveryhodnosť výsledkov, pretože z hľadiska návrhu je vrchol sily v čase celého impulzu nepodstatný.



*Obrázok 1.: Sila (modrá krivka) a priehyb (červená krivka) v čase pri páde závežia z výšky 1m, vodorovná os – čas v sekundách, zvislá os – sila v MN a priehyb v mm.*

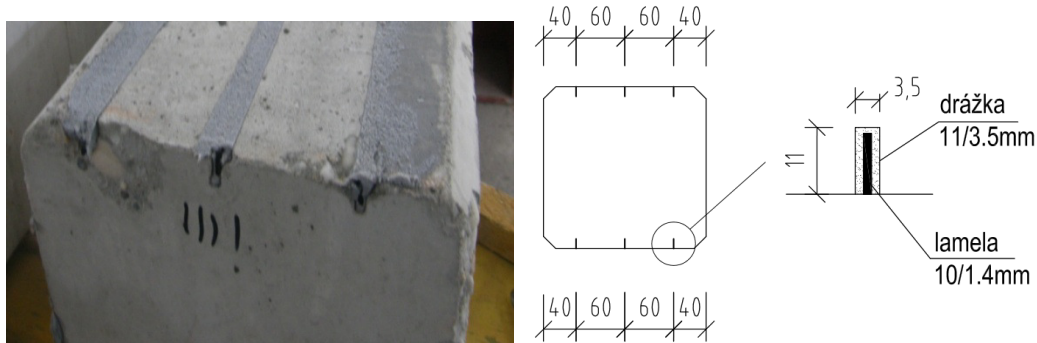
## 2.2. Hlavný experimentálny program

Pri experimente bolo použitých 10 železobetónových nosníkov prierezu 200/200 – dĺžka 2200. Nosníky sú vystužené betonárskou výstužou - pozdĺžne 2 $\phi$ 12 pri hornom a spodnom povrchu, strmene  $\phi$ 6/75. Krytie strmeňov 25 mm, krytie pozdĺžnej výstuže 33 mm. Debnenie bolo urobené tak, aby na vzorkách vznikli skosené hrany 15/15 mm. Všetky nosníky boli vyrobené v závode ZIPP Sereď. Železobetónové nosníky sa ďalej upravovali a zosilňovali v CL SvF STU. Dva nosníky sú nezosilnené (N1, N2), tri zosilnené CFRP lamelami v drážkach po celej dĺžke (ZL1 až 3), dva zosilnené ovinutím CFRP tkaninou po celej dĺžke (ZO1, ZO2) a tri zosilnené kombináciou lamiel a ovinutím tkaninou (ZK1 až 3). Všetky nosníky, ktoré sa zosilňovali ovinutím tkaninou boli upravené – hrany boli

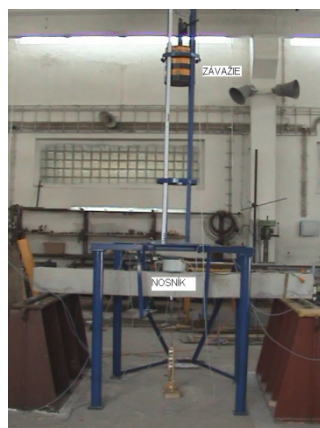
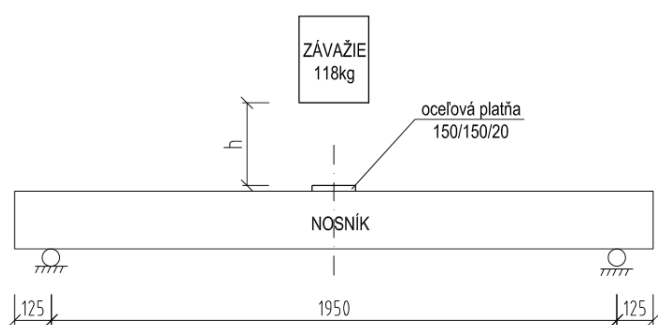
1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

obrúsené na polomer 25mm. Vzorky zosilňované lamelami boli upravené vytvorením troch drážok pri oboch protiľahlých povrchoch hĺbky 11 mm a šírky 3,5 mm.

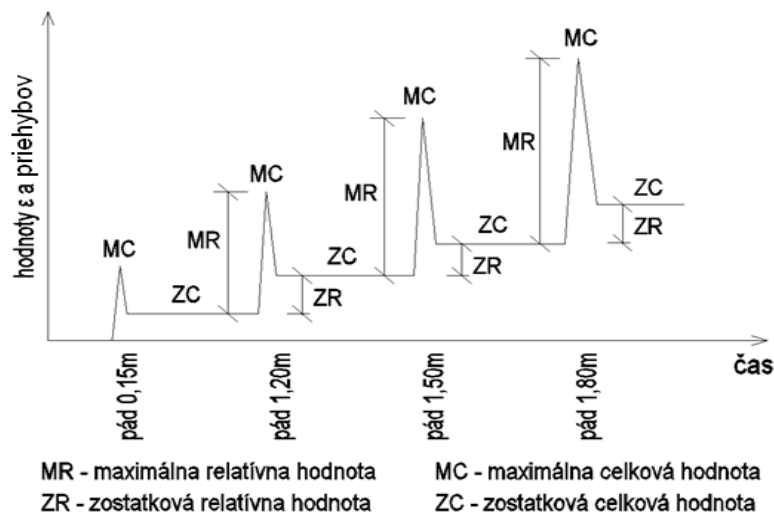


Obrázok 2.: Zosilňovanie vzoriek CFRP lamelami a tkaninou



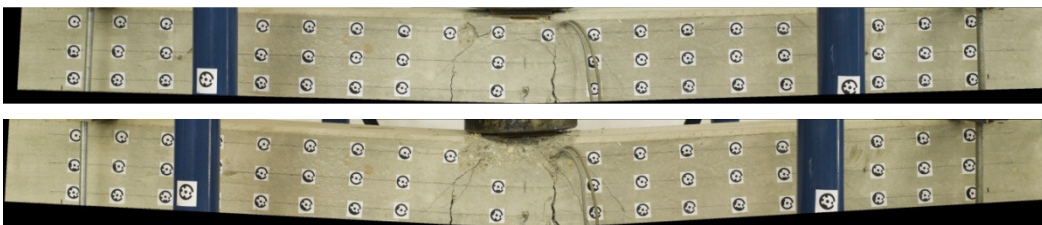
Obrázok 3.: Experimentálna zostava

Na meranie pozdĺžnych pomerných pretvorení boli použité odporové tenzometre LY11-6,10 a 50/120. Tenzometre dĺžky 6 mm boli umiestnené na pozdĺžnej betonárskej výstuži, dĺžky 10mm na CFRP lamelách a dĺžky 50 mm na povrchu betónu. Na meranie priehybov boli použité indukívne deformometre s voľným jadrom typu WA300. Každý nosník bol zaťažený pádom závažia, postupne z výšok 0,15; 1,2; 1,5; 1,8 a 2,1 m. Na hodnotenie deformácií nosníkov bola použitá aj vysokorýchlostná kamera a fotogrammetrické snímanie.



Obrázok 4.: Schematické vysvetlenie meraných hodnôt priehybu v strede rozpätia a pomerného pretvorenia materiálov po jednotlivých výškach dopadu závažia

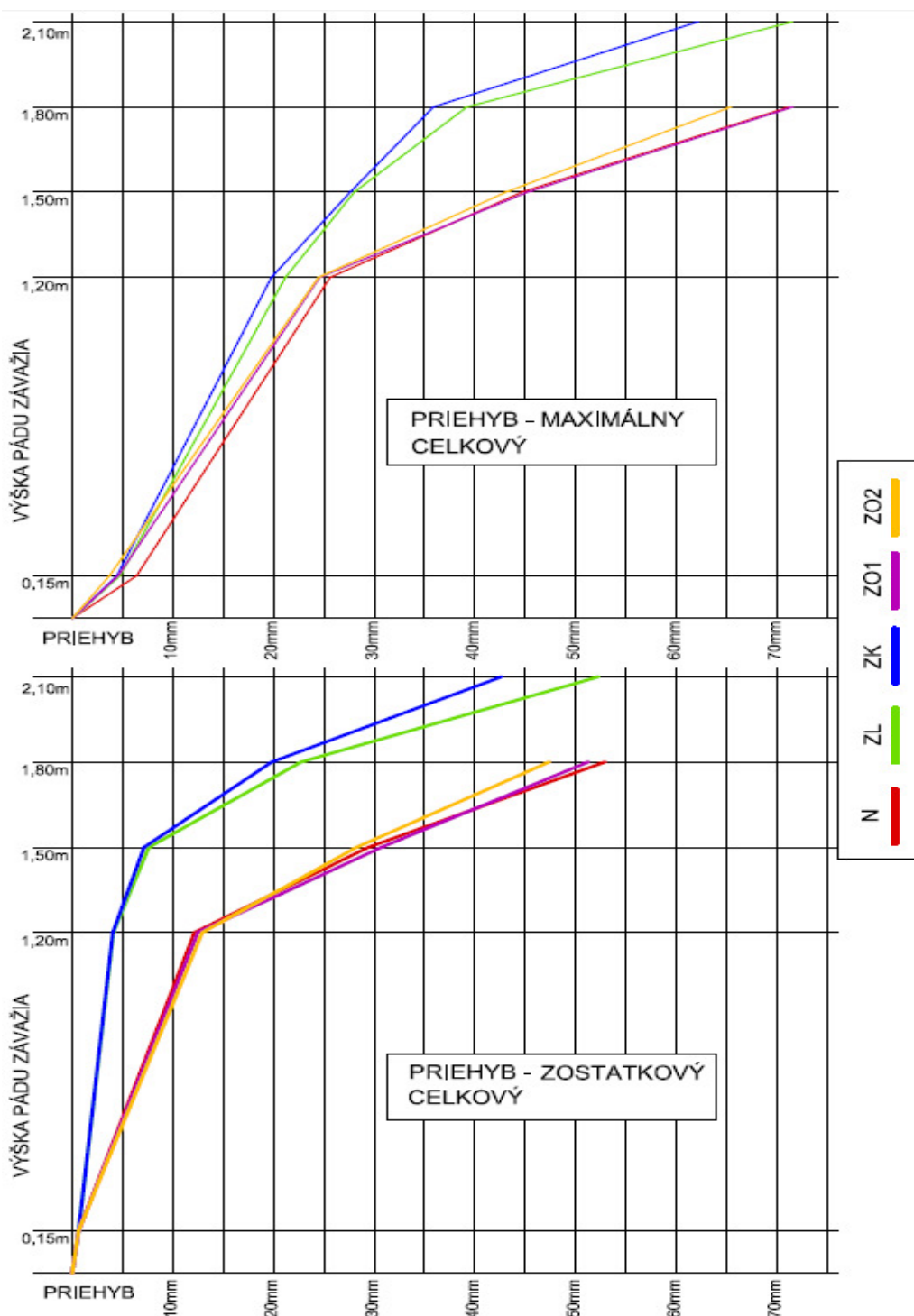
Najspolahlivejšie merania deformácií poskytli priehybomery, ktoré spoľahlivo merali priehyby v čase pri rýchlom dynamickom deji. Väčšina výsledkov tenzometrov bola nepoužiteľná (veľké rozptyly). Z fotogrammetrického snímania sa dali vyhodnotiť ohybové čiary nosníkov a veľkosť trhlin.



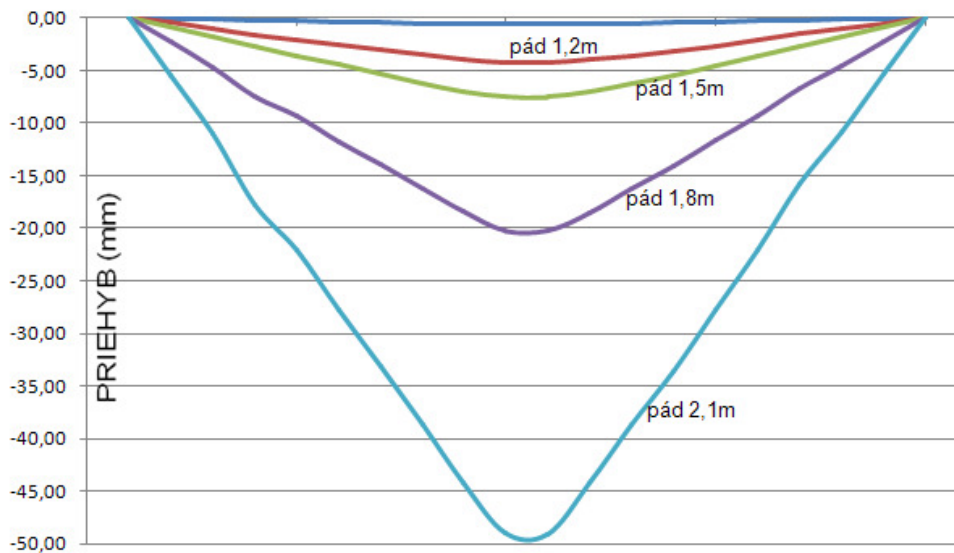
Obrázok 5.: Fotogrammetrická snímka porušeného nezosilneného nosníka pri páde závažia z výšky 1,5 a 1,8m.

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví



Obrázok 6.: Priehyby pri jednotlivých výškach dopadu závažia namerané priehyboermi.



Obrázok 7.: Ohybové čiary nosníka zosilneného CFRP lamelami získané z fotogrametrie po jednotlivých etapách zaťažovania.

### 3. Závery

Pri experimente sa dobre osvedčilo použitie indukčných deformometrov s voľným jadrom, fotogrametrické snímanie a použitie vysokorýchlostnej kamery. Naopak, pri experimentálnom overovaní prvkov na nárazové zaťaženie treba zvážiť použitie tenzometrie, prípadne použiť vhodnejší typ tenzometrov. Pri vzorkách ovinutých CFRP tkaninami tenzometre umiestnené na povrchu betónu a na niektorých lamelách, napriek starostlivej ochrane a inštalácií, neboli funkčné. Príčinou môže byť agresivita použitej laminačnej živice. Preto treba tenzometre aj ich kabeláž dokonale izolovať.

### Pod'akovanie

Experiment vznikol v rámci a s podporou výskumného projektu VEGA č.1/0784/12 Holistické navrhovanie a overovanie betónových konštrukcií

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

## **Literatúra**

[1] TANG, T. – SAADATMANESH, H.: Behavior of Concrete Beams Strengthening with Fiber-Reinforced Polymer Laminates under Impact Loading. In JOURNAL OF COMPOSITES FOR CONSTRUCTION, August 2003

[2] TACHIBANA, S. – MASUYA, H. – NAKAMURA, S.: Performance Based Design of Reinforced Concrete Beams Under Impact. In Natural Hazards and Earth System Sciences, Jún 2010

## **Kontakt**

Ing. JAKUB BRONDOŠ, tel: 00421 (2)59 274 380, e-mail: jakub.brondos@stuba.sk, Katedra betónových konštrukcií a mostov, SvF STU v Bratislave, Radlinského 11, 813 68 Bratislava.

Prof. Ing. JURAJ BILČÍK, PhD., tel: 00421 (2)59 274 546, e-mail: juraj.bilcik@stuba.sk, Katedra betónových konštrukcií a mostov, SvF STU v Bratislave, Radlinského 11, 813 68 Bratislava.



## STANOVENÍ PŘESNÉ POLOHY DRÁTKŮ V KALIBRAČNÍCH VZORCÍCH DRÁTKOBETONU POČÍTAČOVOU TOMOGRAFIÍ

## DETERMINATION OF THE EXACT POSITION OF THE WIRE IN THE CALIBRATION SAMPLES OF STEEL FIBER-CONCRETE BY COMPUTED TOMOGRAPHY

Leonard Hobst<sup>1</sup>, Petr Bílek<sup>2</sup>,  
Ondřej Anton<sup>1</sup>, Tomáš Zikmund<sup>3</sup>

- 1) VUT v Brně, Fakulta stavební, ÚSZK  
2) VUT v Brně, Ústav soudního inženýrství  
3) VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, ÚFI

### **Anotace:**

*Při vývoji nedestruktivních metod na stanovení koncentrace drátků v drátkobetonových konstrukcích se používají kalibrační vzorky, které mají simulovat definovanou koncentraci drátků. Tyto vzorky, používané pro přesné nastavení měřících sond, by měly být vyrobeny tak, aby byla zaručena deklarovaná koncentrace drátků. Při měřeních na některých kalibračních vzorcích však došlo k anomálním výsledkům při měření, a proto byla pro správnou interpretaci měření použita počítačová tomografie, která umožnila stanovit přesné rozmístění drátků v kalibračním vzorku.*

### **Annotation**

*In the development of non-destructive methods for determining the concentration of wires in steel fiber concrete structures used calibration samples to simulate a defined concentration of wires. These samples are used for precise measurement probes should be made so as to ensure*

*the declared concentration wires. When measured on some calibration samples, however, the anomalous results when measuring, and therefore was the correct interpretation of measurement used computed tomography, which allowed to determine the exact placement of wires in the calibration sample.*

**Klíčová slova:** *Nedestruktivní zkoušení, drátkobetonové konstrukce, homogenita drátkobetonu, magnetické metody, kalibrace.*

**Keywords:** *Non-destructive testing, steel fibre-concrete structures, homogeneity of wire distribution, magnetic method, calibration*

## 1. Úvod

Drátkobeton patří k moderním stavebním materiálům, jejichž možnosti využití nejsou dosud zcela vyčerpány. Využívá se u nich především jejich zvýšená pevnost v tahu a tak jsou využívány u konstrukcí namáhaných na tah. Jejich využití bylo především zaměřeno na podlahové konstrukce továrních hal a skladů, ale jejich další využití je zaměřováno i na běžné konstrukce, kde rozptýlená výztuž do jisté míry nebo zcela nahrazuje tahovou výztuž konstrukce.

## 2. Podmínky pro využití drátkobetonu

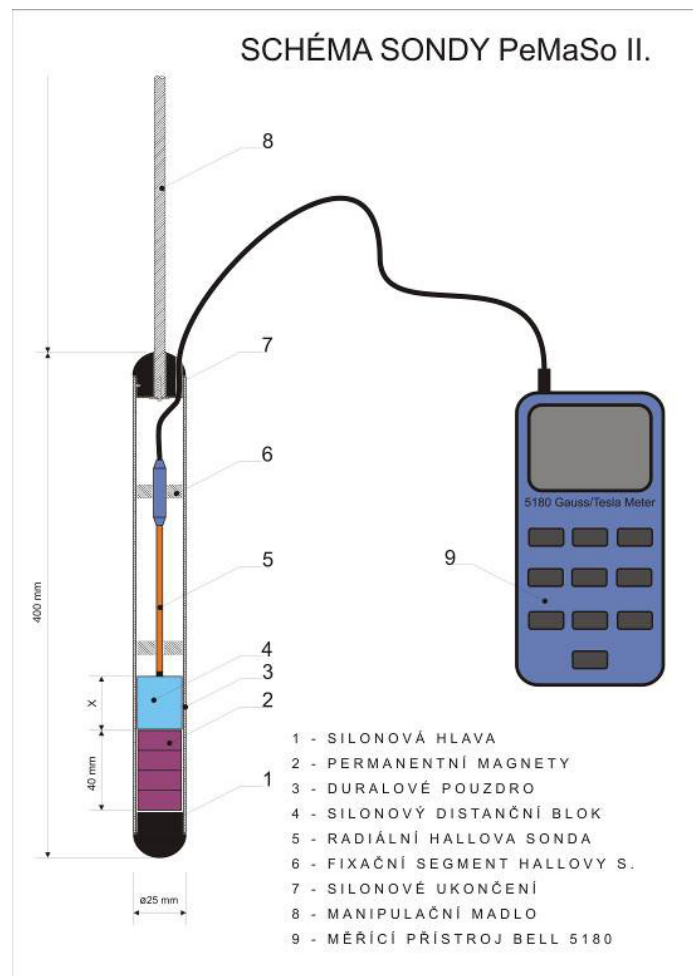
Využívání drátkobetonu pro konstrukce je však podmíněné zárukou, že rozložení drátků v těchto konstrukcích je pravidelné a všesměrné, a že nevznikají místa se zvýšenou koncentrací (hnízda), která pak způsobují, že části konstrukce jsou nedostatečně vyztuženy. Pro posouzení kvality rozložení drátků v drátkobetonových konstrukcích jsou vyvíjeny různé destruktivní i nedestruktivní metody, založené na specifických vlastnostech drátků a to především:

- na jejich vyšší měrné hmotnosti (ocel vzhledem k betonu)
- na specifických magnetických vlastnostech měkké oceli (jiná permeabilita u oceli a betonu)

Na vyšší měrné hmotnosti drátků je založena rentgenografická metoda kontroly, resp. i počítačová tomografie, na různé permeabilitě jsou založeny magnetické a elektromagnetické metody [2].

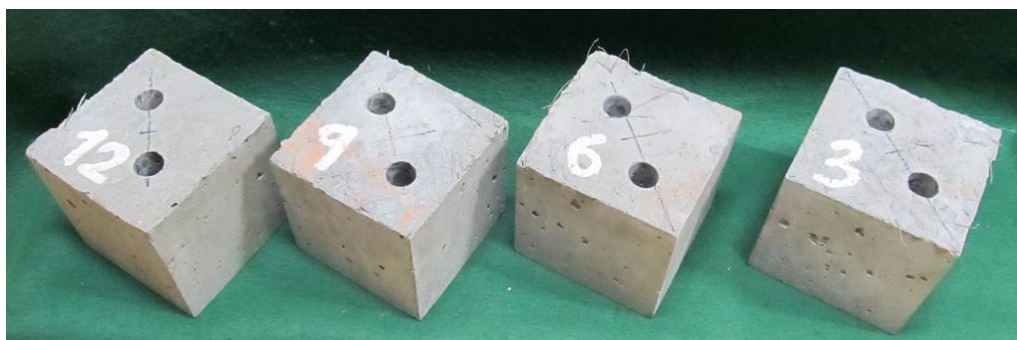
### 3. Problematika kalibračních vzorků

Právě jednou z možností kontroly koncentrace drátků v drátkobetonových konstrukcích je vyvíjena hloubková magnetická sonda (PeMaSo-2) [1], [3], založená na měření změny magnetického pole v okolí permanentních magnetů, která je vyvolána přítomností drátků (obr. 1).



Obr. 1: Schéma sondy PeMaSo-2

Pro přesnou kalibraci této sondy byla zhotovena celá řada kalibračních vzorků (obr. 2) s různou koncentrací drátků. Kalibrační vzorky byly tvořeny standardními kostkami 150 x 150 x 150 mm, ve kterých byly po zatvrdnutí vyvrtány vždy dva paralelní otvory, umístěné po diagonále tak, aby se při měření vzájemně neovlivňovaly.

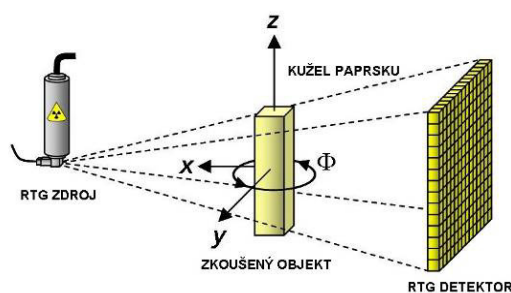
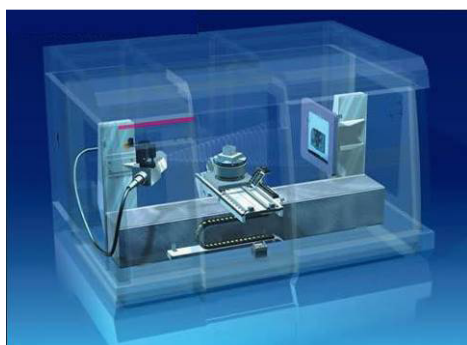


Obr. 2: Kalibrační vzorky

Některé kalibrační vzorky však vykazovaly při měření výchylky, které vedly k přesvědčení, že homogenita kalibračního vzorku vykazuje anomálie. Proto byl jeden kalibrační vzorek podroben vyšetření počítačovou tomografií, které mělo prokázat, jak jsou kovová vlákna ve vzorku skutečně rozložena [4].

#### 4. Stručný princip počítačové tomografie

Počítačová tomografie je zobrazovací metoda, která umožňuje trojrozměrně stanovit vnitřní strukturu materiálu. Stejně jako rentgenografie využívá při zobrazení vnitřní struktury materiálu rentgenové záření, ale na rozdíl od rentgenogramu, který je dvojrozměrný (2D), tomografie umožňuje z rentgenových snímků matematicky zrekonstruovat kontrolovaný předmět prostorově, v zobrazení 3D (obr. 3).



Obr. 3: Schéma průmyslového tomografu

Vzhledem k tomu, že zobrazované drátky v kalibračních vzorcích mají malý průměr – cca do 1 mm, bylo nutno pro kontrolu vzorků použít tomograf s velkým rozlišením. Jako vhodný přístroj se proto jeví unikátní mikrotomografická stanice GE phoenix v|tome|x L 240, kterou je vybavena laboratoř rentgenové nano a mikro tomografie na Fakultě strojního inženýrství v rámci pracoviště CEITECu. Přístroj je osazen rentgenem o napětí 240 kV. Digitální detektor má velikost 400 x 400 mm (s velikostí jednotlivých elementů 0,2 x 0,2 mm). Všechny pohyblivé části přístroje jsou upevněny na masivních žulových deskách a celý systém je umístěn v ochranném kabinetu, což umožňuje objekty výšky 600 mm, průměru 500 mm a hmotnosti 50 kg (obr. 4).



*Obr. 4: Počítačový tomograf*

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

## 5. Tomografické vyšetření kalibračního vzorku

Kalibrační vzorek drátkobetonu byl pro snadnější vyhodnocování při tomografické kontrole upraven tak, že tvořil válec průměru 10 cm a délky 15 cm, jehož středem prochází otvor průměru 2,5 cm pro umístění magnetické sondy (obr. 5).



*Obr. 5: Válcový vzorek průměru 10 cm se sondou*

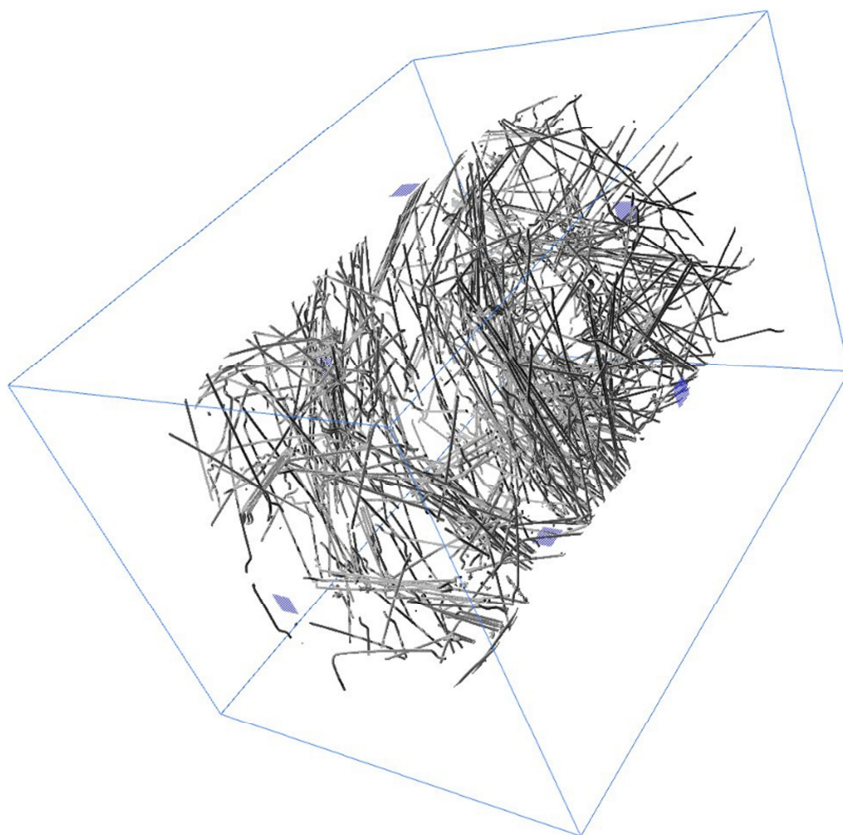
Válec byl pevně umístěn do manipulátoru tomografu a po bezpečném uzavření stínících dveří přístroje (obr. 6) došlo k postupnému prozařování kalibračního vzorku.



*Obr. 6: Válcový vzorek upevněný v manipulátoru*

Následným matematickým zpracováním jsou rekonstruovány virtuální řezy vzorku. Tato data byla získána s voxelovým rozlišením 100  $\mu\text{m}$  (voxel = „třírozměrný pixel“). Vhodnými počítačovými softwary lze z těchto řezů vyseparovat drátky a vytvořit 3D model vzorku. Zpracování tomografických dat trvalo 2 hod.

Výsledkem je axonometrické zobrazení kalibračního válce se zobrazením rozložení jednotlivých drátků. Toto axonometricky zobrazené těleso lze „řezat“ ve všech 3 osách (x, y a z) a je možné v tomto tělese najít „anomálie“, které způsobují odchylné výsledky při kalibraci magnetické sondy (obr. 7).

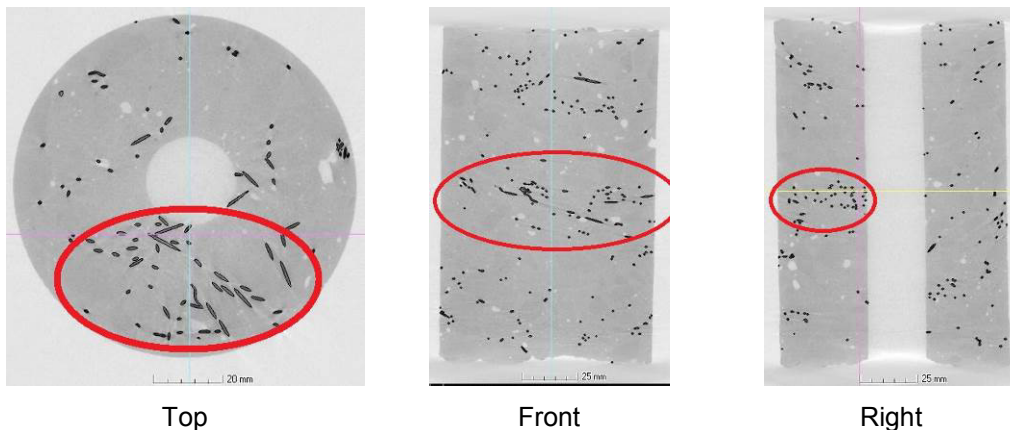


*Obr. 7: Axonometrické zobrazení separovaných drátků z kalibračního vzorku*

## **6. Závěr**

Kontrola počítačovým tomografem potvrdila předpoklad, že v kalibračním vzorku došlo k nepravidelnému rozmísení drátků (obr. 8), které při kalibraci vzorku vykazovalo anomálie ve výsledných údajích. Počítačová tomografie prokázala, že v oblasti kontroly vnitřní struktury stavebních materiálů má velkou vypovídací schopnost. Řadí se k nejpřesnějším nedestruktivním metodám, používaným v technice. Jak však bylo dále ověřeno, má tato metoda i své omezení. I když drátkobetonový válec o průměru 100 mm nebyl pro počítačový tomograf problém, s rostoucími rozměry vzorku přestává být výkon rentgenové trubice dostatečný. U drátkobetonové kostky o rozměrech 150 x 150 x 150 mm nebylo dosaženo tak kvalitních výsledků, aby bylo možné drátky jednoduše segmentovat automatickými algoritmy.





Obr. 8: Jednotlivé CT snímky vzorkem s vyobrazením shluků

## Poděkování

Příspěvek vznikl v rámci řešení projektu FAST/ÚSI-S-12-1 a v rámci CEITEC - Středoevropského technologického institutu s pomocí výzkumné infrastruktury financované projektem CZ.1.05/1.1.00/02.0068 z Evropského fondu regionálního rozvoje.

## Literatura

- [1] BÍLEK, P.; HOBST, L. Ověřování homogenity drátkobetonu na kalibračních vzorcích vyvíjenou magnetickou metodou. *Sanace betonových konstrukcí*, 2012, roč. 2012, č. 1, s. 278-284. ISSN: 1211-3700.
- [2] HOBST, L.; BÍLEK, P.; ANTON, O.; VALA, J. Další vývoj magnetické metody pro testování homogenity drátkobetonové konstrukce. In *19. BETONÁŘSKÉ DNY 2012. Sborník ke konferenci*. Hradec Králové, ČBS Servis, s. r. o. 2012. p. 479 - 482. ISBN 978-80-87158-32-6.
- [3] HOBST, L.; BÍLEK, P. Various control methods developed for fibre-concrete structures. In *Recent advances in integrity-reliability-failure*. IRF. Funchal, Madeira, Portugal, INEGI. 2013. p. 721 - 730. ISBN 978-972-8826-27-7.
- [4] BÍLEK, P.; VALA, J.; VODIČKA, J.; HOBST, L. Nová srovnávací měření při kontrole homogenity drátkobetonu. In *Konference Zkoušení a jakost ve stavebnictví. Sborník recenzovaných příspěvků 2012*. Brno,

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

Česká republika, knihovnicka.cz. 2012. p. 27 - 36. ISBN 978-80-214-4578-9.

[5] HOBST, L.; ANTON, O.; VODIČKA, J.; ŠČUČKA, J. Homogeneity detection of fibre-concrete structures by using radiographic technique. In *Nondestructive testing of materials and structures*. RILEM bookseries. Istanbul, Springer. 2012. p. 1 - 6. ISBN 978-94-007-0722-1.

## **Kontakt**

Prof. Ing. LEONARD HOBST, CSc., VUT v Brně, Fakulta stavební, ÚSZK, Veveří 95, Brno, tel.: 541 147 836, e-mail: hobst.l@fce.vutbr.cz

Ing. et Ing. PETR BÍLEK, VUT v Brně, Ústav soudního inženýrství, Údolní 53, Brno, e-mail: petr.bilek@usi.vutbr.cz

Ing. ONDŘEJ ANTON, Ph.D., VUT v Brně, Fakulta stavební, ÚSZK, Veveří 95, Brno, e-mail: anton.o@fce.vutbr.cz

Ing. TOMÁŠ ZIKMUND, VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, ÚFI, Technická 2, Brno, e-mail: yzikmu03@stud.fme.vutbr.cz

## VLIV PROTEPLENÍ NA PEVNOSTI UHPC

### INFLUENCE OF THERMAL CURING ON STRENGTH OF UHPC

**Petr Huňka, Jiří Kolísko, Stanislav Řeháček**

Kloknerův ústav, ČVUT v Praze

***Anotace:***

*Betonům označovaným jako UHPC je věnována v posledních letech stále větší pozornost a to i v ČR. Jako jedna z možností jak dosáhnout požadovaných pevností či jejich dalšího zvýšení betonů UHPC (obecně je pro betony UHPC uvažováno s pevnostmi od 150 MPa) je v zahraničních publikacích uváděno teplotní ošetřování. V článku jsou uvedeny výsledky zkoušek proteplení betonu UHPC vyvíjeného v rámci grantového projektu TAČR TA01010269.*

***Annotation:***

*Concretes known as UHPC is paid in recent years, increasing attention also in the Czech Republic. As one of the ways to achieve the required strength or further increase UHPC concrete (concrete is generally considered UHPC with compressive strength from 150 MPa) is in foreign publications cited thermal treatment. The article presents the results of tests thermal curing on concrete UHPC developed within the grant project TAČR TA01010269.*

***Klíčová slova:*** UHPC, beton, proteplení,

***Keywords:*** UHPC, concrete, thermal curing

## 1. Úvod

Betonům označovaným jako UHPC (ultra high performance concrete) je i v ČR věnována v posledních letech stále větší pozornost. Jako jedna z možností jak dosáhnout požadovaných pevností či jejich dalšího zvýšení betonů UHPC (obecně je pro betony UHPC uvažováno s pevnostmi od 150 MPa) je v zahraničních publikacích (např. články ve sbornících mezinárodního symposia pořádaného univerzitou v německém Kasselu) uváděno teplotní ošetřování. V článku jsou uvedeny výsledky zkoušek proteplení betonu UHPC vyvíjeného v rámci grantového projektu TAČR TA01010269.

Cílem experimentu bylo na sérii zkušebních těles (trámečky o rozměrech 40x40x160 mm) ověřit vliv proteplování při různé teplotě a době ošetřování.

## 2. Metodika zkoušek

Pro zkoušky byl použit beton, který byl vyvinut v rámci grantového projektu TAČR TA01010269, a z důvodu nutnosti vyhovět stávajícím platným normám byl označen jako beton C110/130. Tato skutečnost umožnila a umožňuje jeho využití pro konkrétní praktické aplikace (např. mostní desky ztraceného bednění mostu přes R10 v Benátkách nad Jizerou, podrobně viz [1]) v souladu s platnými normami a TP ŘSD. Složení betonu a postup míchání je s ohledem na probíhající vývoj výrobním tajemstvím. Lze prozradit, že dávka cementu a přísad je na úrovni 900 kg/m<sup>3</sup>, vodní součinitel je na hodnotě 0,21, maximální zrno kameniva je 4 mm, pro dosažení tahových vlastností je použita vysoká dávka ocelových vláken a k dosažení vysoké konzistence je nutností použití extrémní dávky superplastifikátoru.

Z betonu vyrobeného v mísícím centru závodu Skanska prefa Štětí byly vyrobeny trámečky o rozměrech 40x40x160 mm (66 ks). Zkušební tělesa byla ponechána 32 hodin ve formách a po odformování byla rozdělena do sedmi sad (označených písmeny A až K) po šesti trámečcích. Každá sada byla podrobena různému režimu ošetřování. Ve stáří 28 dní byla na zkušebních tělesech provedena zkouška pevnosti v tahu za ohybu (3 bodová) a následně na zlomcích pevnost v tlaku (dle ČSN EN 196-1). Přehled režimů ošetřování pro jednotlivé sady viz tabulka 1.

*Tabulka 1.: Režim ošetřování jednotlivých sad*

<b>Sada</b>	<b>Popis uložení</b>
<b>A</b>	32 hod ve formě, vodní uložení
<b>B</b>	32 hod ve formě, 16 hod voda, 24h proteplení při 70°C, vodní uložení
<b>C</b>	32 hod ve formě, 16 hod voda, 53h proteplení při 70°C, vodní uložení
<b>D</b>	32 hod ve formě, 16 hod voda, 24h proteplení při 50°C, vodní uložení
<b>E</b>	32 hod ve formě, 16 hod voda, 53h proteplení při 70°C, vodní uložení
<b>F</b>	32 hod ve formě, 16 hod proteplení při 70°C, vodní uložení
<b>G</b>	32 hod ve formě, 40 hod proteplení při 70°C, vodní uložení
<b>H</b>	32 hod ve formě, 48 hod proteplení při 70°C, vodní uložení
<b>I</b>	32 hod ve formě, 16 hod proteplení při 50°C, vodní uložení
<b>J</b>	32 hod ve formě, 40 hod proteplení při 50°C, vodní uložení
<b>K</b>	32 hod ve formě, 48 hod proteplení při 50°C, vodní uložení

*Pozn.: sada tvořena šesti trámečky o rozměrech 40x40x160 mm*

Proteplení zkušebních těles bylo realizováno ve vodní lázni, a to tak, že tělesa byla vždy vložena do vody o teplotě 20°C, která byla na teplotu 50°C resp. 70°C ohřána za 60 min resp. 90 min. Po ukončení proteplení byla zkušební tělesa ponechána ve vodě o dané teplotě (50°C resp. 70°C) k postupnému vychladnutí na teplotu cca 20°C (doba chladnutí cca 6 hod).

Sada A je považována za sadu referenční. Vodní uložení bylo realizováno v souladu s ČSN EN 12390-2.

### **3. Výsledky zkoušek**

Zjištěné pevnosti v tahu za ohybu a v tlaku jednotlivých sad jsou uvedeny v tabulce 2. V tabulce 3 jsou zjištěné hodnoty vztaženy k referenční sadě A, jejíž hodnoty jsou uvažovány jako 100%. Na všech zkušebních tělesech byla rovněž stanovena objemová hmotnost ( $2430 \pm 10 \text{ kg/m}^3$ ). Zhodnocení výsledků zkoušek je uvedeno v kapitole 4.

*Tabulka 2.: Výsledky zkoušek pro jednotlivé sady v MPa*

Sada	Tah za ohybu [MPa]	Tlak [MPa]	Popis uložení
A	29,9	142,0	32 hod ve formě, vodní uložení
B	30,8	156,0	32 hod ve formě, 16 hod voda, 24h proteplení při 70°C, vodní uložení
C	31,2	154,0	32 hod ve formě, 16 hod voda, 53h proteplení při 70°C, vodní uložení
D	30,0	145,5	32 hod ve formě, 16 hod voda, 24h proteplení při 50°C, vodní uložení
E	31,3	148,5	32 hod ve formě, 16 hod voda, 53h proteplení při 70°C, vodní uložení
F	31,2	149,0	32 hod ve formě, 16 hod proteplení při 70°C, vodní uložení
G	32,8	152,5	32 hod ve formě, 40 hod proteplení při 70°C, vodní uložení
H	32,8	154,5	32 hod ve formě, 48 hod proteplení při 70°C, vodní uložení
I	31,3	143,0	32 hod ve formě, 16 hod proteplení při 50°C, vodní uložení
J	32,4	145,5	32 hod ve formě, 40 hod proteplení při 50°C, vodní uložení
K	31,9	150,0	32 hod ve formě, 48 hod proteplení při 50°C, vodní uložení

*Tabulka 3.: Výsledky zkoušek vztahované k referenční sadě A*

Sada	Tah za ohybu [%]	Tlak [%]	Popis uložení
A	100	100	32 hod ve formě, vodní uložení
B	103	110	32 hod ve formě, 16 hod voda, 24h proteplení při 70°C, vodní uložení
C	105	108	32 hod ve formě, 16 hod voda, 53h proteplení při 70°C, vodní uložení
D	101	102	32 hod ve formě, 16 hod voda, 24h proteplení při 50°C, vodní uložení
E	105	105	32 hod ve formě, 16 hod voda, 53h proteplení při 70°C, vodní uložení
F	105	105	32 hod ve formě, 16 hod proteplení při 70°C, vodní uložení
G	110	107	32 hod ve formě, 40 hod proteplení při 70°C, vodní uložení
H	110	109	32 hod ve formě, 48 hod proteplení při 70°C, vodní uložení
I	105	101	32 hod ve formě, 16 hod proteplení při 50°C, vodní uložení
J	109	102	32 hod ve formě, 40 hod proteplení při 50°C, vodní uložení
K	107	106	32 hod ve formě, 48 hod proteplení při 50°C, vodní uložení

#### 4. Závěr

V experimentu bylo sedm sad zkušebních těles vytaveno odlišným režimům ošetřování (teplota, doba vložení a držení v lázni). Cílem zkoušek bylo zjistit vliv teplotního ošetřování na pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku ve stáří 28 dní. Metodika testu je popsána v kapitole 2 a výsledky uvedeny kapitole 3 v tabulkách 2 a 3.

---

### **Získané výsledky je možné shrnout do následujících bodů:**

- Objemová hmotnost betonu všech sad je  $2430 \pm 10 \text{ kg/m}^3$ .
- Referenční sada A vykázala pevnosti v tlaku 142 MPa a pevnosti v tahu za ohybu 29,9 MPa.
- Žádná ze zkoušených sad neměla pevnosti v tlaku nižší než referenční sada A. Nicméně sady D, E, F, I, J a K vykázali zvýšení pevnosti v tlaku pouze o 1 – 5 MPa, což představuje zvýšení o 1 - 6% oproti referenční sadě A.
- Nejvyšší dosažené pevnosti v tlaku (156 MPa) vykázala sada B, což představuje zvýšení o 10% oproti referenční sadě A.
- Sady C, G a H vykázali navýšení pevnosti v tlaku o 10,5 – 12,5 MPa (7 - 9%).
- Žádná ze zkoušených sad neměla pevnosti v tahu za ohybu nižší než referenční sada A. Nicméně sady B až F a I vykázali zvýšení pevnosti v tlaku pouze o 0,1 – 1,4 MPa, což představuje zvýšení o 1 - 5% oproti referenční sadě A.
- Nejvyšší dosažené pevnosti v tahu za ohybu (32,8 MPa) vykázaly shodně sady G a H, což představuje zvýšení o 10% oproti referenční sadě A.
- Sady J a K vykázali navýšení pevnosti v tahu za ohybu o 2 - 2,5 MPa (7 - 9%).
- Zajímavou skutečností je, že pevnost v tahu za ohybu nerostla úměrně s rostoucí pevností v tlaku, např. sada B, která dosáhla nejvyšší pevnosti v tlaku má druhé nejnižší navýšení pevnosti v tahu za ohybu.
- Poměrně vysokého nárůstu pevnosti v tlaku a tahu za ohybu (7,4 - 10%) dosáhli sady G a H, které byly uloženy 40 resp. 48 hod ve vodě o teplotě 70 °C.
- Z energetického resp. ekonomického hlediska jsou uvedená zvýšení pevností neúměrná (příliš drahá). Z hlediska srovnání s obdobnými experimenty uvedenými v zahraniční literatuře jsou získaná navýšení (max. 10%) pevností neuspokojivá. Experimenty publikované v zahraniční literatuře s obdobným režimem ošetřování vykazují navýšení často o těžko uvěřitelných 50 – 100%.
- Případné další směřování experimentu s proteplováním by mělo směřovat k ověření vlivu teplot vyšších jak 70 °C opět při různé délce ošetřování a době vkládání do vyhřívané vodní lázně. Za úvahu stojí možnost využití autoklávu.
- Jako vhodné se jeví hlubší studium mikrostruktury proteplených betonů a změny v chemickém a mineralogickém složení v porovnání s referenčním tzn. neproteplováním betonem.

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

- V případě nutnosti (bez ohledu na cenu) může být proteplení popsané v našem experimentu (u sad se zvýšením cca 10% oproti referenční sadě A) jednou z možností jak zvýšit pevnost betonu o cca jednu pevnostní třídu.

## **Poděkování**

Příspěvek je vypracován za přispění grantu TAČR TA01010269.

## **Literatura**

[1] Tichý, J.; Kalný, M.; Kolísko, J., Huňka, P. (2012); „První praktická realizace UHPC v České republice“, Plitvická jezera – Chorvatsko, 8th CCC Durability of Concrete Structures.

## **Kontakt**

Ing. PETR HUŇKA, tel: 00420 224 353 521, e-mail: petr.hunka@klok.cvut.cz, Kloknerův ústav, ČVUT v Praze, Šolínova 7, 166 08 Praha.

Doc. Ing. JIŘÍ KOLÍSKO, Ph.D., tel: 00420 224 353 545, e-mail: jiri.kolisko@klok.cvut.cz, Kloknerův ústav, ČVUT v Praze, Šolínova 7, 166 08 Praha.

Ing. STANISLAV ŘEHÁČEK, tel: 00420 224 353 521, e-mail: stanislav.rehacek@klok.cvut.cz, Kloknerův ústav, ČVUT v Praze, Šolínova 7, 166 08 Praha.



## **VLIV DÉLKY HYDRATACE CEMENTU NA MECHANICKÉ VLASTNOSTI BETONU**

### **INFLUENCE OF DURATION OF CEMENT HYDRATION ON MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE**

**Dalibor Kocáb, Jiří Adámek,  
Petr Cikrle, Ondřej Pospíchal**

VUT v Brně, Fakulta stavební,  
Ústav stavebního zkušebnictví

***Anotace:***

*Článek popisuje experiment, při kterém byl analyzován vliv délky hydratace cementu na vlastnosti betonu. Byla stanovena pevnost v tlaku betonu a dynamická i statická hodnota modulu pružnosti betonu. Jediným proměnným činitelem byla délka hydratace. Výsledkem jsou grafické a tabelární výstupy naměřených hodnot.*

***Annotation:***

*This paper deals with the experiment which was used to analyse the influence of duration of cement hydration on the concrete properties. Compressive strength of concrete and dynamic and static values of the concrete modulus of elasticity were determined. The only variable factor was the duration of cement hydration. The outcome has form of graphic and tabular outputs showing the observed values.*

***Klíčová slova:*** Beton, hydratace cementu, modul pružnosti, pevnost v tlaku

***Keywords:*** Concrete, cement hydration, modulus of elasticity, compressive strength

## 1. Úvod

Beton tvrdne a tím pádem může být konstrukčním materiálem díky hydrataci cementu, což je souhrn chemických reakcí cementu a vody. Díky nim přestává být beton plastikou hmotou, která je lehce zpracovatelná, a stává se pevným a mechanickým materiálem podobným hornině [1].

Víme, že chemické reakce probíhající při hydrataci cementu jsou velmi komplexní a dosud nejsou známy veškeré detaily, které způsobují tuhnutí a následné tvrdnutí betonu [2].

Z hlediska dosažení co nejlepších vlastností betonu je důležité, aby hydratace cementu proběhla optimálně. Je důležité beton řádně ošetřovat zejména v počátečních fázích jeho zrání, aby proces hydratace nebyl negativně ovlivněn (např. nízkou teplotou, která hydrataci zpomaluje) [3].

## 2. Všeobecné údaje

Cílem experimentu bylo vyhodnocení vlivu doby hydratace cementu na sledované charakteristiky betonu. Bylo zjišťováno, jak se projeví omezená doba hydratace na dynamickou i statickou hodnotu modulu pružnosti betonu a na výsledné pevnosti betonu v tlaku.

Pro zkoušky byl použit referenční beton, jehož receptura je předmětem Tabulky 1. Směs neobsahovala žádné přísady a příměsi a vodní součinitel byl navržen tak, aby čerstvý beton vykazoval sednutí kužele S2 podle normy ČSN EN 206-1 [4].

Objemová hmotnost čerstvého betonu byla dle normy [5] stanovena na hodnotu 2320 kg/m<sup>3</sup>. Sednutí kužele bylo dle normy [6] změřeno 85 mm, byl tedy splněn návrh S2, viz Obrázek 1.

*Tabulka 1.: Receptura použitého referenčního betonu – složení čerstvé směsi na 1 kg/m<sup>3</sup>.*

cement CEM I 42,5 R	kamenivo		voda	teoretická objemová hmotnost čerstvého betonu
	0-4 mm	8-16 mm		
[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg/m <sup>3</sup> ]
430	860	910	185	2 385



*Obrázek 1.: Stanovení sednutí kužele čerstvého betonu.*

Hydratace cementu byla zastavena po šesti časových úsecích zrání betonu (po 2, 3, 7, 14, 28 a 90 dnech), přičemž pro každý úsek byla vyrobena tato zkušební tělesa:

Dlaždice, 3 ks, rozměr 300×300×80 mm – tato tělesa sloužila pro stěžejní část experimentu, kterou se tento příspěvek nezabývá. Byla na nich zjišťována propustnost povrchové vrstvy pro vodu a vzduch, o čemž pojednává článek [7].

Hranol, 4 ks, 100×100×400 mm – pro zjištění modulu pružnosti.

Krychle, 3 ks, 150×150×150 mm – pro určení pevnosti v tlaku.

Všechna zkušební tělesa byla po betonáži přikryta PE fólií a uložena v normálních laboratorních podmínkách. Po 24 hodinách byla zkušební tělesa odformována a umístěna na předem stanovenou dobu do vodního uložení. Např. zkušební tělesa, u nichž byla hydratace zastavena po 7 dnech zrání (sada s označením 7D), byla 1 den ve formě, poté 5 dní ve vodní lázni a 1 den byla umístěna v sušičce při 105 °C. Doba ve formě (1 den) a v sušičce (také 1 den) byla pro všechny sady zkušebních těles stejná, měnila se pouze doba uložení ve vodě. Zkušební vzorky označené 2D tedy ve vodní lázni uložené nebyly vůbec.

Takto zvolený postup měl zajistit omezenou dobu na tvorbu hydratačních produktů, což se mělo projevit na vývoji pórové struktury betonu a tím také na jeho mechanických vlastnostech. Předpokladem bylo, že se sice hydratační proces v sušičce vzhledem k vysoké teplotě okolního prostředí výrazně zrychlí, ale současně se po vysušení zkušebních těles prakticky zastaví z důvodu absence vody, která je k hydrataci cementu nutnou podmínkou.

### 3. Metodika uskutečněných zkoušek

Na všech zkušebních krychlich byla stanovena pevnost v tlaku betonu. U krychlí byly určeny rozměry, hmotnost, byla vypočtena objemová hmotnost a při zatěžovací zkoušce ve zkušebním lisu FORM+TEST ALPHA 3-3000 byla stanovena maximální tlaková síla. Zkouška pevnosti v tlaku probíhala dle normy [8] a je zachycena na Obrázku 2.

Pevnost v tlaku betonu byla zjištěna také na hranolových tělesech. Jeden hranol byl podroben tlakovému namáhání až do porušení ihned po stanovení dynamických modulů pružnosti. Zbylá 3 hranolová tělesa byla odzkoušena v tlaku až po zkoušce statického modulu pružnosti.



Obrázek 2.: Krychle 7D-K2 po zkoušce pevnosti v tlaku betonu.

Na všech hranolových zkušebních tělesech byl určen dynamický modul pružnosti, a to ultrazvukovou impulzovou metodou (dále již UZ) podle normy [9] a rezonanční metodou podle normy [10]. Ultrazvuková impulzová metoda je založena na principu zjištění doby průchodu UZ vlnění zkušebním betonovým tělesem a následném výpočtu rychlosti UZ impulzů  $v_L$ . Podrobně o této metodě pojednává např. článek [11], měření je zachyceno na Obrázku 3. Dynamický modul určený z rychlosti UZ vlnění se značí  $E_{bu}$ .

Rezanční metoda spočívá ve zjištění vlastních frekvencí zkušebních těles, viz Obrázek 4. Hodnota dynamického modulu pružnosti se poté vypočte buď z podélné frekvence (označení  $E_{brL}$ ), anebo z příčné frekvence (označení  $E_{brf}$ ). O rezanci rezonance ve zkušební praxi podrobně referuje např. příspěvek [12].

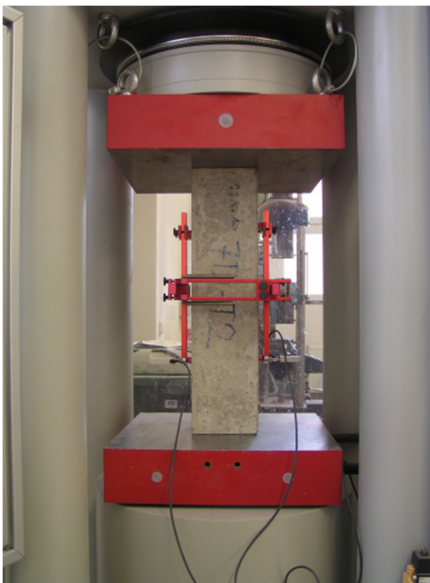


*Obrázek 3.: Stanovení dynamického modulu pružnosti pomocí UZ přístroje TICO.*



*Obrázek 4.: Stanovení dynamického modulu pružnosti pomocí rezonanční metody.*

Po nedestruktivním stanovení dynamických modulů pružnosti byla na třech zkušebních hranolech zjištěna také statická hodnota modulu pružnosti betonu  $E_c$  podle normy [13]. Zkouška v lisu FORM+TEST ALPHA 3-3000 je předmětem Obrázku 5. K určení horní zatěžovací meze při zkoušce statického modulu pružnosti posloužil výsledek hranolové pevnosti v tlaku na jednom zkušebním tělese spolu se zjištěnou krychelnou pevností betonu v tlaku.



*Obrázek 5.: Zkouška statického modulu pružnosti betonu ve zkušebním lisu FORM+TEST.*

#### 4. Dosažené výsledky a jejich diskuze

Hodnoty dynamického modulu pružnosti zjištěné pomocí obou nedestruktivních metod prokázaly předpoklad, že doba hydratace cementu má vliv na jejich velikost. Čím déle má beton možnost hydratačního procesu, tím je jeho modul pružnosti vyšší. Stejný trend potvrdily i výsledky zkoušky statického modulu pružnosti. Veškeré naměřené hodnoty modulu pružnosti jsou vypsány v Tabulce 2, graficky je závislost průměrných hodnot modulu pružnosti na délce hydratace znázorněna na Obrázku 6.

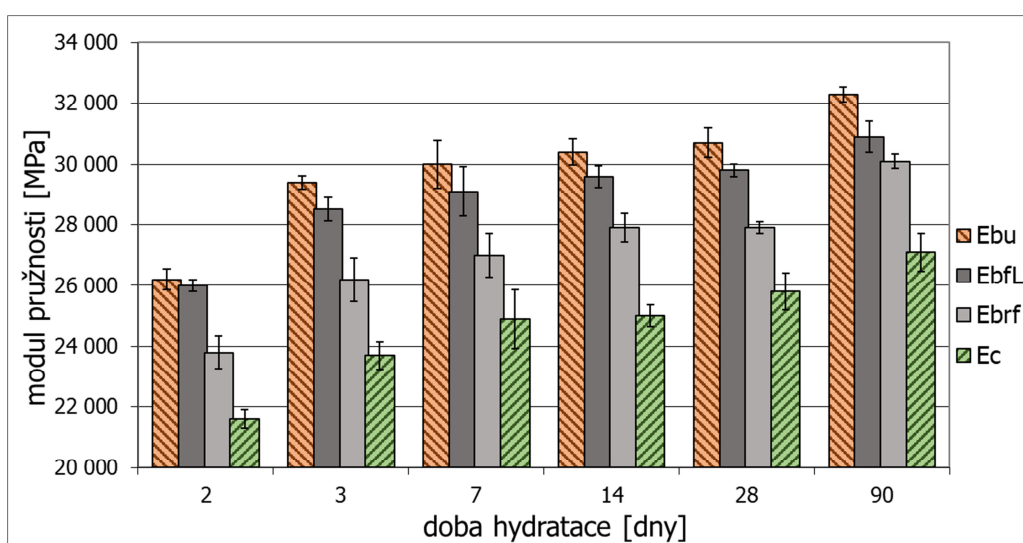
*Tabulka 2.: Dynamické a statické hodnoty modulu pružnosti betonu zjištěné na všech zkušebních hranolech.*

Hranol	$E_{bu}$ [MPa]	$E_{bfl}$ [MPa]	$E_{brf}$ [MPa]	$E_c$ [MPa]	$f_{c,prism}$ [MPa]
<b>2D-T1</b>	26 500	26 100	24 300	-	25,6
<b>2D-T2</b>	26 400	25 900	23 200	21 900	25,3
<b>2D-T3</b>	25 800	25 700	23 500	21 300	24,1
<b>2D-T4</b>	25 900	26 100	24 200	21 700	25,1
<b>3D-T1</b>	29 300	28 400	26 000	-	32,8
<b>3D-T2</b>	29 400	29 000	27 200	24 200	33,4
<b>3D-T3</b>	29 200	28 100	25 700	23 600	33,5
<b>3D-T4</b>	29 700	28 300	25 700	23 300	32,3
<b>7D-T1</b>	30 400	29 500	27 100	-	38,1
<b>7D-T2</b>	29 100	28 200	26 400	23 800	37,3
<b>7D-T3</b>	30 800	30 000	27 900	25 300	39,0
<b>7D-T4</b>	29 500	28 600	26 400	25 600	37,5
<b>14D-T1</b>	30 200	29 900	28 000	-	36,6
<b>14D-T2</b>	30 500	29 500	27 900	24 600	38,4
<b>14D-T3</b>	29 900	29 100	27 200	25 000	38,9
<b>14D-T4</b>	30 900	29 800	28 300	25 300	37,7
<b>28D-T1</b>	30 500	29 700	27 700	-	37,4
<b>28D-T2</b>	30 400	29 700	28 100	25 200	40,5
<b>28D-T3</b>	31 400	30 100	27 700	25 700	38,2
<b>28D-T4</b>	30 400	29 700	27 900	26 400	39,7
<b>90D-T1</b>	32 000	30 300	30 200	-	45,8
<b>90D-T2</b>	32 400	30 700	29 800	26 400	47,0
<b>90D-T3</b>	32 600	31 500	30 200	27 300	48,3
<b>90D-T4</b>	32 300	31 000	30 300	27 600	49,2

Stejný závěr jako u modulu pružnosti betonu byl učiněn také u pevnosti v tlaku. I zde se prokázalo, že výsledná hodnota této charakteristiky závisí na délce hydratace cementu. Čím déle beton hydratuje, tím vyšších pevností v tlaku dosahuje. Veškeré naměřené hodnoty této vlastnosti betonu jsou uvedeny v Tabulce 3, v grafu na Obrázku 7 je pak znázorněn vliv délky hydratace na pevnost v tlaku.

*Tabulka 3.: Hodnoty pevnosti v tlaku betonu zjištěné na všech zkušebních krychlích.*

krychle	$f_{c,cube}$ [MPa]	krychle	$f_{c,cube}$ [MPa]	krychle	$f_{c,cube}$ [MPa]
2D-K1	34,2	7D-K1	48,0	28D-K1	51,4
2D-K2	33,7	7D-K2	47,2	28D-K2	51,4
2D-K3	35,8	7D-K3	47,9	28D-K3	51,0
3D-K1	41,3	14D-K1	47,0	90D-K1	57,0
3D-K2	43,8	14D-K2	50,5	90D-K2	57,3
3D-K3	40,5	14D-K3	47,0	90D-K3	59,4

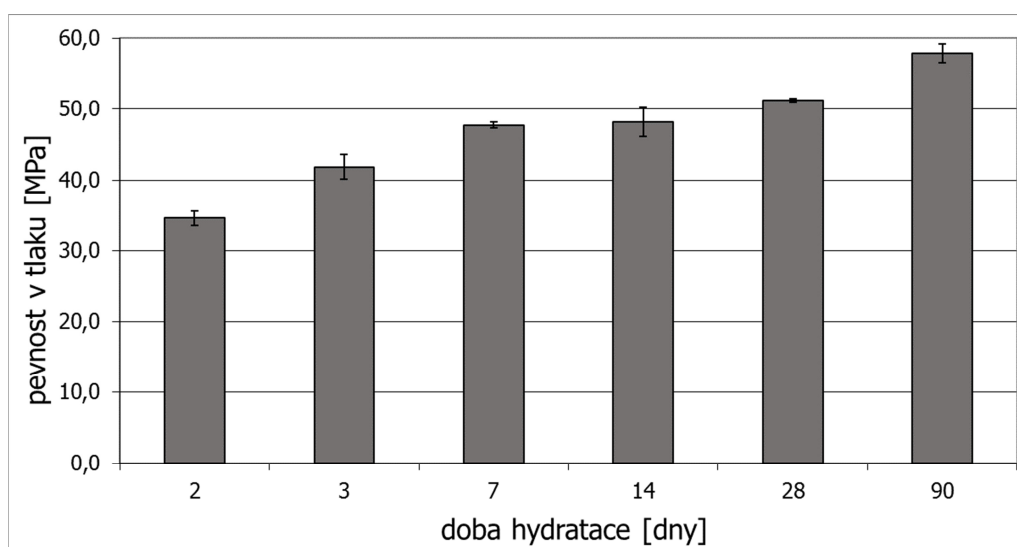


*Obrázek 6.: Závislost výsledných průměrných hodnot všech zjišťovaných modulů pružnosti betonu na délce hydratačního procesu včetně směrodatných odchylek.*

U zkušebních hranolů s délkou hydratace cementu 2 dny byl zjištěn průměrný statický modul pružnosti 21,6 GPa, zatímco zkušební tělesa, u kterých byl umožněn hydratační proces normových 28 dní, dosahovaly

průměrné hodnoty statického modulu pružnosti 25,8 GPa. Tento výsledek je vzhledem k pevnosti v tlaku hodnotou poměrně nízkou. Pravděpodobně je to způsobeno faktem, že beton byl v době zkoušení zcela vysušen, což výsledný modul pružnosti negativně ovlivnilo.

V případě, že byla hydratace pozastavena již po 2 dnech zrání betonu, vykazoval beton průměrnou pevnost v tlaku 34,5 MPa. Při zastavení hydratace až po 28 dnech dosahovala průměrná pevnost betonu v tlaku již 51,5 MPa



*Obrázek 7.: Závislost výsledných průměrných hodnot krychelné pevnosti v tlaku na délce hydratačního procesu včetně směrodatných odchylek.*

## 5. Závěr

Cílem popisovaného experimentu bylo zjištění vlivu délky hydratačního procesu betonu na sledované charakteristiky. Cíl se podařilo splnit a výsledky odpovídají předpokladům. Hodnoty sledovaných mechanických vlastností betonu rostou s délkou času, po který bylo umožněno betonu hydratovat.

## Poděkování

Příspěvek vznikl za finanční podpory projektu GAČR 13-18870S „Hodnocení a predikce trvanlivosti povrchové vrstvy betonu“.



---

## Literatura

- [1] COLLEPARDI, M.: Moderní beton. Český překlad Bílek, V., vydání 1., Praha: ČKAIT, 2009, 344 s. ISBN 978-80-87093-75-7.
- [2] AĪTCIN, P.-C.: Vysokohodnotný beton. Český překlad Bílek, V., vydání 1., Praha: ČKAIT, 2005, ISBN 80-86769-39-9.
- [3] KOCÁB, D.; CIKRLE, P.; KUCHARCZYKOVÁ, B.; POSPÍCHAL, O.: Vliv nízké počáteční teploty betonu na výsledný modul pružnosti. In Zkoušení a jakost ve stavebnictví 2011. Brno, VUT v Brně. 2011. p. 159 - 168. ISBN 978-80-214-4338-9.
- [4] ČSN EN 206-1: Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda. Praha, ČNI, 2001.
- [5] ČSN EN 12350-6: Zkoušení čerstvého betonu – Část 6: Objemová hmotnost. Praha, ÚNMZ, 2009.
- [6] ČSN EN 12350-2: Zkoušení čerstvého betonu – Část 2: Zkouška sednutím. Praha, ÚNMZ, 2009.
- [7] ADÁMEK, J.; KADLECOVÁ, Z.: NDT Methods Used to Estimate the Actual Durability of a Bridge Concrete. Russian Journal of Nondestructive Testing. V tisku.
- [8] ČSN EN 12390-3: Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles. Praha, ÚNMZ, 2009.
- [9] ČSN 73 1371: Nedestruktivní zkoušení betonu – Ultrazvuková impulzová metoda zkoušení betonu. ÚNMZ, Praha, 2011.
- [10] ČSN 73 1372: Nedestruktivní zkoušení betonu – Rezonanční metoda zkoušení betonu. ÚNMZ, Praha, 2012.
- [11] CIKRLE, P.; KOCÁB, D.; POSPÍCHAL, O.: Zkoušení betonu ultrazvukovou impulsovou metodou. Beton TKS. 2013(3). p. 74 - 79. ISSN 1213-3116.
- [12] CIKRLE, P.; POSPÍCHAL, O.: Nový způsob stanovení mrazuvzdornosti betonu s využitím metod pro sledování poruch struktury. Beton TKS. 2011(3). p. 56 - 61. ISSN 1213-3116.
- [13] ČSN ISO 6784: Beton. Stanovení statického modulu pružnosti v tlaku. FÚNM, Praha, 1993.

## Kontakt

Ing. DALIBOR KOCÁB, tel: 00420 541 147 811, e-mail: kocab.d@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

prof. Ing. JIŘÍ ADÁMEK, CSc., tel: 00420 541 147 800, e-mail: adamek.j@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. PETR CIKRLE, Ph.D., tel: 00420 541 147 814, e-mail: cikrle.p@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. ONDŘEJ POSPÍCHAL, e-mail: pospichal.o@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

## VLIV VODNÍHO SOUČiniteLE NA KVALITU POVRCHOVÉ VRSTVY CEMENTOVÉ MALTY

### EFFECT OF WATER-CEMENT RATIO ON QUALITY OF SURFACE LAYER OF CEMENT MORTAR

**Tereza Komárková, Dalibor Kocáb, Tomáš Stavař**

VUT v Brně, Fakulta stavební,  
Ústav stavebního zkušebnictví

***Anotace:***

*Příspěvek se zabývá závislostí kvality povrchové vrstvy cementové malty na vodním součiniteli. Vlastnosti povrchové vrstvy byly zjišťovány pomocí dvou různých metod, přičemž výsledek každé z nich vypovídá o stavu povrchové vrstvy malty jiným způsobem. Během experimentu byla na vzorcích s různými vodními součiniteli stanovena odolnost povrchu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek a soudržnost zkouškou pevnosti v tahu povrchových vrstev.*

***Annotation:***

*The paper deals with dependence of surface layer quality of cement mortar on water-cement ratio. Properties of surface layer were determined using two different methods, results of both methods characterise the surface layer condition of the mortar different ways. During the experiment it was determined surface resistance to water and defrosting chemicals and cohesion using tensile strength of surface layers testing on specimens with different water-cement ratio.*

***Klíčová slova:*** povrchová vrstva betonu, vodní součinitel, cementová malta, DYNA, KD-20

***Keywords:*** surface layer of concrete, water-cement ratio, cement mortar, DYNA, KD-20

## 1. Úvod

Stanovení pevnosti v tahu povrchových vrstev betonu dle ČSN EN 1542 [2] a odolnosti jeho povrchu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek (dále jen CHRL) podle ČSN 73 1326 [1] patří k významným zkouškám, pomocí kterých je možné lépe vyhodnotit vlastnosti zkoušeného betonu, především pak provést predikci trvanlivosti. Nejsou to pouze mechanické vlastnosti, které z velké části beton charakterizují. Povrchová vrstva bývá nejvíce namáhána okolními vlivy a v jejich důsledku pak může docházet k pevnostnímu kolapsu betonu nebo neočekávané korozi výztuže. Právě kvalita povrchové vrstvy je velmi důležitá pro hodnocení odolnosti betonu proti negativním vlivům vnějšího prostředí a zejména pro výslednou trvanlivost betonu, což je v dnešní době stále aktuálnější téma [8].

V článku jsou uvedeny výsledky jednotlivých zkoušek a jejich vzájemné porovnání. Pro popisovaný experiment byla vyrobena zkušební tělesa o různých vodních součinitelích, na kterých byly kromě uváděných měření realizovány také zkoušky propustnosti betonu pro vodu, konkrétně metodami ISAT, GWT a určením hloubky průsaku tlakovou vodou, více viz [6], [7]. Na zkušebních vzorcích byl také zjišťován vliv vodního součinitele na propustnost povrchové vrstvy cementové malty pro vzduch metodou TPT [6].

## 2. Zvolené zkušební metody

### 2.1. Stanovení odolnosti povrchu cementové malty proti CHRL

Zkouška stanovení odolnosti proti CHRL byla provedena dle normy ČSN 73 1326 [1], podle metody A – Metoda automatického cyklování. Tato zkušební metoda je založena na principu automaticky řízeného cyklického střídání kladných a záporných teplot působících rovnoměrně na celé zkušební těleso. Zkušební zařízení udržuje kladné i záporné teploty po předepsaný čas. Povrch těles musí být ochlazen z +20oC na -15oC za dobu 45 až 50 minut. Za stejnou dobu musí dojít ke zpětnému ohřátí a nejvyšší i nejnižší teplota musí být udržována po dobu 15 minut. Ústav stavebního zkušebnictví Fakulty stavební VUT v Brně disponuje zařízením KD-20, které je k automatickému cyklování určeno.

Po vybetonování a následném vyjmutí z formy byla zkušební tělesa uložena a ošetřována dle [4], [5], ve stáří 28 dní byla zahájena zkouška automatického cyklování, kdy je zkoušen horní povrch tělesa bez jakýchkoli úprav [1].

Jednotlivá tělesa byla umístěna do misek z nekorodujícího materiálu, jež umožňují ponoření zkušebních těles do roztoku chemické rozmrazovací látky a zachycení odpadu. Jako základní rozmrazovací látka byl použit 3% roztok chloridu sodného (NaCl), který byl nalit do misky v takovém množství, aby byl zkušební vzorek po celém svém obvodu ponořen na výšku  $5 \pm 1$  mm. Poté byla zkušební tělesa rovnoměrně rozložena po dně zkušebního přístroje [1].

Po každém 25. cyklu byla zkušební tělesa s miskou vyjmuta z přístroje KD-20 a proudem vody ze stříčky byly splaveny uvolněné částice do misky. Přebytná kapalina byla slita a odpadlé částice byly vysušeny do konstantní hmotnosti. Jednotlivé odpady byly zapsány do protokolu pro každý zkušební vzorek po 25 cyklech v gramech. Odolnost povrchu cementového betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek je dána hmotností odpadu na jednotku plochy v  $\text{g/m}^2$ :

$$\rho_A = \frac{\sum m}{A}$$

Zkouška je ukončena buď dosažením předepsaného počtu cyklů, nebo dosažením maximální povolené velikosti  $\rho_A$  [1].

## **2.2. Stanovení soudržnosti zkouškou pevnosti v tahu povrchových vrstev**

Zkušební metoda je založena na přímém odtržení kruhového terče přilepeného k povrchu výrobku nebo systému pro opravy, přičemž zkušební místo je definováno provedením jádrového vrtu skrz povrch. Před samotnou zkouškou jsou na zkušebních tělesech odvrtny systémy pro opravy do hloubky  $15 \pm 5$  mm. Poté se na terč nanese souvislá vrstva rychle tuhajícího epoxidového lepidla. Při osazování terčů musí být dbáno na to, aby se lepidlo nedostalo do mezery vyvrtané jádrovým vrtákem, a zároveň všechno vytlačené lepidlo musí být pečlivě otřeno [2]. Po osazení terčů probíhá samotná zkouška. Pro tento experiment byl jako zkušební zařízení vybrán přístroj DYNA (Obr. 1).

Po upevnění zkušebního zařízení jsou terče zatěžovány silou plynule až do porušení rychlostí  $0,05 \pm 0,01$  MPa/s. Síla při porušení je zaznamenána do protokolu a pak je stanoven střední průměr plochy porušení

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

zkušební tělesa. Pro každé zkušební místo je pak vypočítána soudržnost  $f_h$  se zaokrouhlením na 0,1 MPa dle:

$$f_h = \frac{4F_h}{\pi D^2}$$

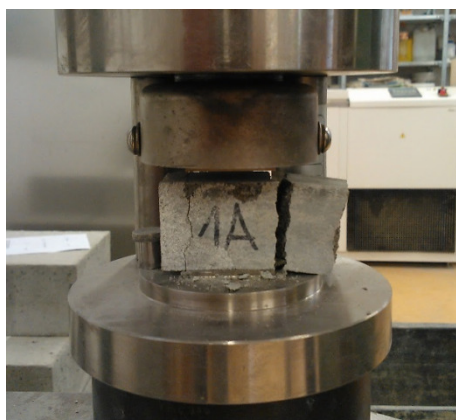
kde  $F_h$  je síla při porušení v N,  $D$  je střední průměr plochy porušení zkušební tělesa v mm [2].



Obrázek 1.: Přístroj DYNA pro měření odporu proti vytrhnutí

### 2.3 Stanovení pevnosti malty v tlaku a pevnosti v tahu ohybem

Zkoušky povrchové vrstvy cementové malty byly doplněny ověřením pevnostních charakteristik. Zkoušky pevnosti cementové malty v tlaku a pevnosti v tahu ohybem probíhaly dle ČSN EN 196-1 [3] po 28 dnech zrání zkušebních těles. Zkoušky pevností jsou zachyceny na Obr. 2.



Obrázek 2.: Zkouška pevnosti v tlaku (vlevo) a pevnosti v tahu ohybem (vpravo)

### 3. Zkušební tělesa

Pro popisovaný experiment byly vyrobeny 3 sady zkušebních těles, které byly označeny číslicemi 1, 2 a 3. Uložení těles po betonáži je zobrazeno na Obr. 3. Každá sada obsahovala 3 zkušební trámečky o jmenovitých rozměrech 40×40×160 mm (které byla označeny číslem sady a písmenem A, B, C) a jedno větší zkušební těleso (dlaždici) o jmenovitých rozměrech 300×300×80 mm, které bylo označeno číslem sady a písmenem D (tedy 1D, 2D a 3D).



*Obrázek 3.: Sady zkušebních těles po vybetonování*

Na trámečcích byly provedeny zkoušky pevnosti v tlaku a pevnosti v tahu za ohybu a především zkouška rtuťové porozimetrie, o čemž pojednává článek [6]. Zkušební dlaždice sloužily pro stanovení propustnosti povrchové vrstvy pro vodu a vzduch a následně z nich byla kotoučovým řezáním vyrobena 4 tělesa jmenovitých rozměrů 150×150×80 mm pro zkoušky odolnosti proti CHRL a soudržnosti stanovené pomocí zkoušky pevnosti v tahu povrchových vrstev.

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

Příprava složek malty, příprava malty a výroba zkušebních těles a jejich uložení byla prováděna dle ČSN EN 196-1 0. Složení cementové malty je uvedeno v Tab. 1.

*Tabulka 1.: Složení cementové malty v hmotnostních dílech*

<b>Sada zkušebních těles:</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
CEM I 32,5 R Mokrá	1	1	1
Normový křemičitý písek frakce I, II, III v poměru 1:1:1 dle ČSN EN 196-1 [3]	3	3	3
Voda, vodní součinitel w/c	0,35	0,50	0,65

#### 4. Výsledky zkoušek

Výsledky odolnosti proti CHRL byly stanoveny na šesti zkušebních tělesech o jmenovitých rozměrech 150×150×80 mm, vždy po 2 tělesech z každé sady. Výsledky jsou zaznamenány v Tab. 2 a vyneseny v grafu na Obr. 4.

Stanovení soudržnosti zkouškou pevnosti v tahu povrchových vrstev bylo provedeno na celkem 8 zkušebních tělesech, na kterých bylo osazeno 9 terčů o průměru 50 mm, vždy po 3 zkušebních místech z každé sady. Pomocí zkušebního zařízení DYNA byly postupně odtrhávány jednotlivé terče a byla zaznamenávána maximální síla při porušení  $F_h$  v N, vše je zaznamenáno v Tab. 3.

Pevnostní charakteristiky byly ověřovány na všech zkušebních trámečcích, výsledky jsou sumarizovány v grafu na Obr. 6.

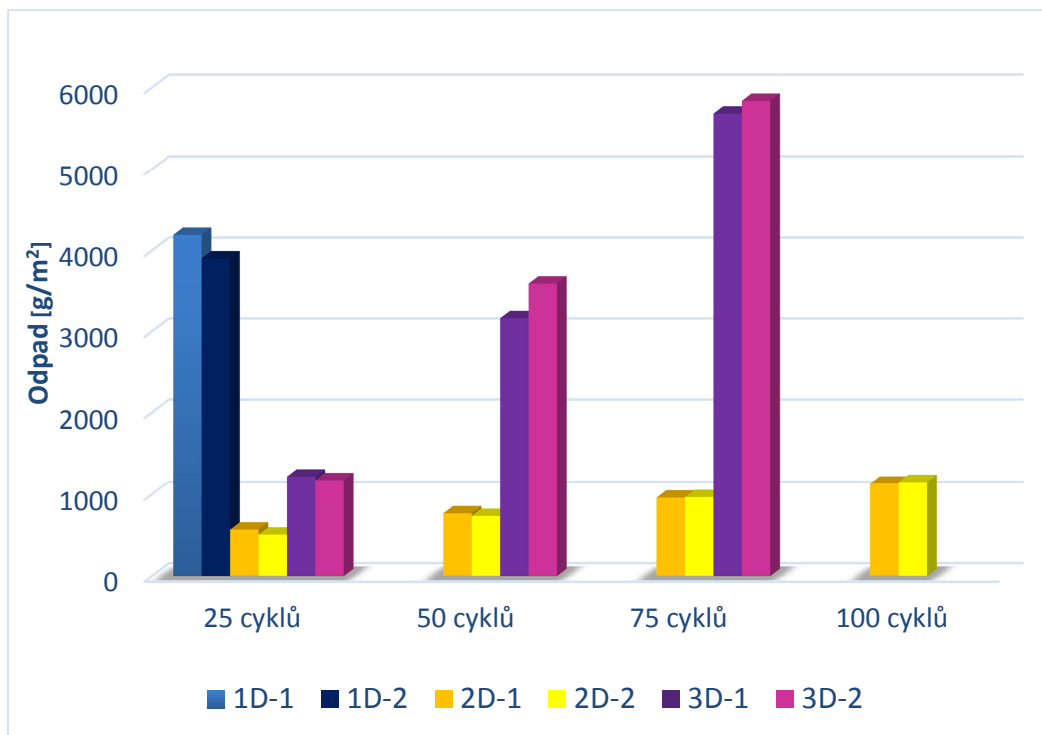
*Tabulka 2.: Výsledky odolnosti proti působení CHRL*

Označení vzorku	odpad po cyklech [g]				odpad po cyklech [g/m <sup>2</sup> ]			
	25	50	75	100	25	50	75	100
<b>1D-1</b>	220,0	-			<b>4190</b>	-		
<b>1D-2</b>	204,9	-			<b>3903</b>	-		
<b>2D-1</b>	29,8	10,5	10,1	9,2	<b>568</b>	<b>768</b>	<b>960</b>	<b>1135</b>
<b>2D-2</b>	26,6	12,0	12,1	10,0	<b>507</b>	<b>735</b>	<b>966</b>	<b>1156</b>
<b>3D-1</b>	64,2	101,7	132,4	-	<b>1223</b>	<b>3160</b>	<b>5682</b>	-
<b>3D-2</b>	61,9	126,2	118,4	-	<b>1179</b>	<b>3583</b>	<b>5838</b>	-

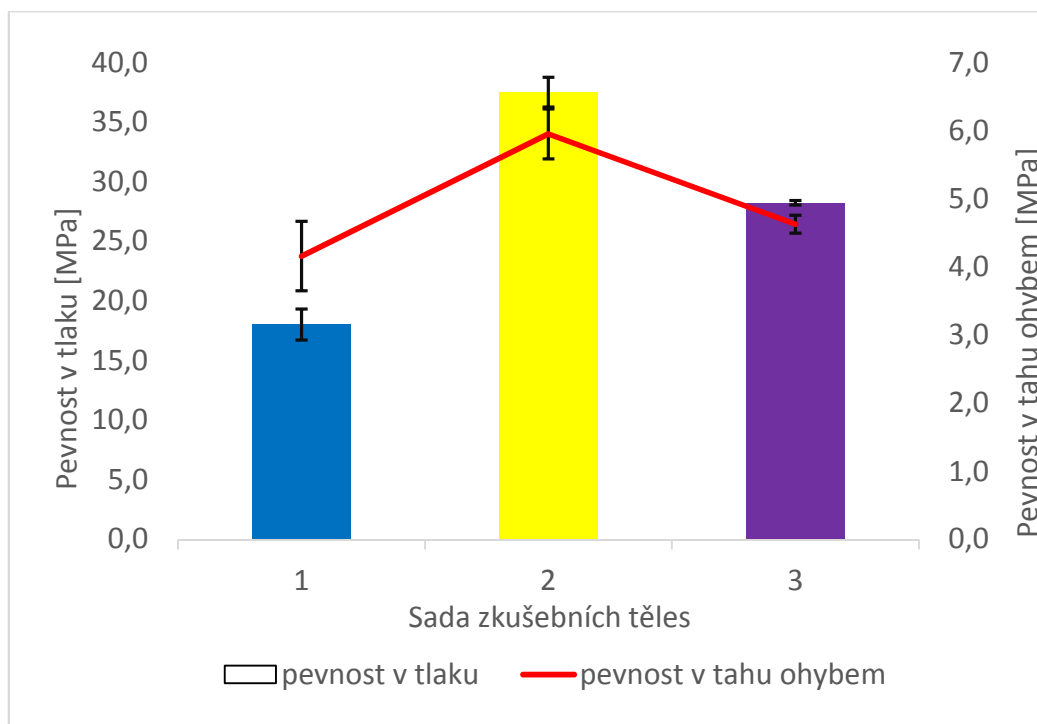


Tabulka 3.: Stanovení soudržnosti zkouškou pevnosti v tahu povrchových vrstev

Zkušební těleso	Síla při odtržení terče	Průměr odtrženého terče	Soudržnost	Průměr	Směrodatná odchylka
	F [N]	D [mm]	$f_h$ [N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
<b>1D</b>	2500	48,8	1,3	<b>1,7</b>	<b>0,4</b>
	4100	49,3	2,1		
	2800	48,0	1,5		
<b>2D</b>	6800	49,0	3,6	<b>3,5</b>	<b>0,1</b>
	6200	48,0	3,4		
	6300	48,7	3,4		
<b>3D</b>	-	-	-	-	-



Obrázek 4.: Odpady pro jednotlivé vzorky po cyklech v g/m<sup>2</sup>



Obrázek 5.: Pevnost v tlaku a pevnost v tahu ohybem na cementových trámečcích

## 5. Diskuze výsledků

U zkušebních těles 1. sady došlo při stanovení odolnosti proti působení chemických a rozmrazovacích látek k rozpadu již po prvních 25 cyklech. Tento výsledek se vzhledem k distribuci pórů v maltě očekával a brzké porušení povrchu vlivem CHRL je snadno vysvětlitelné - příčinou je výrazně odlišná pórovitost cementové malty s vodním součinitelem 0,35, konkrétně velmi vysoký objem větších pórů o velikosti od 10 do 70  $\mu\text{m}$ , který potvrdila také zkouška rtuťové porozimetrie [6].

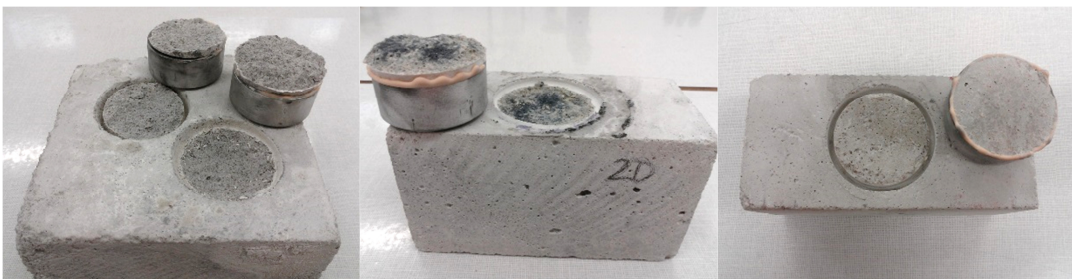
Ze stejného důvodu byla věnována pozornost zkušebním tělesům třetí sady, jejichž vodní součinitel byl 0,65. Z grafu na Obr. 5 je patrné, že po jednotlivých měřených cyklech velikost odpadu výrazně narůstala. Zkoušení bylo přerušeno po 75 cyklech. Pro porovnání sloužily vzorky 2D, které se vzhledem k normovému vodnímu součiniteli 0,5 dají považovat za referenční. Tato zkušební tělesa vykázala nejlepší odolnost proti CHRL, kdy o 100 cyklech byla zjištěna hodnota odpadu přibližně 1100 g/m<sup>2</sup>. Tělesa po zkoušce CHRL jsou předmětem Obr. 6.



Obrázek 6.: Zkušební tělesa po provedení zkoušky CHRL (zleva 1D, 2D, 3D)

Stanovení soudržnosti zkouškou pevnosti v tahu povrchových vrstev pro zkušební tělesa třetí sady s vodním součinitelem 0,65 (na zkušebních tělesech získaných z dlaždice 3D) nebylo možné vyhodnotit, jelikož došlo pouze k odtržení lepidla od povrchu cementu, přestože byl povrch zkušebních těles před zkouškou očištěn ocelovým kartáčem. Důvodem je nestandardně vysoký vodní součinitel, který vzhledem k tekutosti směsi při výrobě způsobil vyplavení nejjemnějších částic písku k povrchu zkušebních těles. Tento filer spolu s velmi malou velikostí pórů v povrchové vrstvě zkušebních těles (viz [6]) způsobil nesoudržnost lepidla s maltou. Přestože bylo použito kvalitní rychle tuhající epoxidové lepidlo, nedošlo k dostatečnému spojení s povrchem zkušebních těles a následně se tedy odtrhly od malty pouze terče (přibližně při síle o velikosti 1,5 až 2,0 kN).

U vzorků sady 1 byly soudržnosti stanoveny, avšak je patrný celkem velký rozptyl mezi jednotlivými hodnotami. Pro tuto sadu je průměrná hodnota soudržnosti  $f_h$  rovna  $1,7 \text{ N/mm}^2$ . Jako nejlepší se dle očekávání ukázaly vzorky sady 2, které dosáhly průměrné hodnoty soudržnosti  $f_h = 3,5 \text{ N/mm}^2$ , navíc s velmi malou směrodatnou odchylkou. Zkušební tělesa po odzkoušení jsou zachycena na Obr. 7.



Obrázek 7.: Zkušební tělesa po provedení zkoušky soudržnosti (zleva 1D, 2D, 3D)

## 6. Závěr

V příspěvku je popsán průběh a získané výsledky zkoušek kvality povrchové vrstvy cementové malty s různým vodním součinitelem. Povrchová vrstva byla hodnocena na základě zkoušky odolnosti proti chemickým a rozmrazovacím látkám a také soudržnosti pomocí zkoušky pevnosti v tahu povrchových vrstev. Cílem experimentu bylo porovnat výsledky těchto zkušebních metod na vzorcích z cementové matly s normovým vodním součinitelem 0,5 s výsledky na vzorcích s vodním součinitelem 0,35 a 0,65.

Cementová malta s nízkým vodním součinitelem 0,35 vykazuje větší objem pórů a tím pádem horší výsledky všech provedených zkoušek. Stejně tak malta s větším vodním součinitelem 0,65 vykazuje vzhledem k tekutosti čerstvé směsi odlišnou pórovitost a s tím související nižší hodnoty pevností i odolnosti proti CHRL oproti vzorkům s vodním součinitelem 0,5. Právě zkušební tělesa z této referenční sady 2 vykázala dle očekávání nejlepší výsledky. Velmi podstatná je skutečnost, že výsledky velmi dobře korespondují se souběžně prováděnými zkouškami porozimetrie a propustnosti, viz [6], [7].

## Poděkování

Příspěvek vznikl za podpory projektu GAČR 13-18870S „Hodnocení a predikce trvanlivosti povrchové vrstvy betonu“.

## Literatura

- [1] ČSN 73 1326 Stanovení odolnosti povrchu cementového betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek – Metoda A. Metoda automatického cyklování. ÚNM, 1985.
- [2] ČSN EN 1542 Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Zkušební metody – Stanovení soudržnosti odtrhovou zkouškou, ÚNMZ, 2000.
- [3] ČSN EN 196-1 Metody zkoušení cementu – Část 1: Stanovení pevnosti, ČNI, 2005.
- [4] ČSN EN 12350-1 Zkoušení čerstvého betonu – Část 1: Odběr vzorků, ÚNMZ, 2009.
- [5] ČSN EN 12390-2 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 2: Výroba a ošetřování zkušebních těles pro zkoušky pevnosti, ÚNMZ, 2009.

[6] VYMAZAL T.; BAYER P.; ROVNANÍKOVÁ P.: Effect of water/cement ratio on permeability of surface layer of cement mortar for water and air. In CONSTRUCTION MATERIALS, Nitra, 2013, ISBN 978-80-552-1031-5.

[7] STAVARŤ T.; GROHOVÁ T.; KOCÁB D.: Porovnání povrchové propustnosti cementové malty pro vodu metodou ISAT a GWT s hloubkou průsaku tlakovou vodou. In Zkoušení a jakost ve stavebnictví 2013, v tisku.

[8] KADLECOVÁ, Z.; ADÁMEK J.; REITERMAN P.: Hodnocení betonových kvádrů z hlediska trvanlivosti. In Zkoušení a jakost ve stavebnictví 2010. Brno, VUT v Brně, 2010, s. 75-82, ISBN 978-80-214-4144-6.

## **Kontakt**

Ing. TEREZA KOMÁRKOVÁ, tel: 00420 541 147 830, e-mail: grohova.t@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. DALIBOR KOCÁB, tel: 00420 541 147 811, e-mail: kocab.d@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. TOMÁŠ STAVARŤ, e-mail: stavar.t@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

## ČEDIČOVÁ VLÁKNA – VLÁKNA NOVÉ GENERACE

### BASALT FIBRES – FIBRES OF THE NEW GENERATION

**Michaela Kostecká, Jiří Kolísko**

Kloknerův ústav, ČVUT v Praze

***Anotace:***

*Čedičová neboli bazaltová vlákna patří v České republice mezi méně známá vlákna, která se používají převážně pro výrobu tepelně-izolačních materiálů. Ve světě jsou ale dnes čedičová vlákna díky svým vynikajícím vlastnostem velice úspěšně používána i v jiných oblastech. Perspektivně nahrazují drahá skleněná (S-vlákna) a nebezpečná azbestová vlákna. Nahradí čedič sklo i v Čechách?*

***Annotation:***

*The basalt fibres belonging in the Czech Republic among the less known fibres, which are mainly used for the production of heat-insulating materials. Nowadays they are very successfully used in the world in different areas, because they have excellent properties. In the future the basalt fibres replace a expensive glass fibres (S-Glass) and a dangerous asbestos fibres. Do they basalt fibres replace the glass fibres in Bohemia?*

***Klíčová slova:*** čedič, čedičová vlákna, výroba a použití čedičových vláken

***Keywords:*** basalt, basalt fibres, production and using of basalt fibres

## Úvod

Všechno začalo sopkami, ve kterých roztavené magma vystoupilo z hlubin Země a díky svému nejobvyklejšímu složení se stalo nejhojnější výlevnou magmatickou horninou na povrchu Země, Měsíce a patrně i jiných těles sluneční soustavy. Na Zemi totiž tvoří čedič (bazalt) více než 90% výlevných hornin.

A jak to bylo v Čechách? Čedič určený pro použití v tradiční zástavbě českého venkova se získával ručně odlamováním za použití jednoduchých nástrojů z čedičových skal, které mají charakteristickou sloupcovitou odlučnost – tzv. kamenné varhany (*Obrázek 1*). Mezi nejznámější české lokality, kde se čedič vyskytuje, patří podhůří Lužických hor v okrese Česká Lípa a Děčín. Nejznámější je Panská Skála u Kamenického Šenova s jezírkem naplněným srážkovými vodami ve vytěžené lomové jámě, proslulý je Zlatý a Studený vrch jako národní přírodní památka. A právě díky výskytům čedičové horniny v přírodně chráněných zónách byla značně omezená těžba čediče především pro účely stavební výroby. Jenomže těžaři usilují o obnovení těžby a zjevně se jim to daří. Např. kopec Tlustec na Českolipsku v květnu 2013 získal souhlas ministerstva životního prostředí k těžbě čediče za určitých podmínek.

A co čedičová vlákna? Co se týče textilních čedičových vláken, ty se v Čechách nevyrábějí, ale dovážejí se převážně z Ruska. Rusko je celosvětově největším dodavatelem čedičových vláken, dalším je pak Ukrajina a Čína.

## 1. Výroba

Čedičová nebo bazaltová vlákna jsou anorganická vlákna vyráběná z roztavené čedičové horniny. Výroba těchto vláken je velice ekologická, díky nízké energetické náročnosti a 100% recyklovatelnosti.

První pokusy se zvlákněním čediče byly realizovány na začátku 20. století, k rozvoji výroby došlo po 2. světové válce. Technologie výroby spočívá nejdříve v tavném zvláknění při teplotě 1500 – 1700 °C, následně dochází k rychlému ochlazení, čímž vzniká sklovitá hmota. Pro některé účely se vlákna dluží při teplotě cca 1300 °C.

Výrobní linka produkuje podle jemnosti vláken cca 15-35 kg vláken za hodinu (jemnost vláken je mezinárodní textilní termín a udává hmotnost v gramech jednoho tisíce metrů dlouhých nití nebo i jiných délkových textilií jako je příze, kabely, kabílky, prameny, pásy aj.; jednotkou je tex



1tex = 1g/1000 m). Celosvětová roční produkce čedičových vláken se odhaduje na 10 000 tun.

Jak bylo řečeno v úvodu, v Čechách se čedičová vlákna nevyrábějí, ale dovážejí se z ciziny. Zpracovávají se zde do plošných i délkových textilií, nejčastějším případem je výroba technických tkanin.



*Obrázek 1.: Čedičové „Kamenné varhany“ u obce Prácheň na Českolipsku – Národní přírodní památka, nejstarší chráněná geologická památka v této oblasti (zdroj foto [www.cyklostezkavarhany.cz](http://www.cyklostezkavarhany.cz))*

## **2. Vlastnosti**

Čedičová vlákna díky svým vynikajícím mechanickým, fyzikálním a chemickým vlastnostem předčila v mnoha ohledech ostatní vlákna a to je základní předpoklad k jejich masivnějšímu rozšíření v technické praxi. Čedičová vlákna jsou velice pevná, ohebná, mají vysokou tepelnou odolnost a velký tepelný rozsah použitelnosti. Mají nízkou navlhavost, jsou nehořlavá (nízký obsah spalin), mají dobrou chemickou odolnost proti vodě, většině alkálií, organickým i anorganickým kyselinám, organickým rozpouštědlům, většině chemikálií a jiným agresivním látkám.

Vlákná odolávají mrazu až do teploty  $-260\text{ }^{\circ}\text{C}$ , mají vysoký koeficient zvukové pohltivosti, vysoký elektrický odpor a vynikající odolnost proti eroznímu prostředí a UV záření. Čedičová vlákna svými vlastnostmi výrazně převyšují skelná vlákna (E-Glass), např. v tahu jsou pevnější až o 20%. Významnou předností těchto vláken je dnes to, že jsou zdraví nezávadná oproti podobným vláknům. Vytvářejí menší zátěž pro životní prostředí při výrobě a likvidaci materiálů. Celkově je výroba energeticky méně náročná než výroba skleněných vláken.

Vlákná jsou využitelná v mnoha odvětvích průmyslu.

V následující tabulce je uvedeno porovnání fyzikálních a mechanických vlastností čedičových a skleněných vláken (*Tabulka 1*).

*Tabulka 1.: Porovnání fyzikálních a mechanických vlastností čedičových a skleněných vláken [1]*

<b>Vlastnosti</b>	<b>čedič</b>	<b>sklo</b>
Hustota (při $20^{\circ}\text{C}$ ) [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	2 900	2 600
Navlhavost [%]	0,5	0,1
Modul pružnosti v tahu [MPa]	100 000	70 000
Pevnost v tahu [MPa]	1 850 až 2 150	1 850 až 2 150
Pevnost v tlaku [MPa]	300	300
Změna pevnosti v tahu [%]		
- Při relativní vlhkosti 100% za 64 dnů	91	72
- Při teplotě $400^{\circ}\text{C}$	82	52
Úbytek hmotnosti při $100^{\circ}\text{C}$ za 3 hod.		
- v $\text{H}_2\text{O}$ [%]	99,8	99,3
- v 2N HCL [%]	81,8	53,9
Pracovní teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ]	-200 až +700	-60 až +460
Měrná tepelná vodivost [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ]	0,027 až 0,033	0,029 až 0,035
Specifický odpor [ $\Omega\cdot\text{m}$ ]	$10^{12}$	$10^{11}$

Z tabulky vyplývá, že čedičová vlákna mají obdobné, a v mnoha případech lepší vlastnosti než vlákna skleněná, zejména lepší pružnost, hustotu, navlhavost a pracovní teplotu, lepší šetrnost k životnímu prostředí. Čedičové vlákna jsou perspektivní náhradou drahých skleněných vláken (S-sklo) a nebezpečných azbestových vláken. Nelze rovněž opomenout, že čedič je hornina, proto má také vyšší životnost než sklo.

### 3. Využití

Čedičová vlákna jsou díky svým vynikajícím mechanickým, chemickým a tepelně-izolačním vlastnostem pořád více využívaná v různých oblastech průmyslu. Nejčastěji se používají:

pro tepelně-izolační desky (izolace šikmých a plochých střech, příček, stropů, stropních podhledů, provětrávaných kontaktních fasád, sendvičového obvodového zdiva, podlah apod.)

jako tepelně-izolační směsi ve stavebnictví (žáruvzdorné stavební hmoty, plniva do tmelů apod.)

jako technické izolace pro tepelnou a zvukovou izolaci (kotly, pece, rozvody tepelných médií, vzduchotechnická zařízení, komínové tělesa, výfuky, tlakové nádoby apod.)

jako geotextilie, armovací tkaniny a vlákna (pro silniční a železniční stavitelství, živičné povrchy vozovek, lepenky, betonové výrobky apod.)

jako výztužné tkaniny v kompozitech a sekaná vlákna do plastických hmot, v různých technických výrobcích (rozbrušovací kotouče, lamináty, brzdové destičky apod.)

k filtrování agresivních látek, tkaniny a ucpávkové šnůry v chemickém průmyslu (náhrada azbestopryžových výrobků), horkovzdušná filtrace pro bytové a interiérové nehořlavé textilie (tapety, podkladové textilie apod.)

pro ochranné žáruvzdorné a kyselinovzdorné pracovní oděvy (hasiči, svářeči, pracovníci v chemických provozech, galvanovnách, apod.)

jako plná náhrada skleněných vláken při výrobě perlinky (tkaniny v perlínkové vazbě) pro stavebnictví (omítkové systémy, zalévací hmoty...)

jako kompozit (lodě, větrné mlýny, tenisové rakety, pádla, auta –palubní desky, řadící paky (*Obrázek 2*) apod.)

Jak je vidět, čedičová vlákna dokáží plnohodnotně nahradit vlákna azbestová a skleněná v různých průmyslových aplikacích. Dokonce nabízí nespočet nových možností všestranného využití. Není divu, že se čím dál více firem snaží zařadit alespoň některé z těchto produktů do své výroby. Čedič je přírodní materiál zpracovaný bez dalších přísad a v přírodě se bohatě vyskytuje ve formě vhodné k zvlákňování. Pro firmy je také výhodné, že celková výroba těchto vláken je energeticky méně náročná než výroba skleněných vláken. V neposlední řadě jsou čedičová vlákna menší zátěží pro životní prostředí při výrobě i likvidaci, což je dnes velice sledované úřady zabývajících se životním prostředím.

#### 4. Výrobci a dodavatele v ČR

V současné době je největším výrobcem čedičových vláken Rusko, dále Ukrajina a Čína. V České republice se tyto vlákna nevyrábějí, ale pouze transportují z ciziny.

Současný vývoj v této oblasti významně pokročil kupředu a díky novým výrobním technologiím a novým oblastem použití se produkce čedičových vláken ještě zvýšila.

Největší výrobci čedičových vláken:

**Kamenny Vek, Rusko** – je nejvýznamnější společnost pro výrobu čedičových vláken ve světě. Společnost vznikla v roce 2002 v Dubně a díky svému modernímu přístrojovému vybavení, laboratořemi a specialisty a dále širokou škálou technologií zpracování dodává na trh nejlepší možnou kvalitu a vlastnosti vláken. Zabývá se vývojem a zdokonalováním čedičových vláken.

**Basaltex, Wevelgem, Belgie**, zastoupení v ČR v **Šumperku** – společnost se od svého založení zabývá zkoumáním vlastností, zpracováním a uplatněním nového typu nekonečných čedičových vláken v technické praxi. Společnost je exportérem celého sortimentu vláken od největšího ruského výrobce „Kamenny Vek“ do Evropské unie. Dovážená vlákna jsou určena pro vlastní zpracování pro tuzemský a mezinárodní obchod. Hlavním výrobním zaměřením je zpracování čedičových vláken do plošných a délkových textilií, především výroba technických tkanin.

**Rockwool, Polsko** - je největší výrobce tepelných, zvukových a protipožárních izolací z kamenné vlny, která má schopnost odolávat teplotám přesahujícím 1000°C. Společnost vznikla v roce 1909, provozuje 27 továren na třech kontinentech, ve více než 40 zemích (včetně ČR v **Bohumíně**).

**Knauf Insulation, Schelbyville, Indiana** – je rodinná firma založená v roce 1978, má zastoupení ve 44 zemích světa na všech kontinentech a specializuje se na výrobu izolačních materiálů.

**Ecoplastik, Kostelec nad Labem** – trubky vyztužené čedičovými vlákny.

**Svitap J.H.J, Svitavy** – kompozitní materiály z čedičových vláken.

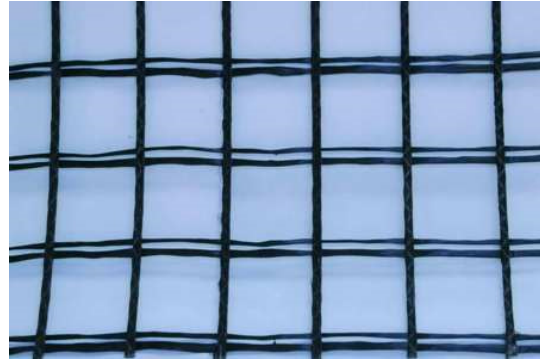
**Saint-Gobain Isover, Častolovice** – izolační materiály z čedičových vláken.

**Incotology, Německo**  
**další.**

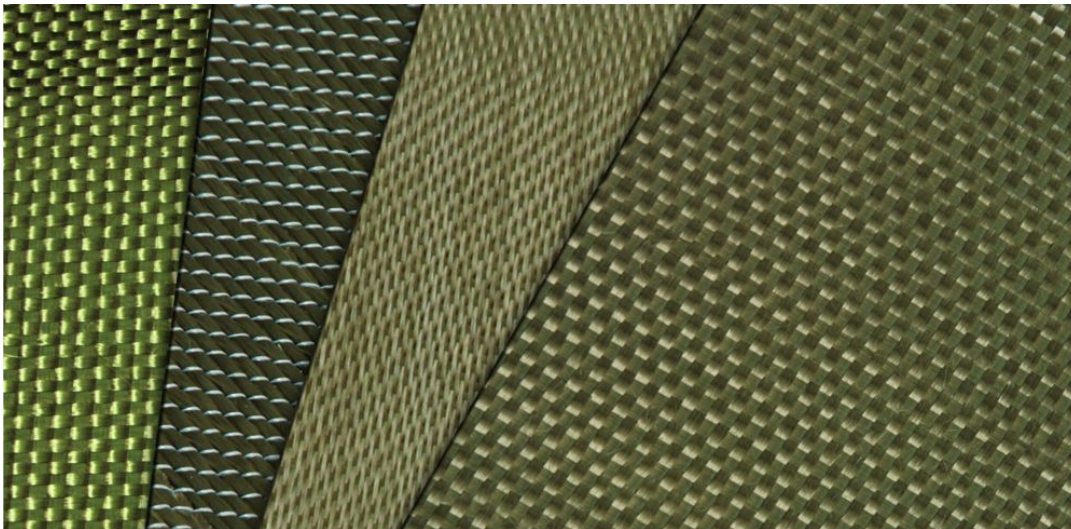
Na následujících snímcích jsou zobrazené ukázky produktu vyrobených z čedičových vláken.



*Obrázek 2.: Interiér automobilu - palubní deska a řadicí páka vyrobené z čedičových vláken (zdroj foto [www.basfiber.com](http://www.basfiber.com))*



*Obrázek 3.: Perlínka z čedičových vláken (zdroj foto [www.basfiber.com](http://www.basfiber.com))*



*Obrázek 4.: Ukázky různých typů čedičových tkanin v plátňové a keprové vazbě (zdroj foto [www.basfiber.com](http://www.basfiber.com))*

## **5. Závěr**

V článku byla prezentována výroba, vlastnosti a použití čedičových neboli bazaltových vláken. Z pečlivých studií čedičových vláken, návštěv společnosti, které už několik let vyrábějí nebo se zabývají čedičovými vlákny, z odborných konzultací a přednášek, sledování světových publikací i vlastních zatím počátečních experimentů autorů lze

konstatovat, že tyto vlákna si vydobyla své pevné postavení na celosvětovém trhu. Vlákna z čediče úspěšně nahrazují skleněná i azbestová vlákna. I když jsou čedičová vlákna jednou tak drahá než běžná skleněná vlákna, jejich vlastnosti převyšují vlastnosti skla. Čedičová vlákna nedráždí pokožku. Ze zkušeností uživatelů je práce s čedičovými vlákny šetrnější při ruční manipulaci než práce se skleněnými vlákny. Slibná budoucnost čedičových vláken přesvědčila i několik českých firem, které dnes z těchto vláken úspěšně vyrábějí různé produkty.

## Poděkování

Výsledky uvedené v článku byly získány v rámci řešení projektu získaného grantovou agenturou ČVUT v Praze za podpory specifického vysokoškolského výzkumu (grant č. SGS12/170/OHK1/2T/31) a Grantové agentury České republiky (grant č. 13-12676S).

## Literatura

- [1] Basaltex [online], dostupné na [www: <http://www.basaltex.cz/>](http://www.basaltex.cz/)
- [2] Basfiber [online], dostupné na [www: <http://www.basfiber.com/>](http://www.basfiber.com/)
- [3] POHÁNKOVÁ, I.: Čedičová vlákna pro technické aplikace. Diplomová práce, Liberec, 2010.
- [4] MILITKÝ, J.: Přednášky z textilních vláken. Liberec: TUL, 2003 (poznámky autorky článku z přednášek v průběhu studii na TUL).
- [5] Rockwool [online], dostupné na [www: <http://www.rockwool.com/>](http://www.rockwool.com/)
- [6] Institut geologického inženýrství [online], dostupné na [www: http://geologie.vsb.cz/](http://geologie.vsb.cz/)
- [7] Knauf Insulation [online], dostupné na [www: http://www.knaufinsulation.com/](http://www.knaufinsulation.com/)
- [8] Geologická encyklopedie [online], dostupné na [www: http://www.geology.cz/](http://www.geology.cz/)
- [9] Martin Čerňanský, Výskyt a těžba čediče, Lidová architektura [online], dostupné na [www: <http://www.lidova-architektura.cz/>](http://www.lidova-architektura.cz/)
- [10] KUNAL, S.: *A Short Review on Basalt Fiber*, In. International Journal of Textile Science 2012, 1 (4): 19-28. Department of Textile Engineering, Panipat Institute of Engineering & Technology, Harayana, India.

[11] PIERO DE F.: *Basalt fiber: from earth an ancient material for innovative and modern application*. In. Energia, Ambiente e Innovazione 3/2011, Roma, Itálie.

[12] Basalt Mesh and Fibers [online], dostupné na [www: <http://www.basaltex.cz/>](http://www.basaltex.cz/) (pokročilý výzkum Newport, Rhode Island USA)

## **Kontakt**

Ing. MICHAELA KOSTELECKÁ, tel: 00420 224 353 522, e-mail: [michaela.kostelecka@klok.cvut.cz](mailto:michaela.kostelecka@klok.cvut.cz), Kloknerův ústav, ČVUT v Praze, Šolínova 7, 166 08 Praha.

Doc. Ing. JIŘÍ KOLÍSKO, Ph.D., tel: 00420 224 353 545, e-mail: [jiri.kolisko@klok.cvut.cz](mailto:jiri.kolisko@klok.cvut.cz), Kloknerův ústav, ČVUT v Praze, Šolínova 7, 166 08 Praha.

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---



## MĚŘENÍ AUTOGENNÍHO SMRŠŤOVÁNÍ OD OKAMŽIKU ULOŽENÍ BETONU

### MEASURING OF AUTOGENOUS SHRINKAGE SINCE TIME OF CONCRETE CASTING

**Miroslav Kratochvíl, Ivailo Terzijski,  
Jaroslav Kadlec**

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební,  
Ústav betonových a zděných konstrukcí

***Anotace:***

*Příspěvek představuje zařízení, jehož primárním smyslem je měření autogenního smršťování od okamžiku uložení betonu do formy. Vedle konstrukce zařízení jsou popsány i průběh a výsledek verifikačního měření a jejich interpretace.*

***Annotation:***

*A new instrument focused primary for autogenous shrinkage measurement from the time of concrete casting is presented. Construction of the instrument is described alongside with discussion on related results interpretation.*

***Klíčová slova:*** *Beton, smršťování, plastická deformace, teplotní roztažnost, autogenní smršťování, zařízení měřící, deformace čerstvého betonu, metodika.*

***Keywords:*** *Concrete, shrinkage, plastic deformation, thermal expansion, autogenous shrinkage, measuring device, fresh concrete deformation, methodology.*

## 1. Úvod

Jedním z nejdůležitějších parametrů každé konstrukce je její trvanlivost. U betonových konstrukcí je trvanlivost výrazně ovlivněna objemovými změnami betonu, které mají za běžných podmínek charakter smršťování. Betonové konstrukce či jejich části se obvykle nemohu volně deformovat, a proto objemové změny betonu vedou zpravidla i ke změně napjatosti v konstrukci. Dosáhne-li hladina napětí v betonu jeho pevnosti (nejčastěji v tahu) dojde ke vzniku trhlinek. Trhlinky nejsou estetické, ale hlavně (pokud dosáhnou jisté minimální šíře) umožňují průnik agresivních médií z okolního prostředí do masy betonu, respektive k povrchu v betonu uložené výztuže (v případě železobetonu).

Je tedy pochopitelnou snahou smršťování betonu eliminovat, případně minimalizovat, či přinejmenším co nejpřesněji predikovat jeho průběh a velikost. V souvislosti s tímto je pochopitelně třeba nalézt i způsoby a postupy umožňující co nejpřesnější měření zájmové veličiny. Přitom lze rozlišit více příčin smrštění. U zralého betonu běžné pevnosti je obvykle rozhodující část smrštění zapříčiněna migrací vody z kapilárního systému betonu k jeho povrchu a následným odparem, tj. vysycháním. U vysokopevnostních betonů s typicky nízkým vodním součinitelem ovšem vzrůstá podíl i význam tzv. „autogenního smrštění“. To není vyvoláno změnou vlhkosti betonu, ale především charakterem chemické reakce cementu s vodou, kdy objem produktů této reakce je menší než celkový objem komponent do reakce vstupujících.

## 2. Možnosti měření smršťování

### 2.1. Měření smršťování od vysychání

Na Ústavu betonových a zděných konstrukcí bylo doposud k měření smršťování betonu používáno sledování délkových změn na standardizovaných zkušebních tělesech 100 x 100 x 400 mm. Měří se změna vzdálenosti mezi kotevními tělísky, na bočních stěnách zabetonovanými. Délkové změny mezi kotevními tělísky ovšem mohou být měřeny až po odformování vzorků, ke kterému standardně dochází až 24 hodin po uložení betonu do forem. Aby bylo do zahájení měření zamezeno jakémukoliv smršťování, jsou vzorky po výrobě a zavadnutí povrchu betonu ponořeny pod hladinu vody. Pod vodou zůstávají 5, resp.

7 dní podle konkrétní zvolené metodiky. Podrobný popis zmíněné metodiky měření smršťování je uveden např. v [1], [2].

Je zřejmé, že metodika zkoušky by měla korespondovat s postupem vytváření a ošetřování reálných betonových konstrukcí. Ukazuje se, že zatímco v laboratorních podmínkách lze téměř dokonale zastavit veškeré smršťování ponořením relativně subtilních zkušebních vzorků pod hladinu vody, v realu to vždy možné není. Zde lze v prvních dnech po betonáži omezit smršťování betonu ponecháním konstrukce v těsném bednění a dostatečným vodním kropením. U masivnějších konstrukčních prvků však i za těchto okolností může autogenní smršťování omezeně probíhat. Proto je aktuální snaha o nalezení postupů umožňujících měřit objemové změny betonu již krátce po jeho uložení. Jedním z takových postupů je měření smršťování betonu pomocí zkušebního „U“ žlabu. Zařízení a odpovídající metodika byly vyvinuty na Ústavu stavebního zkušebnictví FAST, VUT v Brně [3]. Nicméně odpovídající měření může být v úvodní fázi zejména u velmi plastických a SSC betonů zkresleno mechanickým vytlačováním části hmoty vzorku mimo účinnou polohu.

Doufáme, že jednou z možností, jak naznačené problémy při měření raného smršťování omezit, je užití postupu založeného na užití dále popsáního zařízení FRAME1.

## **2.2. Měření smršťování pomocí FRAME1**

Autogenní smrštění probíhá současně s hydratací cementu (hydratační reakce způsobuje objemové změny). Z toho plyne požadavek začít měřit toto smršťování co nejdříve po uložení betonu či modelového cementového kompozitu. Zároveň je třeba zabránit výměně vlhkosti s okolím a současně i zamezit pevnému spojení betonu s měřicí nádobou. To umožňuje zařízení FRAME1 vytvořené na Ústavu betonových a zděných konstrukcí FAST VUT v Brně. Zařízení sestává z ocelového rámu sloužícího k uchycení měřících nádob/forem, a současně i k uchycení deformometrů zachycujících objemové změny betonu. Lze přitom použít jak mechanické úchytkoměry, tak i indukční snímače. Konstrukci lze pevně přišroubovat k podlaze. Viz *Obrázek 1 a 2*.

Formy jsou vytvořeny z PVC roury vnějšího průměru 110 mm, výšky 990 mm, ve které je po délce vyříznut pásek šířky 20 mm.

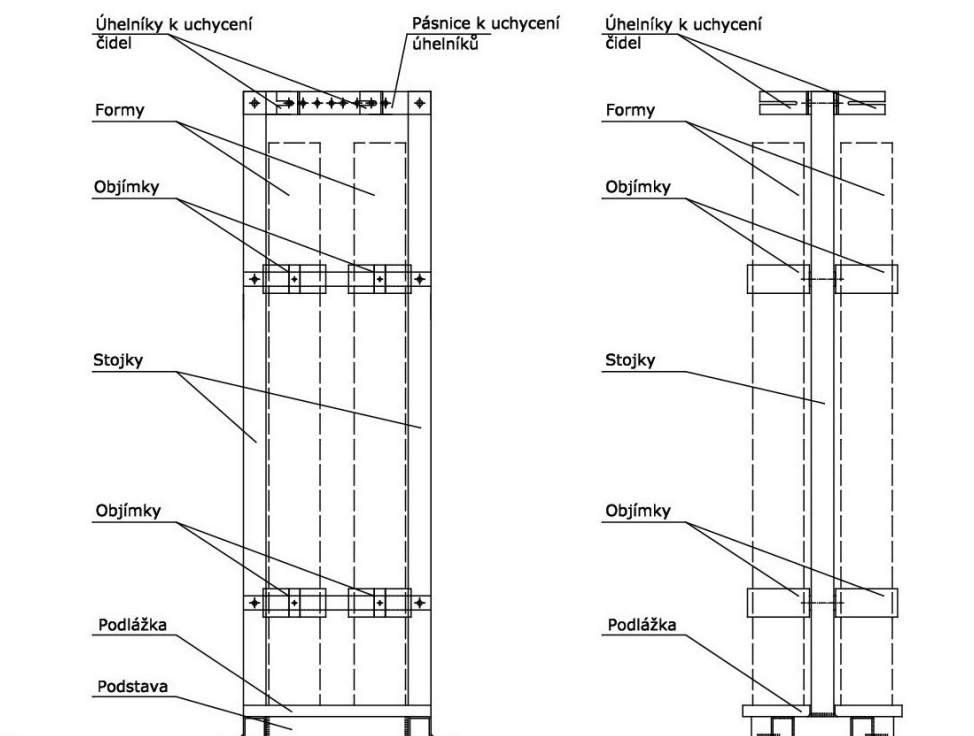
Podélné uzavření rozříznuté formy je realizováno rektifikačními kovovými objímkami, svislá spára je utěsněna silikonem. Do PVC formy je vložen „rukávec“ z odlehčeného pěnového polyetyleny. Po vybetonování se na povrch betonu

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

Pohled A

Pohled B



*Obrázek 1.: Schéma konstrukce zařízení*



*Obrázek 2.: Prototyp při měření*

v hlavě formy osadí terč, který představuje dosedací plochu pro měřidlo posunu, a současně zamezuje úniku vlhkosti z betonu do okolí. V průběhu experimentu je měřena i teplota ve hmotě betonu.

Základní výhodou zařízení FRAME1 je skutečnost, že umožňuje měřit deformace betonu prakticky již od okamžiku jeho uložení do formy. Tato výhoda ovšem přináší určité komplikace při interpretaci výsledků měření. Zařízení totiž měří opravdu vše, tj.:

plastickou gravitační deformaci betonu (jakési dohutňování) ve formě, deformace vyplývající z teplotní roztažnosti betonu, autogenní smrštění betonu,

v případě sejmutí ochranné trubky v pozdější fázi zkoušky i smršťování od vysychání.

V případě rozlišení prvních tří druhů deformací lze vycházet ze změřeného průběhu teploty sledovaného betonu. Hydratační reakce je totiž exotermní, a její intenzita proto koreluje s množstvím uvolňovaného tepla, a tedy i s okamžitou teplotu betonu. Jde o to stanovit při jaké teplotě je matrice cementového kompozitu (betonu) natolik pevná, že již nemůže docházet k její plastické gravitační deformaci. Při úvodních experimentech a jejich interpretaci (viz dále) jsme vycházeli ze dvou rozdílných předpokladů:

- a) Za počátek autogenního smršťování považujeme okamžik zpětného ochlazení vzorků na laboratorní teplotu.
- b) Za počátek autogenního smršťování považujeme okamžik dosažení maximální teploty ve vzorku.

## 2. Ověřovací experiment

K ověření funkčnosti zařízení bylo využito měření na vysokopevnostním betonu pevnostní třídy C60/75. Použitá receptura betonu je uvedena v *Tabulce 1*. Smrštění betonu bylo měřeno na 4 vzorcích. Zaznamenaný průběh deformace u jednotlivých vzorků je zachycen na *Obrázku 3*.

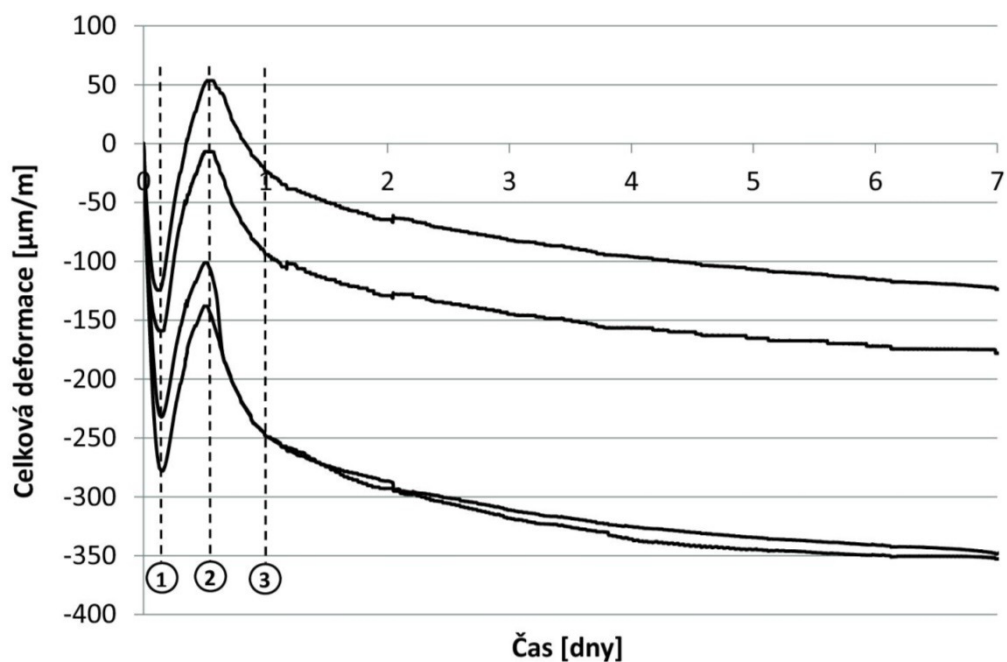
V první fázi experimentu dochází k plastickému sedání (v *Obrázku 3* jde o interval od uložení do časového okamžiku 1), následuje nabývání objemu způsobené exotermickou hydratační reakcí (v *Obrázku 3* jde o interval od časového okamžiku 1 do okamžiku 2), které je vystřídáno ochlazením betonu a jeho zkrácením.

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

Tabulka 1.: Receptura použitého betonu

Složka	Dávka [kg/m <sup>3</sup> ]
Cement CEM I 42,5 R Mokrý	430
Voda celková	164,7
Plastifikační přísada Stachement 2180	4,30
Zpomalující přísada RET 540	0,65
Jemné kamenivo 0/4 mm Hrušovany	1084
Hrubé kamenivo TK 4/8 mm Bilčice	419
Hrubé kamenivo TK 8/11 mm Bilčice	419



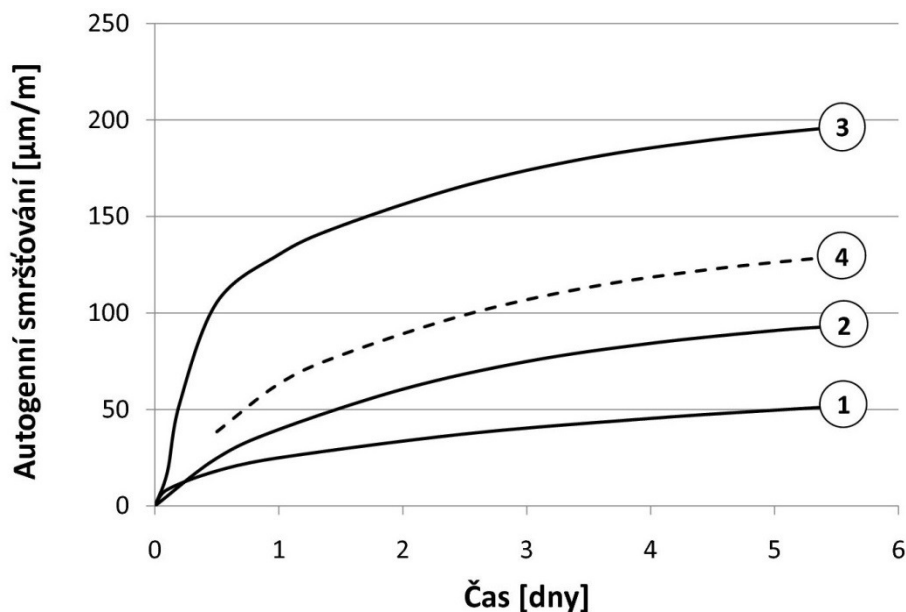
Obrázek 3.: Průběh celkové deformace; (1) čas začátku hydratace, tj. cca 3,3 hodiny od uložení betonu, (2) čas teplotního vrcholu betonu, tj. cca 12 hodin od uložení betonu, (3) čas kdy teplota betonu se snížila o 80% původního nárůstu, rozdíl mezi teplotou na začátku hydratace a po tomto snížení je menší než 1°C, tj. cca 24. hodin po uložení betonu.

Zjištěné hodnoty při uvažování autogenního smršťování od okamžiku poklesu teploty (zde od 24. hodiny měření):

plastické smrštění: 199  $\mu\text{m}/\text{m}$  (variační koeficient 35 %),  
nabývání od zvýšení teploty: 150  $\mu\text{m}/\text{m}$  (variační koeficient 13,6 %),  
zkrácení od ochlazení: 102  $\mu\text{m}/\text{m}$  (variační koeficient 30,4 %),  
autogenní smrštění mezi 24. až 172. hodinou: 100  $\mu\text{m}/\text{m}$  (variační koeficient 8,9 %).

Zjištěné hodnoty při uvažování autogenního smršťování od okamžiku maximální teploty (zde od 12. hodiny):

plastické smrštění: 199  $\mu\text{m}/\text{m}$  (variační koeficient 35 %),  
nabývání od zvýšení teploty: 150  $\mu\text{m}/\text{m}$  (variační koeficient 13,6 %),  
zkrácení od ochlazení ( $t_{\text{max}} - 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ): 67  $\mu\text{m}/\text{m}$  (teplota byla měřena pouze na jednom vzorku),  
autogenní smrštění od 12. hodiny po 172. hodinu: 202  $\mu\text{m}/\text{m}$  (variační koeficient 19,65 %),  
autogenní smršťování očištěné o teplotní deformaci: 135  $\mu\text{m}/\text{m}$ .



Obrázek 4.: Autogenní smrštění - predikce a skutečnost; (1) normový předpoklad, (2) průběh autogenního smršťování s uvažovaným začátkem od 24 hodin po uložení betonu, (3) průběh autogenního smršťování s uvažovaným začátkem v době vrcholné teploty betonu, tj. cca od 12 hodin po uložení betonu, (4) průběh autogenního smrštění s uvažovaným začátkem v době cca 12 hodin od uložení betonu, očištěný o zkrácení od ochlazení.

Z porovnání křivek (2) a (3) jednoznačně vyplývá velký vliv zvoleného počátku autogenního smrštění na jeho velikost. Rozdíl se zmenšuje, očistíme-li křivku (3) o nabývání od zvýšení teploty – křivka (4).

Porovnáním naměřených hodnot s hodnotami smršťování predikovanými normovým předpisem Přílohy B normy ČSN EN 1992-1-1 zjistíme, že norma pro daný beton podhodnocuje smrštění. Viz *Obrázek 4*. V čase cca 6 dní je naměřené autogenní smrštění cca o 100 % (křivka (2)) vyšší, než predikce. Při uvažování autogenního smršťování od okamžiku maximální teploty, je naměřené autogenní smrštění o 300 % (neočistěná hodnota), resp. o 170 % (očistěná hodnota) vyšší, než predikce.

### **3. Výhody a nevýhody zkušebního zařízení**

Mezi výhody měření smršťování pomocí popsaného zařízení patří: možnost relativně přesného měření objemových změn betonu od okamžiku uložení betonu;

možnost jemného uvolnění formy po zatuhnutí betonu (snížení tření); dostatečná velikost vzorků umožňující použít k měření deformací úchylkoměry se setinovým čtením a současně zvyšující přesnost měření; po odformování vzorku lze na něm pokračovat v měření smršťování od vysychání.

ve spojení s měřením teploty ve vzorcích a s odpovídající metodikou hodnocení výsledků zkoušky zařízení umožňuje identifikovat a případně i separovat jednotlivé typy objemových změn.

Mezi nevýhody patří zejména větší spotřeba betonu. Na vyplnění 1 válcové formy je potřeba 7,4 l betonu oproti 4 l, které jsou potřeba na výrobu 1 hranolu a oproti 6 l, které jsou potřeba při měření na žlabech [3]. Tuto nevýhodu lze částečně minimalizovat zmenšením použitých forem, což se však pochopitelně odrazí ve snížené přesnosti měření a/nebo v nemožnosti užití méně přesných (a tudíž levnějších) úchylkoměrů.

### **4. Závěr**

Zařízení FRAME1 umožňuje kvalifikovat i kvantifikovat objemové změny nastávající v době, kdy to dosud používanou metodikou na ÚBZK nebylo možné, totiž v čase od vybetonování vzorku do cca 24 hodin. Do budoucna předpokládáme zejména další zpřesňování metodiky interpretace výsledků měření.



## Poděkování

Tento příspěvek vznikl za přispění juniorského grantu FAST-J-12-10/1667 „Zařízení na měření autogenního smršťování betonů“ a projektu TA 03030010 „Vývoj postupů a pravidel pro proces návrhu, ukládání a ošetřování betonů s omezeným smršťováním a sníženým rizikem vzniku trhlin“.

## Literatura

[1] TERZIJSKI, I.: Smršťování vysokohodnotného betonu a možnosti jejich ovlivnění. Dílčí výzkumná zpráva CIDEAS za rok 2008. VUT FAST Brno, Brno 2008.

[2] TERZIJSKI, I.: Smršťování vysokohodnotného betonu a možnosti jejich ovlivnění. Dílčí výzkumná zpráva CIDEAS za rok 2009. VUT FAST Brno, Brno 2009.

[3] KUCHARCZYKOVÁ, B.; DANĚK, P.; BARÁK, L.; POSPÍCHAL, O.; MISÁK, P. Vliv obsahu pórovitého kameniva na objemové změny betonu. Stavební obzor. 2011. 20(10/2011). p. 301 - 303. ISSN 1210-4027.

## Kontakt

Ing. MIROSLAV KRATOCHVÍL, tel: 00420 541 147 865, e-mail: kratochvil.m@fce.vutbr.cz, Ústav betonových a zděných konstrukcí, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Prof. Ing. IVAILO TERZIJSKI, CSc., tel: 00420 541 147 850, e-mail: terzijski.i@fce.vutbr.cz, Ústav betonových a zděných konstrukcí, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. JAROSLAV KADLEC, tel: 00420 541 147 871, e-mail: kadlec.j@fce.vutbr.cz, Ústav betonových a zděných konstrukcí, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

## VÝVOJ RECEPTURY A ZKOUŠENÍ HVFAC BETONŮ

### DEVELOPMENT OF RECIPE AND TESTING OF HVFAC CONCRETES

**Lucie Kratochvíle<sup>1</sup>, Petr Huňka<sup>1</sup>,  
Hana Šáchová<sup>2</sup>, Jiří Kolísko<sup>1</sup>**

<sup>1)</sup> Kloknerův ústav, ČVUT v Praze,  
<sup>2)</sup> Chryso Chemie, s.r.o.

***Anotace:***

*Využití popílků do betonu je čím dál častějším trendem dnešní doby. Důležité je znát chemické složení a chemicko-fyzikální vlastnosti vstupních surovin, zejména použitých popílků. Dalšími důležitými sledovanými vlastnostmi HVFAC betonů jsou samozřejmě mechanické pevnosti. V článku jsou uvedeny výsledky mechanických vlastností HVFAC betonů z ověřovacích zkoušek provedených v laboratořích.*

***Annotation:***

*The use of fly ash in concrete is becoming more common trend today. It is important to know the chemical composition and physical-chemical properties of incoming materials, especially the fly ashes. Other important properties of HVFAC concrete are mechanical strength. The article presents results of mechanical properties of concrete HVFAC of validation tests carried out in laboratories.*

***Klíčová slova:*** HVFAC, popílek, mechanické vlastnosti, beton, přísada  
***Keywords:*** HVFAC, fly ash, mechanical properties, concrete, additive

## 1. Úvod

V období od října do prosince roku 2012 byly v laboratořích Kloknerova ústavu míchány betony HVFAC. Betony byly míchány strojní míchačkou při objemu záměsi 25 l. Od každé navržené receptury byla namíchána jedna záměs a z ní byla vyrobena zkušební tělesa: 4 krychle 150 x 150 x 150 mm a 3 krychle 100 x 100 x 100 mm, přičemž 2 krychle o hraně 150 mm byly určeny pro zkoušky 1-denní pevnosti, 2 krychle o hraně 150 mm na 28-denní pevnosti a 3 krychle o hraně 100 mm na 56-denní pevnosti, výsledky tab. 2.

## 2. Receptury zkoušených betonových směsí HVFAC

Na základě prvotních zkoušek z roku 2011 a 2012 byly pro betony HVFAC vybrány následující složky:

Cement	CEM II/A-LL 42,5 R
Popílek	Elektrárenský tuzemský černouhelný popílek Dětmarovice
Kamenivo	kamenivo frakcí 0/4, 8/16, 11/22
Plastifikátor	pro referenční recepturu označenou REF I ChrysoFluid Optima 224 pro betony HVFAC byla firmou Chryso navržena přísada HF-6
Voda	voda z vodovodního řadu

Postup míchání betonových směsí:

Do navlhčeného bubnu míchačky se vsypaly všechny frakce suchého kameniva a promíchaly se po dobu 30 s, následně se přidal cement a 30 s se promíchaly všechny suché složky. Poté byla do směsi přidávána voda společně s plastifikátorem a promíchávána cca 120 až 180 s. Takto připravená směs byla podrobena zkoušce konzistence (označená v tabulce 2 jako K1) – sednutí kužele/rozlití a byla stanovena objemová hmotnost čerstvého betonu. Rozlití je v našem případě míněno jako velikost (průměr) koláče, který vznikl po zkoušce sednutím, kdy míra sednutí byla třídy S5. Po stanovení těchto vlastností byla směs krátce promíchána, cca 10 s a odstavena na cca 25-30 min (bráno od doby přidání vody do suché směsi). Během pauzy byl buben míchačky přikryt mokrým hadrem k zabránění odparu vody z ČB. Po uplynutí stanovené

dobu byla směs opět krátce promíchána po dobu cca 10 s a byly provedeny následující zkoušky: konzistence čerstvé směsi (označená v tabulce 2 jako K2) – sednutí kužele/rozlití, objemová hmotnost čerstvého betonu a obsah vzduchu v čerstvém betonu. Po naplnění a zhutnění forem byly tyto po dobu 24 hodin uloženy v laboratorních podmínkách (teplota vzduchu 20°C a relativní vlhkost vzduchu 50%) a přikryty PE folií. Po 24 hodinách byly vzorky odformovány a uloženy do vodní lázně.

V tabulce 1 jsou uvedeny receptury betonů, které byly v rámci projektu namíchány.

*Tabulka 1.: Receptury HVFAC na 1 m<sup>3</sup> míchané KÚ, navážky v kg/m<sup>3</sup>*

Označení receptury	Cement	Popílek	Kamenivo			Plastifikátor		Voda
			Frakce 0/4	Frakce 8/16	Frakce 11/22	ChryoFluid Optima 224	HF-6	
<b>REF1</b>	300	0	894	434	527	2,49	-	-
<b>326_2</b>	160	265	800	447	542	-	2,72	146
<b>326_4</b>	170	237	817	436	530	-	2,72	149,4
<b>326_5</b>	180	210	850	427	518	-	2,88	155
<b>326_6</b>	190	190	863	419	508	-	3,04	160
<b>326_7</b>	200	200	863	419	509	-	8,96	152
<b>326_8</b>	210	210	862	419	508	-	7,68	145
<b>315_10</b>	160	240	820	447	542	-	2,72	141,6
<b>315_11</b>	170	210	860	436	530	-	2,72	147
<b>315_12</b>	180	184	879	427	518	-	2,88	171
<b>315_13</b>	190	190	877	426	517	-	3,04	173
<b>315_14</b>	200	200	877	426	517	-	11,12	141,0
<b>315_15</b>	210	210	877	426	517	-	11,36	141
<b>306_17</b>	160	217	860	447	542	-	2,56	138
<b>306_18</b>	170	188	880	436	530	-	2,72	147
<b>306_19</b>	180	180	889	432	524	-	2,88	175
<b>306_20</b>	190	190	889	432	524	-	7,05	159

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

### 3. Výsledky zkoušek provedených na betonech HVFAC

V následující tabulce 2 jsou uvedeny výsledky všech zkoušek provedených na čerstvých a ztvrdlých betonech. Na čerstvých směsích byla zkoušena konzistence a obsah vzduchu. Na ztvrdlých betonech byly zkoušeny pevnosti v tlaku po 1 dni (2 krychle o hraně 150 mm), 28 dnech (2 krychle o hraně 150 mm) a 56 dnech (3 krychle o hraně 100 mm).

Na obrázcích 1 až 4 jsou zdokumentovány 3 typické konzistence namíchaných betonových směsí. Směs 306-18, která se jevila ze všech namíchaných betonů jako nejvhodnější pro další testování. Směsi 306-20 a 306-19, kde už na první pohled bylo patrné, že betony nemají dostatečnou konzistenci.



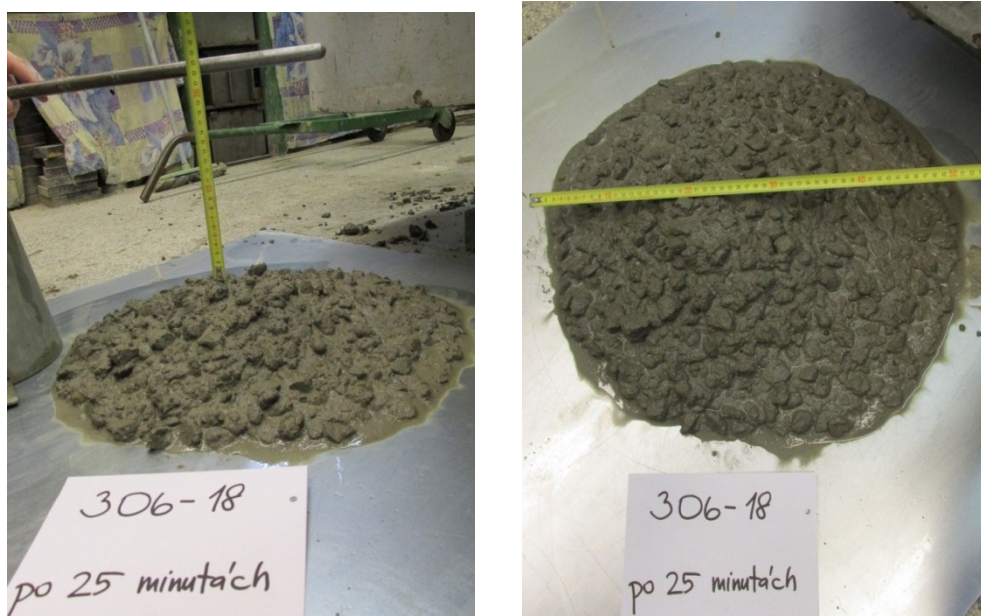
Obrázek 1.: Vzhled popílkového betonu v čase 5 minut po přidání vody, receptura 306-18, vlevo sednutí 230 mm, vpravo rozlité 450/480

Tabulka 2.: Výsledky zkoušek provedených na betonech HVFAC

Označení receptury	konzistence (sednutí-rozlití) [mm]		vzduch [%]	objemová hmotnost CB [kg.m <sup>3</sup> ]	1 den		28 dní		56 dní	
	K1	K2			objemová hmotnost [kg.m <sup>3</sup> ]	pevnost [MPa]	objemová hmotnost [kg.m <sup>3</sup> ]	pevnost [MPa]	objemová hmotnost [kg.m <sup>3</sup> ]	pevnost [MPa]
REF1	170	-	-	2330	2340	8,6	2330	33,3	2330	34,1
326_2	260-700/630	250-630/630	2,2	2340	2310	0,9	2340	30,1	2280	46,2
326_4	260-630/610	240-630/630	2,7	2330	2300	1,1	2330	29,8	2260	41,6
326_5	260-630/630	240-630/640	3,3	2310	2270	2,1	2310	30,7	2290	36,7
326_6	260-630/650	260-630/600	4,9	2270	2260	1,9	2290	28,5	2260	32,1
326_7	220-450/460	230-400/450	3,9	2280	2290	0,6	2270	30,3	2250	39
326_8	250-590/560	230-480/530	3,8	2290	2280	0,6	2310	35,2	2260	48,7
315_10	260-640/620	250-630/570	2,8	2330	2310	1,6	2340	30,3	2270	46
315_11	250-630/570	250-630/560	3,6	2300	2290	2,9	2330	30,6	2310	44,8
315_12	60	30	4,4	2270	2250	1,9	2260	21,9	2220	28,7
315_13	50	20	4,2	2270	2240	1,8	2260	23,5	2230	32,1
315_14	180	220	5,8	2210	2190	0,3	2210	27,9	2240	26,5
315_15	220-370/400	240-430/430	4,6	2270	2180	0,3	2230	30	2250	38,6
306_17	220-500/460	230-500/450	2,4	2330	2290	3,8	2330	34,3	2340	48
306_18	230-450/480	220-530/530	3,3	2330	2280	1,7	2310	27,8	2290	39,6
306_19	50	20	4	2260	2250	1	2270	19,1	2240	28
306_20	180	170	3,8	2250	2240	1,6	2270	26,7	2250	36,7

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

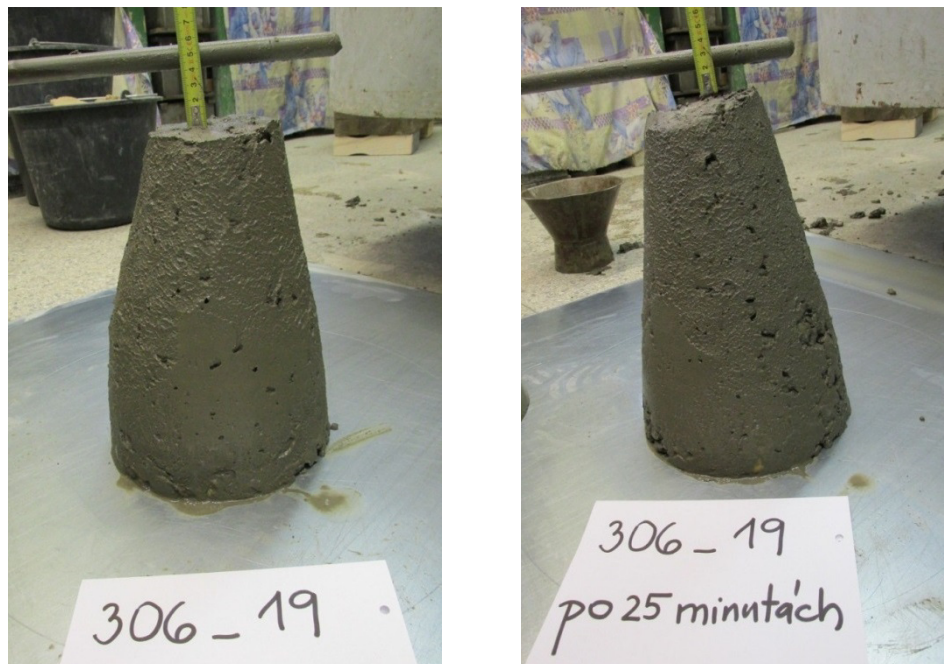


Obrázek 2.: Vzhled popílkového betonu v čase 25 minut po přidání vody, receptura 306-18, vlevo sednutí 220 mm, vpravo rozlité 530/500



Obrázek 3.: Vzhled popílkového betonu v čase, receptura 306-20, vlevo sednutí 180 mm 5 minut po přidání vody, vpravo sednutí 170 mm 25 minut po přidání vody





*Obrázek 4.: Vzhled popílkového betonu v čase, receptura 306-19, vlevo sednutí 50 mm 5 minut po přidání vody, vpravo sednutí 20 mm 25 minut po přidání vody*

#### **4. Závěr**

Na základě provedených zkoušek lze doporučit pro další ověřování receptury 326-2, 326-4, 326-5 – vysoká konzistence bez nadměrného obsahu vzduchu, přijatelná pevnost v tlaku ve stáří 1 a 28 dní. Z obdobných důvodů lze pak doporučit pro další ověření receptury 306-17, 306-18. Ke zvážení potom receptury 315-10 a 315-11.

Pevnosti v tlaku ve stáří 28 dnů se u doporučených receptur popílkového betonu pohybují na úrovni 30 MPa. Na základě dosažených pevností je možné zařadit popílkové betony do pevností třídy C16/20 případně C20/25. Pevnostní třída referenčního betonu, který byl před zahájením této série zkoušek znovu vyroben v laboratoři Kloknerova ústavu, je C 20/25 (28 dní – 33,3 MPa).

Ze zkušenosti víme, že kvalita dodávaných popílků je proměnlivá, proto jsou během projektu sledované jejich chemicko-fyzikální vlastnosti (chemické složení, měrná hmotnost, měrný povrch, zbytek na síť 0,063 mm a vodonáročnost popílků).

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

## Poděkování

Výsledky uvedené v článku byly získány v rámci řešení projektu TIP-FR-TI3/747 Betony s velmi vysokým obsahem popílku v transportbetonu - HVFAC a grantu č. SGS12/170/OHK1/2T/31.

## Literatura

- [1] MALHOTRA, V.M.; MEHTA P.K.: High-performance high volume fly ash concrete: Materials, Mixture Proportioning, Properties, Constuction Practice and Case Histories. Second Edition, 2005, ISBN 0-9731507-2-6.
- [2] HUBBARD, F.H. et.al: Pulverized-Fuel ash for concrete: Compositional characterization of United Kingdom PFA. Cement and Concrete Research, Vol. 15, pp. 185-198, 1985.
- [3] [www.ashresources.co.za](http://www.ashresources.co.za)
- [4] FEČKO, P.; KUŠNIEROVÁ, M.; LYČKOVÁ, B.; ČABLÍK, V.; FARKOŠOVÁ, A.: Popílky. Ostrava 2003, ISBN: 80-248-0327-5.
- [5] LUTZE, D.; VOM BERG, W.: Průručka popolček v betóne – Základy výroby a použitia. Trnava 2008, ISBN: 978-80- 969182-4- 9.

## Kontakt

Ing. LUCIE KRATOCHVÍLE, tel: 00420 224 353 518, e-mail: anton.o@fce.vutbr.cz, Kloknerův ústav, ČVUT v Praze, Šolínova 7, 166 08 Praha 6 - Dejvice.

Ing. PETR HUŇKA, TEL: 00420 224 353 521, e-mail: petr.hunka@klok.cvut.cz, Kloknerův ústav, ČVUT v Praze, Šolínova 7, 166 08 Praha 6 - Dejvice.

Ing. HANA ŠÁCHOVÁ, Ph.D., tel: 00420 416 577 572, e-mail: hana.sachova@chryso.com, Chryso Chemie, s.r.o., výrobní závod, areál Lafarge Cement, a.s., 411 12 Čížkovice

Doc. Ing. JIŘÍ KOLÍSKO, Ph.D., tel: 00420 224 353 537, e-mail: jiri.kolisko@klok.cvut.cz, Kloknerův ústav, ČVUT v Praze, Šolínova 7, 166 08 Praha 6 - Dejvice.

**ŠTÚDIA INTERAKCIE POŠKODENÝCH  
ŽELEZOBETÓNOVÝCH NOSNÍKOV  
SO ZOSILŇUJÚCIMI PRVKAMI  
PRI KRÁTKODOBOM ZAŤAŽOVANÍ**

**INTERACTION STUDY OF DAMAGED  
REINFORCED CONCRETE BEAMS  
WITH STRENGTHENING MEMBERS  
AT SHORT-TERM LOADING**

**Martin Križma, Jaromír Petržala,  
Marek Kovačovic**

Ústav stavebníctva architektúry SAV

***Anotace:***

*Zosilňovanie poškodených lineárnych mostných prvkov sa realizuje viacerými postupmi - napr. pomocou spriahovacej dosky, resp. kombináciou dosky a zosilňujúcich tkanín. Problémom pri zosilňovaní je aj druh kontaktu poškodený prvok/nadbetónovaná doska a jeho vplyv na odolnosť a charakteristiky použiteľnosti.*

***Annotation:***

*Strengthening of damaged linear bridge elements is performed by various techniques - e.g. by a coupling slab or by combination of a slab and strengthening sheets. A problem at the strengthening is also a type of the contact damaged element/overconcreted slab and its influence on resistance and serviceability characteristics.*

***Klíčová slova:*** *lineárne betónové prvky, zosilňovanie pomocou dosky a dosky a tkanín, vplyv kontaktu na oba MS, experiment vs. EC2 a FEM*

***Keywords:*** *linear concrete elements, strengthening by slab and by slab and sheets, contact influence on LS, experiment vs EC2 and FEM*

## 1. Introduction

Prefabrication of linear bridge elements has a rational justification from the reason of acceleration and price degradation of construction. In the majority of cases, also qualitative indicators come to the foreground against the monolithic structures. The prefabrication is closely related to the technology of coupling, which is an effective method of connection of mainly beam prefabricated elements with a monolithically manufactured slab. The analogical technology is markedly used at reparation of damaged structures. An overconcreted slab together with coupling members also fulfils markedly a task of strengthening. The technology of structures coupling has a simple, but effective essence - increasing of a cross-section inertia moment, which is sizeable even at relatively small increasing of a cross-section height. The issue of reparation and application of strengthening members is thus broaden by problems about a type of contact damaged element/coupling slab.

In the contribution, we will focus on an interaction study of damaged reinforced beams with strengthening members at short-term loading. The issue is divided into two parts:

- an influence of a way of strengthening of damaged beams on resistance and serviceability characteristics of repaired beams,
- an influence of a type of the contact damaged beam/coupling slab on resistance and serviceability characteristics of repaired beams.

Overall, we tested 10 beams; the tests were performed in pairs. A designation of the beams was following:

- ST – damaged beams strengthened by a slab and coupling members,
- GFRP1 – beams strengthened as in the case ST and supplemented by GRRP sheets in extremely loaded shear zones,
- GFRP2 - beams strengthened as in the case ST and supplemented by GRRP sheets along a whole length of the beams,
- OZ – beams strengthened just by a slab, the indented contact according to [1],
- ZP - beams strengthened just by a slab, the rough contact according to [1].

Tests of the non-strengthened beams at stationary and moving load are described in [2].

## 2. Experimental program

Geometric, reinforcing and material characteristics of the beams experimentally examined until year 2012 are in [2]. The introduced characteristics for the above mentioned beams are in Table 1. Characteristics of the GFRP sheets can be found in the technological recommendation [5].

*Table 1.: Average values of the cube strength  $f_{cc}$ , flexural strength  $f_{ct,f}$ , Young's modulus of elasticity  $E_c$ , maximum test force  $F_{max}$ .*

Designation of beams	Beam			Strengthened slab			$F_{max}$ (kN)
	$f_{cc}$ (MPa)	$f_{ct,f}$ (MPa)	$E_c$ (GPa)	$f_{cc}$ (MPa)	$f_{ct,f}$ (MPa)	$E_c$ (GPa)	
ST	59.87	5.98	39.26	61.22	6.00	41.13	680
	62.47	6.72	39.73	61.44	6.83	40.00	670
GFRP1	59,13	5.71	38.72	63.34	5.82	44.60	730
	54.70	4.66	39.65	67.63	5.58	41.76	750
GFRP2	56.84	5.91	36.23	50.22	4.29	36.13	715
	59.64	4.80	37.22	58.21	5.91	38.87	685
OZ	62.42	5.67	39.73	58.90	6.59	40.00	654
	63.23	5.90	39.70	57.80	5.86	41.00	635
ZP	58.25	5.22	35.40	59.53	4.78	37.73	665
	58.12	5.43	36.03	59.14	4.82	37.70	695

### 2.1 Influence of strengthening type on resistance and serviceability characteristics

An average maximum test force value for the non-strengthened beams was circa  $F_{max} = 500$  kN. It was approximately the same for the beams loaded stationary as well as for the beams loaded by moving load, i.e. the loading type has no relevant influence on the resistance. But the moving load has a relevant influence on serviceability characteristics. A way of failure of the non-strengthened and strengthened beams of the type ST, GFRP1 and GFRP2 is evident from Figure 1.

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

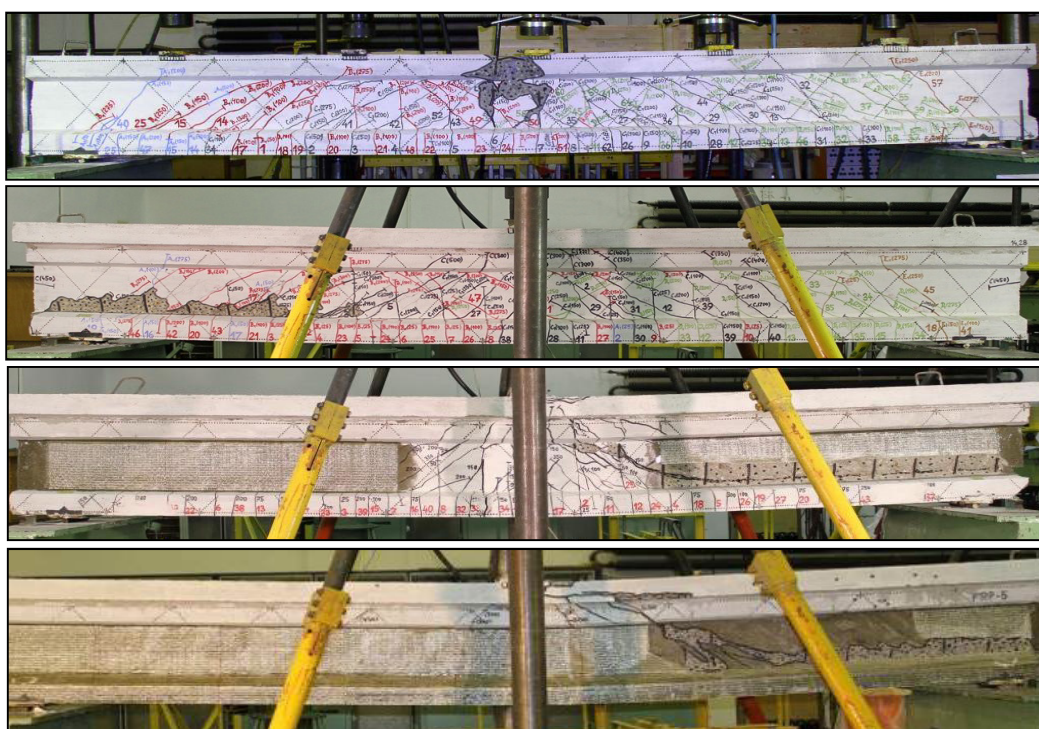


Figure 1.: Way of failure – a) non-strengthened beam, b) strengthened beams ST, GFRP1, GFRP2.

The resultant values of  $F_{max}$  at the failure are presented in Table 1. Strengthening of the beam by the slab with coupling members [2] increases the resistance about circa (35 – 38) %. At the GFRP1 beams, the resistance increased about circa 48 %. At the GFRP2 beams, there was no effect of the sheets application along the whole length with an enhanced anchorage measure. The resistance values were even smaller. In the case of serviceability characteristics (mainly deflections), following facts have a relevant influence on the resultant values - the coupling slab increases a value of the shape coefficient  $\chi$  and simultaneously the span-to-height ratio  $\alpha$  is changing. For the non-strengthened beams, it holds  $\alpha = 7.5$  and  $\chi = 1.875$ ; for the strengthened ones,  $\alpha = 6.2$  and  $\chi = 2.173$ . This reflects also in a change of the ratio  $\beta = a(sh)/a(tot)$ , where  $a(sh)$  is a deflection of the beam corresponding to the shear forces effect and  $a(tot)$  is its total deflection. At the load level  $\gamma = 0.5$ , this ration is  $\beta = 0.24$  for the non-strengthened beams and  $\beta = 0.43$  for the strengthened ones. The comparison of the work diagrams of the beams GFRP2 and OZ in Figure 2 corresponds to this statement too.

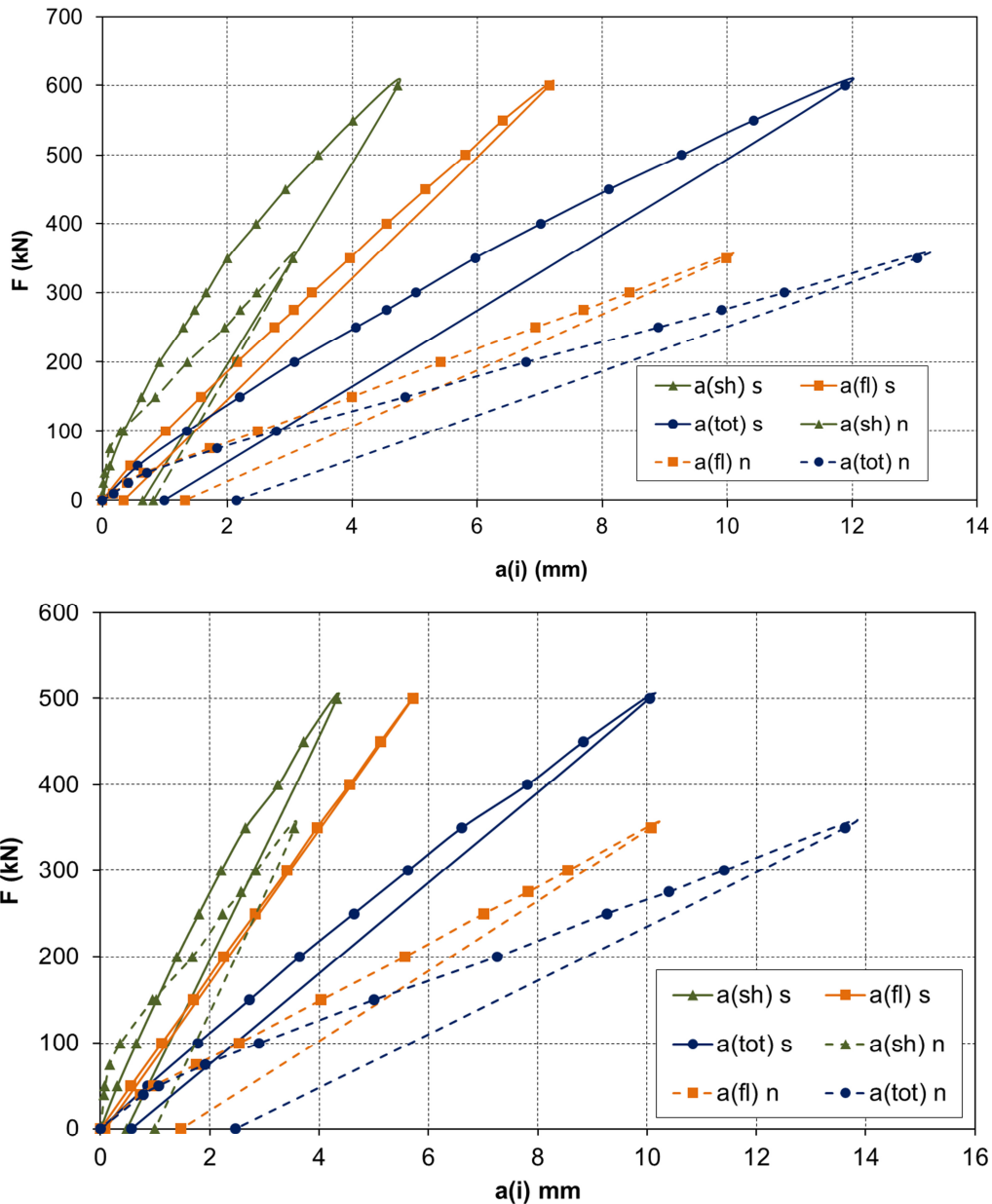


Figure 2.: Comparison of deflections for the non-strengthened and strengthened beams of the a) GFRP2 type and b) OZ type.

## 2.2. Influence of beam/slab contact type on resistance and serviceability characteristics

We examined an influence of the contact type on six beams. Four of them were without the coupling members and differed in a type of the

contact of the slab and the repaired beam. The OZ beams had their upper flanges indented according to [1]; the ZP beams had the rough upper flanges. The ST beams with the coupling members served as reference ones. The geometric, material and reinforcing characteristics are described in section 2.1. The loading mode and the loading stages are the same as in the case GFRP1 and GFRP2. The maximum values of the corresponding test force  $F_{max}$  are introduced in Table 1 and the resulting failure states are depicted in Figure 3.

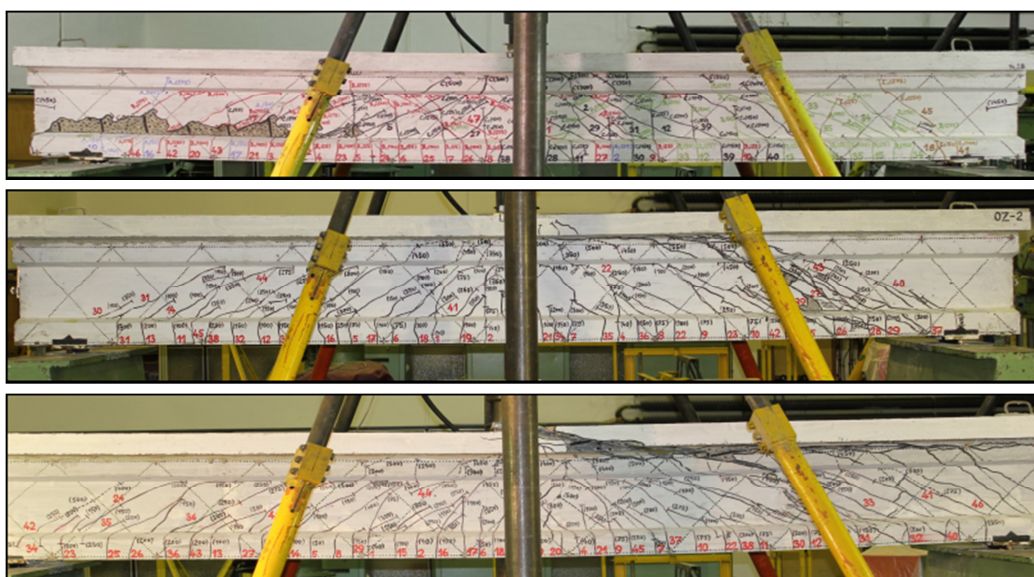


Figure 3.: Way of failure – strengthened beams ST, OZ, ZP.

For the complex verification of the coupled beams behaviour, a numerical analysis by software ATENA 3D was performed [6], [7]. For a non-linear analysis of concrete, the material "3D Nonlinear Cementitious" was chosen as its model. Necessary material characteristics of the beam and the slab concrete were obtained by laboratory measurements. A work diagram of concrete is made for a whole range of obtained results. The reinforcement was modelled by elements "Reinforcement" using a bilinear diagram with an increasing branch. The results obtained from the simulations are presented in Table 2. There are also corresponding design resistances achieved according to [1].



Table 2.: The design, numerical and experimental resistances of the coupled beams.

Type of surface	EN 1992 1-1, Eurocode 2					
	Flexure	Coupling				
	$F_{fl,max}$ [kN]	$c$	$\mu$	$\rho_{sl}$ [%]	$V_{r,max}$ [kN]	$F_{sh,max}$ [kN]
ST	706.4	0.45	0.7	0.18	472.7	945.4
	707.8	0.45	0.7	0.18	490.9	981.8
OZ	702.2	0.50	0.9	0	326.2	652.4
	708.1	0.50	0.9	0	331.4	662.8
ZP	706.1	0.45	0.7	0	288.1	576.2
	706.2	0.45	0.7	0	292.5	585.0

Type of surface	ATENA 3D - results			Experimental results		
	$F_{num}$ [kN]	$F_{num}/F_{exp}$ [% ]	Type of failure	$F_{exp}$ [kN]	$F_{des.}/F_{exp}$ [% ]	Type of failure
ST	652	95.9	Shear	680	103.7	Shear
	674	100.6	Shear	670	94.7	Shear
OZ	556	84.6	Sh./Cont.	657	99.3	Sh./Cont.
	549	82.8	Sh./Cont.	635	104.4	Sh./Cont.
ZP	561	84.1	Contact	665	86.6	Sh./Cont.
	556	80.0	Contact	695	84.1	Contact

It can be seen from Table 2, that the resistance values according to the numerical analysis are in the best compliance with the experimental ones in the case of the reference beams with the coupling reinforcement ST.  $V_{r,max}$  represents the transversal force at which the shear failure in the contact will appear and  $F_{exp,max}$  represents the corresponding loading force. For the other types of coupling, the resistances were also in good compliance but with higher deviations ( $\sim 5 - 20 \%$ ). It can be imputed to the fact that the cohesion parameters are estimated with a relatively bigger dispersion and they are significantly dependent on a production technology of the beam surface contrary to the reinforcement with relatively stable working characteristics. Even in the case of the beam ZP with the rough surface, the mutual slip did not appear at the contact surface level but in the domain of the "healthy" monolithic concrete. As if the contact surface cohesion was higher than the mutual cohesion of the

monolithic concrete, what can be explained by exceedingly developed ability of binding of the particular elements concretes. Numerically and experimentally obtained relations loading force vs. midspan deflection for a whole loading range of the coupled beams ST, OZ and ZP are presented in paper [4].

### 3. Conclusions

The strengthening of the repaired beam by the slab with the coupling members [2] increases its resistance about circa (35 – 38) %. At the non-strengthened beams, the failure of their upper flanges in flexural compression occurs. At the strengthened beams, the failure of the web occurs roughly in the middle of the shear span. When moreover GFRP sheets were applied (the beams GFRP1 and GFRP2), the resistance increased about circa 48 %. The resistance differences of the beams GFRP1 and GFRP2 are not relevant.

The shear-to-total deflection ratio  $a(sh)/a(tot) = 0.24$  for the non-strengthened beams and  $a(sh)/a(tot) = 0.43$  for the strengthened ones. The original value of the beam shape coefficient  $\chi = 1.875$  is enhanced by overconcreting of the slab to the value  $\chi = 2.173$ . Also an influence of the web action increases for the repaired beams.

The application of the contact beam/slab modification according to [1] changes the failure nature of the repaired beams OZ and ZP in comparison with the beams ST containing the coupling members. The ratios of their experimental resistances are  $F_{max}(OZ)/F_{max}(ST) = 0.96$  and  $F_{max}(ZP)/F_{max}(ST) = 1.01$ . With regard to the number of the tested specimens, these results are just informative.

At the present time, we are finishing the short-term loading experiments. Tests at repeated loading are being prepared. Their results will be introduced in a separate contribution.

### Acknowledgement

This paper has been supported by the Grant Agency (grant No. 2/0143/12).

## References

- [1] EN 1992 1-1, Eurocode 2, Design of concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings, 2004.
- [2] KRIŽMA, M., MORAVČÍK, M., PETRŽALA, J., BAHLEDA, F.: Carrying Capacity and Serviceability Characteristics of Strengthened Reinforced Concrete Linear Elements. In: Proceedings, „ Zkoušení a jakost ve stavebnictví“, 2. – 3. 10. 2012, FS VUT v Brně, editor: V. Heřmánková, pp. 69 – 76. ISBN 978-80-214-4578-9.
- [3] KOVAČOVIC, M., KRIŽMA, M., PETRŽALA, J.: Resistance between Concrete Surfaces. In: Proceedings of 10-th European Conference of Young Researches Scientists, Section 7 „Civil Engineering“, 24 – 26 June 2013, Žilina, Editor: M. Ďuriníková, pp. 133 – 136, ISBN 978-80-554-0696-1.
- [4] KRIŽMA, M., PETRŽALA, J., KOVAČOVIC, M.: Resistance between concrete surfaces, In: Building Research Journal, 2013 (in print).
- [5] Technological instruction for application of composite fabrics, Strengthening system BETOSAN TYFO, BETOSAN s. r. o. Prague, Czech Republic (in Czech).
- [6] KABELE, P., ČERVENKA, V., ČERVENKA, J.: Example Manual. ATENA Engineering, Prague, Czech Republic, 2005.
- [7] ČERVENKA, V., ČERVENKA, J.: User's Manual for ATENA 3D, Prague, Czech Republic, 2009.

## Contact

Ing. MARTIN KRIŽMA., PhD., tel. 0421 02 59309 228, e-mail: usarkrim@savba.sk, ICA SAS, Dúbravská cesta 9, 845 03 Bratislava, Slovakia.

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

## VLIV RYCHLOSTI ZATĚŽOVÁNÍ NA PEVNOSTNÍ TŘÍDU DRÁTKOBETONU

### INFLUENCE OF SPEED LOADING TO THE STRENGTH CLASS OF STEEL FIBRE CONCRETE

**Václav Ráček, Jan Vodička, Jiří Krátký**

Katedra betonových a zděných konstrukcí,  
Fakulta stavební, ČVUT v Praze

***Anotace:***

*Nejednotná metodika pro vyhodnocování zejména tahové pevnostní třídy drátkobetonu, ale i různé uspořádání zkoušek pro získání pevnostních tříd poskytují projektantům velký rozptyl výsledků.*

*Příspěvek si klade za cíl ukázat rozdíly ve výsledných pevnostních třídách na identických vzorcích při čtyřbodovém uspořádání zkoušky, ovšem pokaždé s jinou rychlostí zatěžování (0,5 mm/min a 0,2 mm/min).*

***Annotation:***

*Inconsistent methodology for evaluating of the strength class of SFC (steel fibre concrete), and also various possibilities of testing to obtain strength classes give large variance of results to designers.*

*The main goal of this paper is to show the differences in strength classes on identical samples by the four-point test arrangement, with a different speed of loading (0,5 mm/min and 0,2 mm/min).*

***Klíčová slova:*** *pevnostní třída drátkobetonu, rychlost zatěžování, čtyřbodové uspořádání zkoušky*

***Keywords:*** *Strength class of SFC (steel fibre concrete), speed loading, four-point test arrangement*

## 1. Úvod

Stále častější aplikace drátkobetonu při výrobě konstrukčních prvků z drátkobetonu, nebo drátkobetonových konstrukcí vedou k nutnosti zabývat se otázkou pevnostních tříd drátkobetonu. Pouze charakteristické pevnosti drátkobetonu stanovené průkazními zkouškami a uvedené v pevnostních třídách drátkobetonu jsou zárukou spolehlivosti navrhovaných drátkobetonových konstrukcí realizovaných v budoucnu.

V současnosti stále neexistuje jednotný postup v průkazních zkouškách a způsobu odvozování důležitých charakteristických pevností pro vyrobený drátkobeton. Firemní předpisy velkých výrobců drátků, např. firmy Bekaert, Krampe-Harex atd. uplatní postupy jak charakterizovat vyrobený drátkobeton a to i s následným statickým postupem při návrhu drátkobetonových konstrukcí.

Hlavní rozdíly v těchto předpisech se projevují v nestejném uspořádání průkazních zkoušek, především těch, kterými se charakterizují tahové pevnosti vláknobetonu. Rovněž využití stanovených tahových pevností po vzniku makro-trhlin při návrhu drátkobetonových konstrukcí ze zkoušky je nejednotné. Nejednotnost zůstává i v rychlosti provedení zkoušek ohybem, ze kterých se odvozují tahové pevnosti pro statické navrhování drátkobetonových konstrukcí.

Uvedený příspěvek shrnuje v přehledné tabulce charakteristiky dvou typů drátkobetonu, které se lišily pouze typem užitých drátků a to Dramix RC-80/60-BN a Tri-Treg dl. 50 mm o průměru 1,05 mm. Složení betonové matrice bylo ponecháno stejné. Průkazní zkoušky pro pevnost drátkobetonu v tlaku byly provedeny na krychlích o hraně 150 mm, zkoušky ohybem na trámčích o rozměrech 150/150/700 mm se čtyřbodovým uspořádáním zatížení při rozpětí 600 mm. Ohybové zkoušky proběhly ve dvou rychlostech zatěžování a to 0,2 mm/min a 0,5 mm/min.

## 2. Charakteristiky testovaných drátkobetonů

Pro přehlednost jsou výsledky zkoušek, výpočet pevností i zařídění testovaných drátkobetonů uspořádány do tabulky. Značení dílčích pevností, způsob provedených zkoušek, i zařídění drátkobetonů do pevnostních tříd jsou v souladu s tzv. TP-FC 1-1, které byly zpracovány na ČVUT v Praze na Fakultě stavební, katedře betonových a zděných konstrukcí jako podklad využitelný do doby vydání evropských norem,

kteří nejen sjednotí zásady pro stanovení pevnostních tříd vláknobetonů, ale i postupy při zkoušení uvedených těles a také při návrhu vláknobetonových konstrukcí.

*Tabulka 1.: Výsledky tlakových zkoušek vzorků se 70kg/m<sup>3</sup> s drátky Dramix a Tri-Treg*

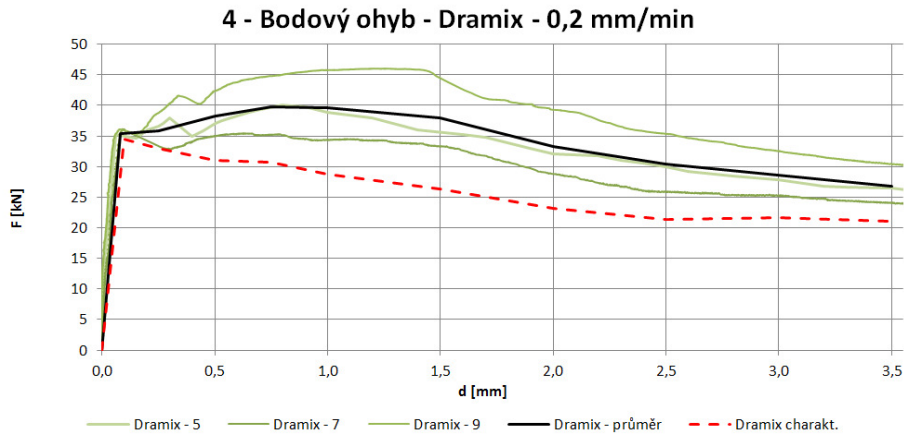
Označení drátků	Dramix - 70 kg/m <sup>3</sup>		Tri-Treg - 70 kg/m <sup>3</sup>	
Rychlost zatěžování	0,2 mm/min	0,5 mm/min	0,2 mm/min	0,5 mm/min
prům. krych. pevnost. $f_{fc,mc,cub}$ [MPa]	<b>78,70</b>		<b>83,20</b>	
směrodat. odchylka tří vzorků $k_{s,3}$ [-]	<b>8,77</b>		<b>4,82</b>	
charakt. rozptyl $\Delta f_{ck,cub,3}$ [MPa]	<b>16,58</b>		<b>9,11</b>	
charakt. krych. pevnost $f_{fc,ck,cub}$ [MPa]	<b>62,12</b>		<b>74,09</b>	
nejbližší nižší charakt. krych. pevnost dle TP-FC 1-1, tab 2.7.1b $f_{fc,ck,cub}$ [MPa]	<b>60</b>		<b>67</b>	
<b>FC <math>f_{fc,ck,cyl} / f_{fc,ck,cub}</math></b> při uvážení poměru <b>0,9</b>	<b>FC 55/60</b>		<b>FC 60/67</b>	
<b>na mezi vzniku makrotrhliny</b>				
průměrná odolnost $F_{Rm,cr}$ [KN]	<b>35,43</b>	<b>41,90</b>	<b>36,30</b>	<b>47,91</b>
směrodat. odchylka $\sigma_{n-1}$ [-]	<b>0,50</b>	<b>3,75</b>	<b>2,63</b>	<b>1,65</b>
charakt. rozptyl $\Delta F_{k,cr}$ [KN]	<b>0,94</b>	<b>7,10</b>	<b>5,29</b>	<b>3,33</b>
charakt. odolnost $F_{rk,cr}$ [KN]	<b>34,49</b>	<b>34,80</b>	<b>31,01</b>	<b>44,58</b>
charakt. moment $M_{Rk,cr} = 0,1 * F_{Rk,cr}$ [KNm]	<b>3,45</b>	<b>3,48</b>	<b>3,10</b>	<b>4,46</b>
charakt. pevnost v tahu za ohybu $f_{fc,tk,fl} = 6 * M_{Rk,cr} / bh^2$ [MPa]	<b>6,13</b>	<b>6,19</b>	<b>5,51</b>	<b>7,93</b>

*Tabulka 2. - pokračování: Výsledky tlakových zkoušek vzorků se 70kg/m<sup>3</sup> s drátky Dramix a Tri-Treg*

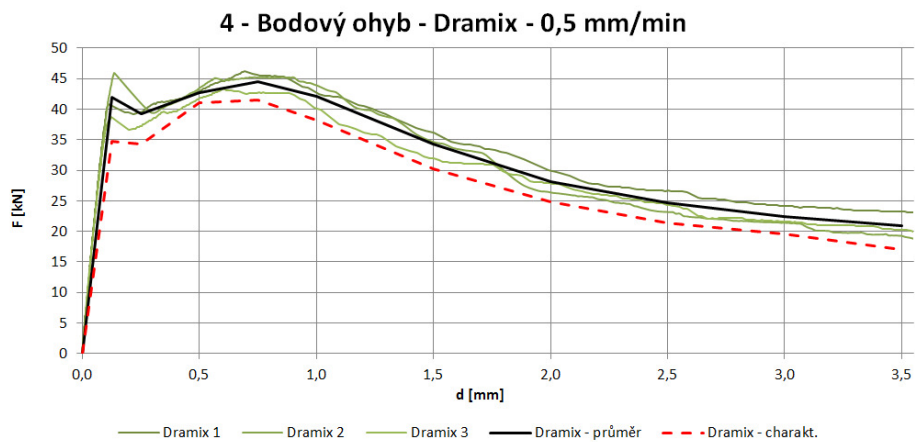
Označení drátků	Dramix - 70 kg/m <sup>3</sup>		Tri-Treg - 70 kg/m <sup>3</sup>	
Rychlost zatěžování	0,2 mm/min	0,5 mm/min	0,2 mm/min	0,5 mm/min
<b>na mezi vzniku makrotrhliny</b>				
charakter. pevnost v dostřed. tahu $f_{fc,tk,cr} = f_{fc,tk,fl} / 1,45$ [MPa]	<b>4,23</b>	<b>4,27</b>	<b>3,80</b>	<b>5,47</b>
pevnostní třída v dostředném tahu dle TP-FC 1-1, tab. 2.7.2 $f_{fc,tk}$ [MPa]	<b>4,20</b>	<b>4,20</b>	<b>3,80</b>	<b>5,40</b>
<b>po vzniku makrotrhliny - smluvní mez průhybu <math>\delta_t = 3,5</math> mm</b>				
reziduální průměrná odolnost $F_{Rm,res,1}$ [KN]	<b>26,86</b>	<b>20,94</b>	<b>14,01</b>	<b>30,93</b>
charakt. rozptyl $\Delta F_{Rk}$ [KN]	<b>5,85</b>	<b>3,86</b>	<b>3,10</b>	<b>1,09</b>
reziduální charakteristická odolnost $F_{Rk,res,1}$ [KN]	<b>21,01</b>	<b>17,08</b>	<b>10,91</b>	<b>29,84</b>
charakter. moment $M_{Rk,res,1} = 0,1 * F_{Rk,res,1}$ [KNm]	<b>2,10</b>	<b>1,71</b>	<b>1,09</b>	<b>2,98</b>
ekvivalent. charakt. pevnost v dostř. tahu $f_{fc,tk,eq,1} = 2,2 * M_{Rk,res,1} / bh^2$ [MPa]	<b>1,37</b>	<b>1,11</b>	<b>0,71</b>	<b>1,95</b>
pevnostní třída v dostředném tahu při $\delta_t = 3,5$ mm dle TP-FC 1-1, tab. 2.7.3 $f_{fc,tk,1}$ [MPa]	<b>1,20</b>	<b>1,10</b>	<b>0,60</b>	<b>1,00</b>
pevnostní třída vláknobetonu <b>FC <math>f_{fc,ck,cyl}/f_{fc,ck,cub} - f_{fc,tk,cr}/f_{fc,tk,eq}</math></b>	<b>FC 55/60 - 4,20/1,20</b>	<b>FC 55/60 - 4,20/1,10</b>	<b>FC 60/67 - 3,80/0,60</b>	<b>FC 60/67 - 5,40/1,00</b>

Pro názornost jsou na dalších obrázcích (obr.1,2,4,5) zobrazeny diagramy odolnosti pro jednotlivé případy zatěžování a typy drátků. Obrázky 3 a 6 dále doplňují informace pro výše uvedené případy o průměrně vynaložené práci (energii), kterou je třeba vynaložit pro dosažení mezního průhybu trámku 3,5 mm.

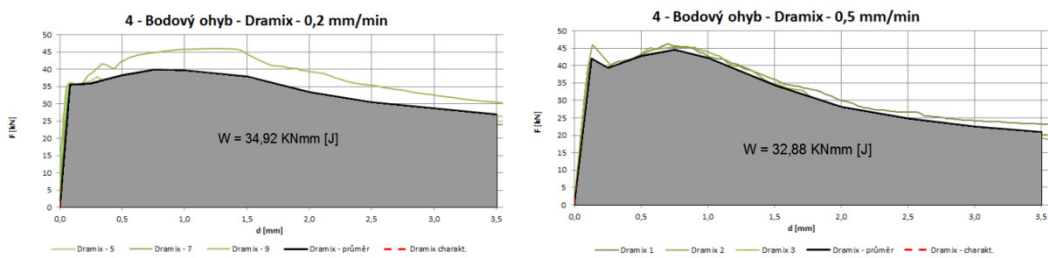




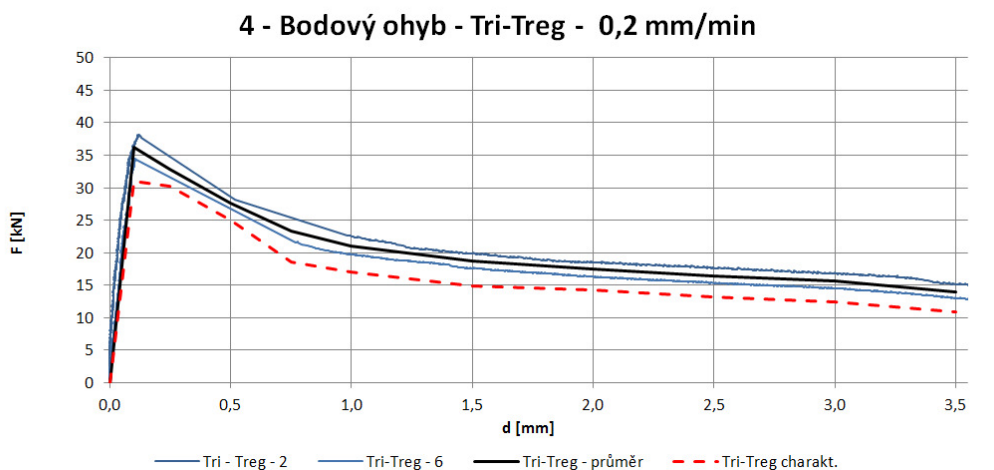
Obrázek 1.: Drátkobeton s drátky Dramix při zatěžování 0,2 mm/min



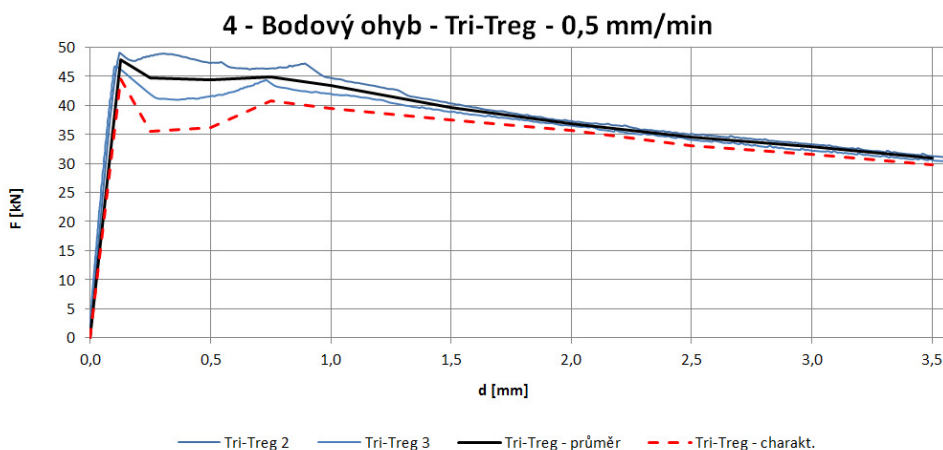
Obrázek 2.: Drátkobeton s drátky Dramix při zatěžování 0,5 mm/min



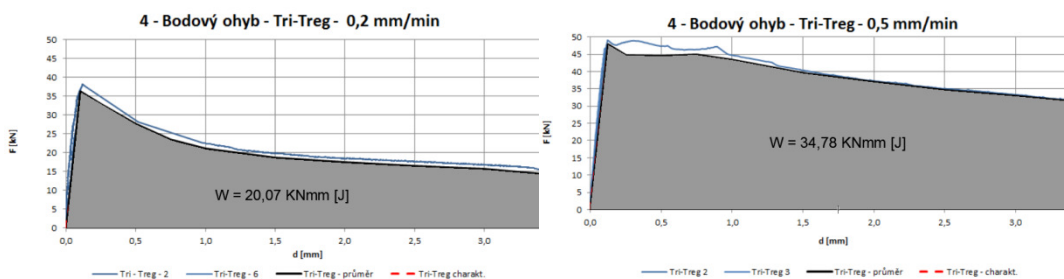
Obrázek 3.: Drátkobeton s drátky Dramix – zobrazení průměrné práce pro dosažení mezního průhybu trávce 3,5 mm



Obrázek 4.: Drátkobeton s drátky Tri-Treg při zatěžování 0,2 mm/min



Obrázek 5.: Drátkobeton s drátky Tri-Treg při zatěžování 0,5 mm/min



Obrázek 6.: Drátkobeton s drátky Tri-Treg – zobrazení průměrné práce pro dosažení mezního průhybu trámce 3,5 mm

## **2. Diskuse k uvedeným výsledkům**

### **2.1. Pevnosti v tlaku**

Rozdíly mezi změřenými pevnostmi v tlaku lze přisoudit většímu rozptylu výsledků zkoušek, který se ukázal u drátků Dramix, kdy při stejné hmotnostní dávce drátků se ve struktuře drátkobetonu nachází dvojnásobný počet drátků oproti struktuře drátkobetonu při užití drátků Tri-Treg. V úvahu je třeba vzít i počet odzkoušených vzorků. V každém případě drátkobeton s drátky Tri-Treg lze zařadit do vyšší pevnostní třídy v tlaku – viz tab. 1.

### **2.1. Pevnosti v tahu**

Zde je posouzení výsledků zkoušek mezi oběma drátkobetonu provedeno podle rychlosti zatěžování při zkouškách ohybem. V každém případě se na těchto výsledcích zkoušek potvrdila pravda, že větší rychlost vede k dosažení vyšších pevností. I zde se v případě ohybových zkoušek projeví struktury zkoušených drátkobetonů obdobně jako při zkouškách tlakových a to pouze v případech zkoušení při rychlosti 0,5 mm/min. V případech tahových pevností získaných při rychlosti zatěžování 0,2 mm/min je tomu naopak. Přisoudit tuto skutečnost lze struktuře drátkobetonu s větším počtem drátků Dramix avšak s poznámkou, že počet 3 vzorků není plně průkazný.

## **3. Závěr**

Uvedené pevnostní třídy testovaných drátkobetonů lišících se pouze typem užitých drátků, ukazují na reálný rozdíl měřených tahových pevností uskutečněných v režimu zatěžování při ohybové zkoušce dvěma rozdílnými rychlostmi 0,2 a 0,5 mm/min.

Poznamenat je třeba i skutečnost, že zkoušky probíhaly v jedné zkušebně a to v Kloknerově ústavu Českého vysokého učení technického v Praze. Příklad zpracování výsledků průkazných zkoušek viz tabulka 1. by měl být návodem k posouzení základních charakteristik navrhovaných drátkobetonů před jejich užitím pro nosné drátkobetonové konstrukce. Pouze z takto navržených charakteristik může vycházet static návrhující drátkobetonové konstrukce.

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

Značení dílčích pevnostních charakteristik drátkobetonu i výsledných pevnostních tříd, které bylo provedeno podle TP-FC 1-1, jakožto dočasných podkladů před vydáním evropských norem by mělo sloužit k diskusi odborné veřejnosti např. jak značit pevnostní třídy drátkobetonu – pouze C, nebo FC, nebo FRC. Diskuse může pokračovat i ke způsobu značení pořadí charakteristických pevností. Doporučené značení pevnostních tříd drátkobetonu podle TP-FC 1-1 plyne přímo z uvedených tabulek.

## **Poděkování**

Příspěvek vznikl za finanční podpory SGS13/040/OHK1/1T/11.

## **Literatura**

[1] TP FC 1-1 Technické podmínky 1: Vláknobeton – Část 1 Zkoušení vláknobetonu – Vyhodnocení destruktivních zkoušek a stanovení charakteristického pracovního diagramu vláknobetonu pro navrhování vláknobetonových konstrukcí. ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra betonových a zděných konstrukcí. Praha. 2007.

## **Kontakt**

Ing. VÁCLAV RÁČEK, tel: 00420 224 354 661, e-mail: vaclav.racek@fsv.cvut.cz, Katedra betonových a zděných konstrukcí, FSv ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha 6.

Doc. Ing. JAN VODIČKA, CSc., tel: 00420 224 354 622, e-mail: jan.vodicka@fsv.cvut.cz, Katedra betonových a zděných konstrukcí, FSv ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha 6.

Doc. Ing. JIŘÍ KRÁTKÝ, CSc., tel: 00420 224 354 627, e-mail: jiri.kratky@fsv.cvut.cz, Katedra betonových a zděných konstrukcí, FSv ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha 6.

## ZKOUŠKY RÁZOVÉ ODOLNOSTI V PADOSTROJI

### IMPACT RESISTANCE OF FIBRE REINFORCED CONCRETE TESTED IN DROP-WEIGHT TEST MACHINE

**Stanislav Řeháček, Petr Huňka, Jiří Kolísko**

Kloknerův ústav, ČVUT v Praze

***Anotace:***

*Vlákny vyztužené kompozitní materiály se stávají významné v mnoha oblastech technického použití. Je zřejmé, že vyztužení betonu vlákny má příznivý vliv na zvýšení odolnosti proti rázovému zatížení. Prezentována je konečná fáze projektu, laboratorní zkoušky rázového namáhání zkušebních těles v padostroji.*

***Annotation:***

*Fibre-reinforced composite materials are becoming important in many areas of technological application. It is clear that reinforced concrete with fibers has a positive impact on increasing the resistance to impact loads. Results of impact load tests carried in drop-weight machine are presented in this paper.*

***Klíčová slova:*** *Zkoušky rázového namáhání, beton, padostroj, vlákna*  
***Keywords:*** *Impact load test, Concrete, Drop-weight test, fibres, Specimen*

## 1. Úvod

Cílem projektu je stanovení nových postupů pro vyhodnocení rázové odolnosti cementovláknových kompozitů. Na základě experimentálních zkoušek byly vybrány vhodné tvary zkušebních těles, způsob podepření a způsob měření [1, 3, 5].

Vhodný tvar zkušebních těles byl vybírán na základě statické zatěžovací zkoušky nevyztužených prvků. Následně byly provedeny zatěžovací zkoušky vzorků vyztužených různým druhem vláknové výztuže. V první fázi projektu byl zvolen kruhový tvar vzorku o průměru 500 mm a výšce vzorku 50 mm. V druhé fázi projektu (prezentováno nyní) byl zvolen doplňující tvar zkušebního vzorku. Obdélník o rozměrech 700x300 mm o výšce 50 mm. Tento tvar vzorku byl zvolen na základě rozměrů upínacího přípravku padostroje.

## 2. Receptury

Označení jednotlivých vzorků A, B, C a D odpovídá recepturám dle tab. 1. Použity byly tyto druhy vláken:

Receptura A – bez vláken, nevyztužený beton

Receptura B - polypropylenová vlákna FORTA FERRO TM 54

Receptura C - syntetická vlákna CHRYSO FIBRE S50

Receptura D - syntetická vlákna CHRYSO FIBRE S-CRETE 500

*Tabulka 1.: Jednotlivé složení receptur.*

Receptura		A	B	C	D
Jednotlivé složky betonu		[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]
Cement CEM I 42,5 R		380	380	380	380
Mikrosilika		15	15,3	15,5	15,5
Kamenivo:	DTK 0 - 4mm	886	894	886	897
	HTK 4 - 8mm	282	275	272	266
	HTK 8 - 16mm	555	551	557	551
Superplastifikátor, Chyso		3,69	3,69	3,69	3,54
Provzdušňovač, Chyso		0,69	0,77	0,69	0,69
Polypropylenová vlákna Forta Ferro TM 54		-	2	-	-
Syntetická vlákna Chyso Fibre S50		-	-	2	-
Syntetická vlákna Chyso Fibre S-CRETE 500		-	-	-	2
Voda		165	157	157	157

### **3. Zkušební vzorky**

Všechny zkušební vzorky byly vyrobeny v dřevěných formách za použití vibračního stolu. Vzorky byly odformovány po 24 hodinách a poté uloženy do vodního uložení, dle ČSN 12390-2 [7] po dobu 28 dní. Následně byly vzorky uchovány na suchém místě až do samotné zkoušky. Před zkouškou byla tělesa zvážena a změřena.

### **4. Zatěžovací zkoušky**

#### **4.1. Zkoušky v padostroji**

Zkoušky v padostroji byly prováděny na tělesech rozměru 700x300x50 mm. Zkušební vzorky byly podepřeny podél kratších stran. Samotný ráz (pád) byl vyvozen pomocí úderníku o hmotnosti 9,5 kg. Hlava použitého kaleného ocelového úderníku měla průměr 35 mm, se zaoblením o průměru 120 mm.

Zkouška spočívala v opakujících se rázech (pádech) úderníku z výšky 100 mm - měřeno od horního líce zkušební vzorku po spodní líc hlavy úderníku. Během zkoušky byl zaznamenáván počet rázů do vzniku první viditelné trhliny a dále pak počet rázů potřebný k celkovému porušení (rozlomení) zkušební vzorku.

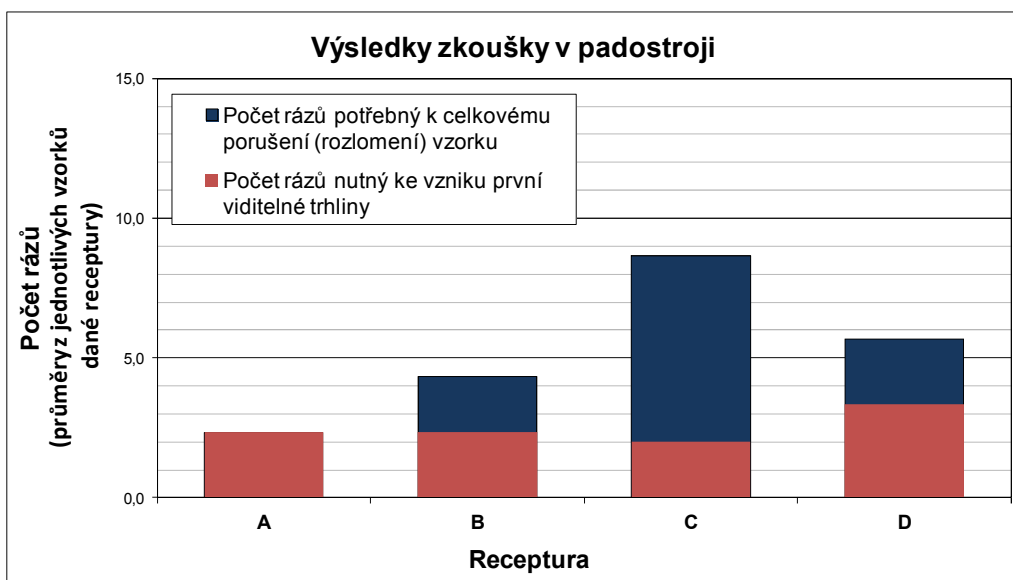
Pro recepturu A (nevyztužený beton) platí, že počet rázů potřebný ke vzniku první trhliny se rovná počtu rázů k celkovému porušení vzorku. Výsledky zkoušky jsou uvedeny v tabulce 2 a na obrázku 1. Celkový pohled na padostroj včetně připraveného vzorku je na obrázku 2.

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

Tabulka 2.: Výsledky zkoušek v padostroji.

Receptura/číslo zkušebního vzorku	Výsledky zkoušek v padostroji	
	Ráz (pád) z 10 cm	
	Počet rázů nutný ke vzniku první viditelné trhliny	Počet rázů potřebný k celkovému porušení (rozlomení)
A/1	2	2
A/2	3	3
A/2	2	2
B/1	2	4
B/2	2	4
B/3	3	5
C/1	2	6
C/2	2	11
C/3	2	9
D/1	4	7
D/2	4	6
D/3	2	4



Obrázek 1.: Výsledky zkoušek v padostroji.





*Obrázek 2.: Pohled na uspořádání zkoušky v padostroji.*

#### **4.2. Dynamické zkoušky**

Předchozí fáze projektu byla zaměřena na dynamické zkoušky realizované ve zkušebním zařízení MTS flextest. Tyto zkoušky nejsou předmětem tohoto příspěvku. Jsou pouze uvažovány v závěrečném zhodnocení. Zkoušky probíhaly při rychlosti zatěžování cca 70 mm/s. Byla zaznamenávána maximální síla a deformace. Kruhové vzorky o průměru 500 mm a tloušťce 50 mm byly podepřeny podél celého obvodu. Zatížení bylo vnášeno pomocí zatěžovací hlavy průměru 100 mm<sup>2</sup>. Celkový pohled na uspořádání zkoušky je na obrázku 3.

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví



Obrázek 3.: Pohled na uspořádání zkoušky v zatěžovacím stroji MTS flextest.

## 5. Závěr

Procentuální nárůst při různém způsobu zatěžování a různých recepturách je uveden v tabulce 3. Jako základ je brána receptura A - nevyztužený beton.

Tabulka 3.: Porovnání jednotlivých receptur a druhu zatěžování

Tvar zkušebního vzorku	Druh zkoušky	Parametr	Receptura			
			A	B	C	D
Kruhové desky	Dynamické zatěžování - stroj MTS flextest	Max. síla [kN]	23,61	26,74	27,33	28,75
		Nárůst [%]	-	13	16	22
		Energie [kJ] nutná k dosažení průhybu 40 mm	0,020	0,146	0,225	0,191
Obdélníkové desky	Dynamické zatěžování - padostroj	Nárůst [%]	-	630	1022	851
		Počet rázů potřebný k celkovému porušení (rozlomení) tělesa	2,3	4,3	8,7	5,7
		Nárůst [%]	-	87	278	148

---

### **Získané výsledky, pokud je možné shrnout do následujících bodů:**

- Pro zkoušky byly vybrány zkušební vzorky ve formě kruhových desek (průměr 500 mm, tloušťka 50 mm) a obdélníkové desky (700x300x50 mm).
- Přidání 2 kg/m<sup>3</sup> rozptýlené vláknové výztuže vede ke zvýšení dynamického únosnosti vzorku. Celkové zvýšení pevnosti se pohybuje v rozmezí 13-22%, ve srovnání s nevyztuženou recepturou A.
- Toto množství výztuže (2 kg/m<sup>3</sup>) umožňuje významný nárůst mezní deformace vzorku při porušení.
- Energie potřebná k dosažení průhybu 40 mm (kruhové desky) byla odvozována ze závislosti působící síly na posunu. Celkový nárůst energie pro vzorky s obsahem rozptýlené výztuže 2 kg/m<sup>3</sup> se pohyboval v rozmezí 630 - 1020%, ve srovnání s nevyztuženou recepturou A.
- Receptura C (syntetická vlákna CHRYSO FIBRE S50) a receptura D (syntetická vlákna CHRYSO FIBRE S-KRÉTA 500) vykazuje větší nárůst energie (nezbytné pro dosažení průhyb 40 mm) než receptura B (Polypropylenová vlákna FORTA FERRO TM 54).
- Dynamická odolnost je také větší pro recepturu C (syntetická vlákna CHRYSO FIBRE S50) a recepturu D (syntetická vlákna CHRYSO FIBRE S-KRÉTA 500), než pro recepturu B (Polypropylenová vlákna FORTA FERRO TM 54).
- Dodatečně provedené zkoušky v padostroji potvrzují celkové rozdíly v jednotlivých recepturách. Naměřené rozdíly mezi nevyztuženou recepturou A a vlákny vyztuženými recepturami B až D jsou relativně podobné již dříve provedeným dynamickým zkouškám v zatěžovacím stroji MTS flextest.

### **Poděkování**

Příspěvek je vypracován za přispění grantu TAČR TA01010791.

### **Literatura**

[1] BENTUR, A., MINDESS, S., BANTHIA, N., 'The behaviour of concrete under impact loading: Experimental procedures and method of analysis', Matériaux et Constructions, Vol. 19, No 113, pp 371 – 378.

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

[2] KOLISKO, J., DUDIKOVA, M., KLECKA, T., 'Bending test fiber reinforced concrete with polypropylene fibers. Effect of the shape of the test beam', In: 6 Conference Special Concrete, Sekurkon Prague, Beroun 2009, pp. 186-193, ISBN 978-80-86604-42-8.

[3] BENTUR, A., MUFTI, A., BANTHIA, N., 'Fibre reinforced concrete, Present and future', Canadian Society for Civil Engineering, October 1998.

[4] BANTHIA, N., MINDESS, S., BENTUR, A., PIGEON, M., 'Impact testing of concrete using a drop-weight impact machine', Experimental Mechanics 29 1 (1989), pp. 63–69.

[5] REHACEK, S., SIMUNEK, I., HUNKA, P., New Procedures for Evaluating Impact Resistance of Fibre reinforced Cementitious Composite. In Proceedings of the 9th International Symposium on High performance Concrete. Auckland: New Zealand Concrete Society, 2011, p. 16. ISBN 978-0-473-19287-7.

[6] REHACEK, S., SIMUNEK, I., HUNKA, P., KOLISKO, J.: Impact Resistance of Fibre Reinforced Cementitious Composites. In The 7th Central European Congress on Concrete Engineering 2011. Lausanne: fib - fédération internationale du béton, 2011, p. 273-276. ISBN 978-963-313-036-0.

[7] ČSN 12390-2, Hardened Concrete - Part 2: Making and curing specimens for strength tests; Czech version, November 2009, Issued by: Czech Office for Standards, Metrology and Testing.

## **Kontakt**

Ing. STANISLAV ŘEHÁČEK, tel: 00420 224 353 521, e-mail: stanislav.rehacek@klok.cvut.cz, Kloknerův ústav, ČVUT v Praze, Šolínova 7, 166 08 Praha.

Ing. PETR HUŇKA, tel: 00420 224 353 521, e-mail: petr.hunka@klok.cvut.cz, Kloknerův ústav, ČVUT v Praze, Šolínova 7, 166 08 Praha.

Doc. Ing. JIŘÍ KOLÍSKO, Ph.D., tel: 00420 224 353 545, e-mail: jiri.kolisko@klok.cvut.cz, Kloknerův ústav, ČVUT v Praze, Šolínova 7, 166 08 Praha.

**POROVNÁNÍ POVRCHOVÉ PROPUSTNOSTI  
CEMENTOVÉ MALTY PRO VODU  
METODOU ISAT A GWT S HLOUBKOU  
PRŮSAKU TLAKOVOU VODOU**

**COMPARISON OF SURFACE PERMEABILITY  
OF CEMENT MORTAR FOR WATER BY ISAT  
AND GWT AND DEPTH OF PENETRATION  
OF WATER UNDER PRESSURE**

**Tomáš Stavař, Tereza Komárková, Dalibor Kocáb**

VUT v Brně, Fakulta stavební,  
Ústav stavebního zkušebnictví

***Anotace:***

*Je zde popsán experiment závislosti propustnosti povrchové vrstvy cementové malty pro vodu na vodním součiniteli. U malt s vodním součinitelem 0,35, 0,50 a 0,65 byly stanoveny povrchové propustnosti pro vodu metodou ISAT (Initial Surface Absorption Test) a metodou GWT (Germanns Water Permeability Test). Dále byla na stejných vzorcích zjištěna hloubka průsaku tlakovou vodou. Následně byly výsledky provedených zkoušek porovnány, výsledky jsou sumarizovány v grafické a tabelární podobě.*

***Annotation:***

*The article describes an experiment depending permeability of the surface layer of cement mortar for water in the water-cement ratio. The mortars with water ratio 0.35, 0.50 and 0.65 were determined surface water permeability method ISAT method and GWT. Further, the same samples determined penetration depth of the water pressure.*

*Subsequently, the results of the tests compared, the results are summarized in graphical and tabular form.*

**Klíčová slova:** *Cementová malta, povrchová propustnost pro vodu, ISAT, GWT, hloubka průsaku tlakovou vodou, vodní součinitel*

**Keywords:** *Cement mortar, surface permeability for water, ISAT, GWT, depth of penetration of water pressure*

## 1. Úvod

Trvanlivost betonu bývá ovlivněna mnoha faktory, jako je např. působení slunečního záření, změna teploty, zmrazování, působení agresivních a atmosférických plynů apod. Další ovlivňující faktory mohou být např. použití nevhodného materiálu, nesprávné složení čerstvého betonu, nedostatečné krytí výztuže, špatné ošetřování betonu, nedokonalé zhutnění, atd. Všechny výše jmenované faktory mohou ovlivnit stav povrchové vrstvy betonu, která tvoří jakousi „vstupní bránu“ pro různé škodlivé látky [1]. Důležitou roli hraje obsah volné vody v pórech. Pohyb plynů, kapalin a iontů vede k postupnému narušování struktury betonu a k jeho chátrání. Jedná se především o difuzi, absorpci a pronikání škodlivin [2].

Pórová struktura betonu je závislá na jeho složení, především na vodním součiniteli. Je všeobecně známo, že nižší vodní součinitel vede k menšímu množství kapilárních pórů, a tím uděluje betonu nižší propustnost pro plyny i kapaliny [5].

V článku jsou uvedeny výsledky stanovení propustnosti povrchové vrstvy betonu pro vodu metodami ISAT a GWT a porovnání s normovou zkouškou hloubky průsaku tlakovou vodou, to vše v závislosti na vodním součiniteli.

## 2. Stanovení propustnosti povrchové vrstvy betonu pro vodu metodou ISAT a GWT

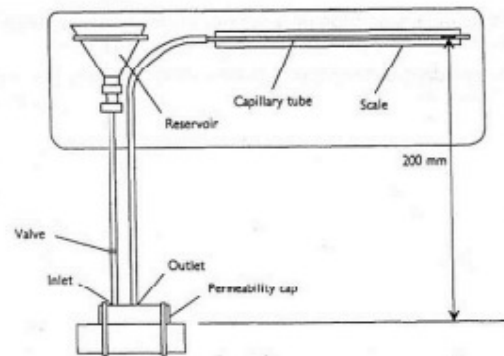
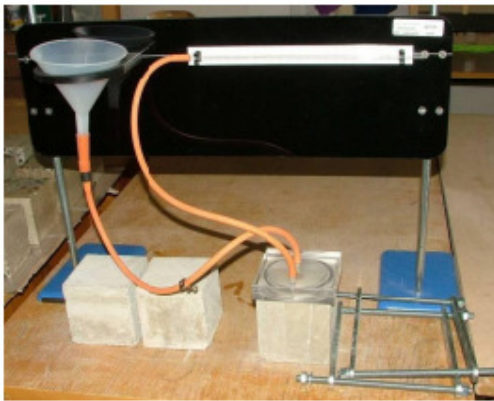
### 2.1. Metoda ISAT (Initial Absorption Test)

Metoda byla vyvinuta v Itálii pro měření stavu povrchové struktury betonu a je specifikována britskou normou BS 1881 část 5 [8]. Zařízení ISAT, které je předmětem Obr. 1, se používá pro určení propustnosti pro

vodu měřením výhradně na zkušebních tělesech. Zacházení s přístrojem vyžaduje preciznost, vlastní měření může být časově poměrně náročné. Smí se použít výhradně na vodorovné ploše a před měřením je nutné stanovit aktuální vlhkost měřeného povrchu.

Principem zkoušky je stanovit, jaký objem vody (měřeno díky kalibrované skleněné kapiláře) je konstantním přetlakem vodního sloupce o výšce 200 mm pohlcen povrchovou vrstvou betonu o známé ploše.

Dle posunu (úbytku) hodnoty na kapiláře po 5 sekundách se stanoví intervaly indikace hladiny vody v kapiláře na 30, 60 nebo 120 sekund. Na jednom vzorku se provádí tři následné cykly měření, a to po 10, 30 a 60 minutách od zavodnění systému.



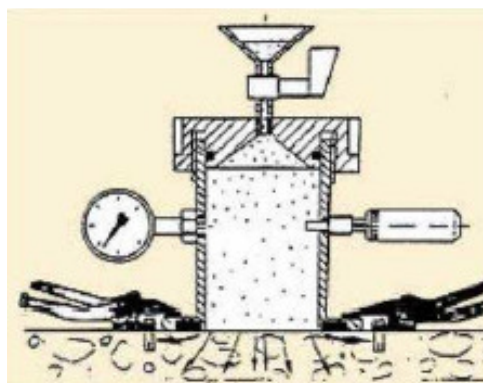
Obrázek 1.: Měřící zařízení, metoda ISAT [3]

## 2.2. Metoda GWT (Germanns Water Permeability Test)

Přístroj GWT (viz Obr. 2) je určen k měření propustnosti pro vodu, pórovitosti povrchové vrstvy a počáteční rychlosti absorpce pod působícím tlakem vody 0,2 baru, který je konstantní. Měří se množství vody, které je nasáknuto povrchovou vrstvou betonu během měření. Zkouška může být provedena jak na svislém tak i na vodorovném povrchu konstrukce [4]. Stanovená hodnota součinitele vnitřní propustnosti povrchové vrstvy je v odborné literatuře a řadě evropských standardů považována za jedno ze základních kritérií pro posouzení trvanlivosti betonu [5].

Při měření se postupuje tak, že se přístroj pomocí svorek připevní na zkoušený povrch přes pryžové těsnění opatřené silikonem, z důvodu těsnosti systému. Poté se do nálevky, která ústí do tlakové komory nalije

destilovaná voda. V okamžiku, kdy voda dosáhne horního povrchu komory, je nalévání ukončeno a uzavře se napouštěcí ventil. Voda se tak dostala až k materiálu a bez jakéhokoli tlaku se nechá 5 minut absorbovat povrchem tělesa. Následně se vyvodí tlak v komoře 0,2 baru pomocí středního otočného kruhu a spustí se stopky. Otáčením mikrometrického šroubu se v komoře zajistí stálá hodnota tlaku. Každých 30-60 sekund se odečte naměřena hodnota z mikrometrického šroubu. Jakmile dosáhne hodnoty 0,0 mm, zaznamená se čas a měření se ukončí [9]. Více informací o těchto metodách viz např. [3].



Obrázek 2.: Měřicí zařízení, metoda GWT [4]

### 3. Hloubka průsaku tlakovou vodou

Principem zkoušky je působení tlakové vody na povrch ztvrdlého betonu a následné zjištění maximální hloubky průsaku. Zkušební těleso musí být při zahájení zkoušky staré minimálně 28 dní a musí být ve stavu nasyceném. Po dobu  $(72 \pm 2)$  hodin se nechá na plochu, která nebyla při výrobě tělesa upravována hladítkem, působit vodní tlak o velikosti  $(500 \pm 50)$  kPa. Po zkoušce se zkušební těleso rozlomí v polovině, kolmo k povrchu, na který působil vodní tlak a zaznamená se největší hloubka průsaku [7].

### 4. Příprava zkušebních těles a metodika zkoušení

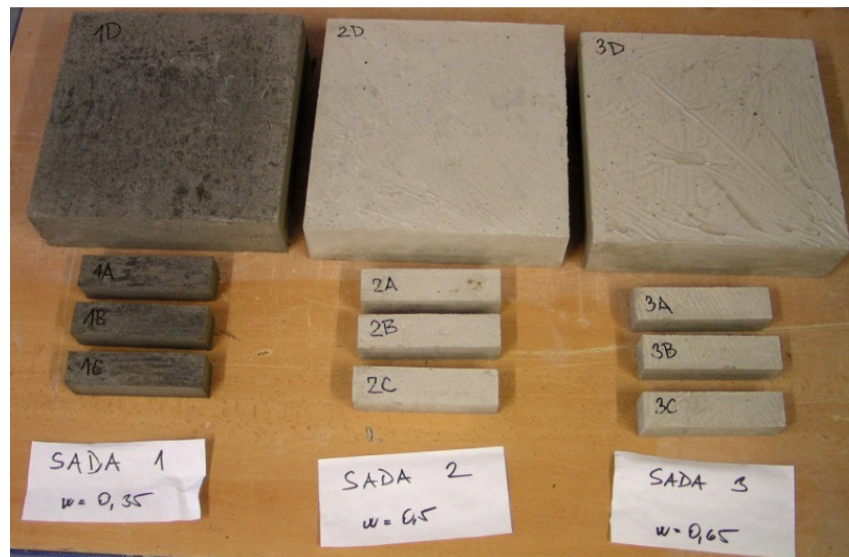
Pro zkoušky uvedené v předchozí kapitole byly vyrobeny 3 sady zkušebních těles, které jsou zachyceny na Obr. 3. Jednotlivé sady se lišily vodním součinitelem. Vzorky první sady byly vyrobeny z cementové malty



o vodním součiniteli 0,35, druhé sady z malty o vodním součiniteli 0,5 a třetí sada měla poměr vody k cementu 0,65. Sada 2, která měla normový vodní součinitel, byla považována za referenční.

Každá sada obsahovala 3 normové trámečky nominálních rozměrů 40×40×160 mm a 1 zkušební dlaždici o nominálních rozměrech 300×300×80 mm. Trámečky sloužily k určení pevnostních charakteristik cementové malty a ke zjištění distribuce pórů metodou rtuťové porozimetrie, více viz článek [5]. Dlaždice, označené číslem sady a písmenem D, byly určeny ke zkouškám popisovaným v tomto příspěvku a dále ke zjištění odolnosti cementové malty proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek a zkouškám soudržnosti, více viz článek [6].

Složení cementové malty je uvedeno v Tabulce 1.



Obrázek 3.: Zkušební tělesa po vyjmutí z forem

Tabulka 1.: Složení cementové malty v hmotnostních dílcích

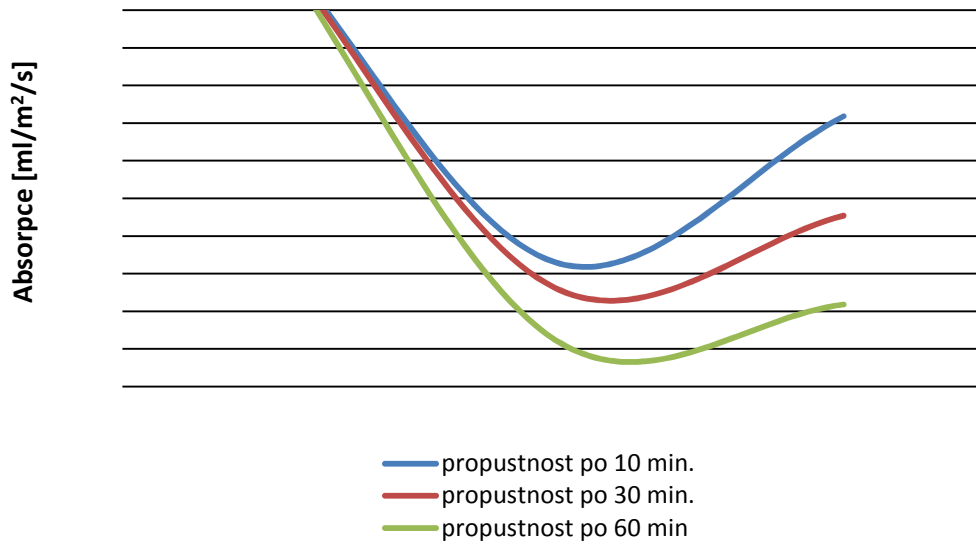
Označení sady zkušebních	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
CEM I 32,5 R Mokrý	1	1	1
Zkušební písek frakce I, II, II v poměru 1:1:1	3	3	3
Vodní součinitel w/c	0,35	0,5	0,65

## 5. Výsledky měření a jejich diskuze

Stanovení propustnosti povrchové vrstvy malty pro vodu bylo stanoveno výše popsanými metodami na všech třech dlaždicích, přičemž na každé z nich byla provedena dvě měření. Výsledky jsou uvedeny v Tab. 2 a 3, graficky jsou znázorněny na Obr. 4 a 5. Po ukončení zkoušek propustnosti povrchové vrstvy byly dlaždice kotoučovým řezáním rozděleny na 4 stejná tělesa o velikosti 150×150×80 mm. Z každé sady byla pro zjištění hloubky průsaku tlakovou vodou vybrána dvojice těchto vzorků. Výsledky jsou zaznamenány v Tab. 4, vzorky po rozlomení a zaznamenání obrysu tlakové vody jsou předmětem Obr. 6.

Tabulka 2.: Výsledky propustnosti pro vodu metodou ISAT

Ozn. betonu	Hmotnostní propustnost po 10 min od začátku testu	Průměr propustnosti po 10 min. [ml/m <sup>2</sup> /s]	Hmotnostní propustnost po 30 min od začátku testu	Průměr propustnosti po 30 min. [ml/m <sup>2</sup> /s]	Hmotnostní propustnost po 60 min od začátku testu	Průměr propustnosti po 60 min. [ml/m <sup>2</sup> /s]
<b>1D</b>	1,7 -	<b>nelze měřit</b>	- -	<b>nelze měřit</b>	- -	<b>nelze měřit</b>
<b>2D</b>	3,8 0,168 0,162	<b>0,165</b>	0,128 0,134	<b>0,131</b>	0,058 0,065	<b>0,062</b>
<b>3D</b>	3,7 0,377 0,340	<b>0,359</b>	0,239 0,215	<b>0,227</b>	0,101 0,117	<b>0,109</b>



Obrázek 4.: Vliv vodního součinitele na povrchovou propustnost betonu pro vodu určenou pomocí metody ISAT

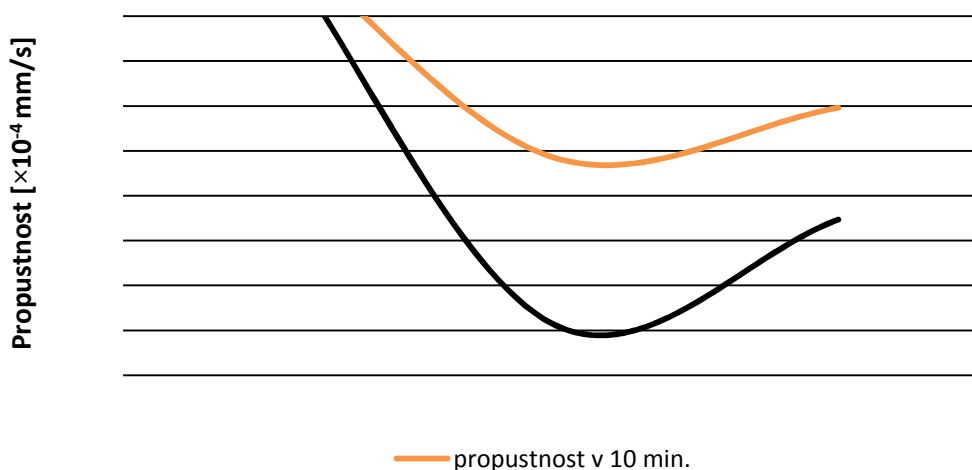
Vzhledem ke značně odlišné distribuci pórů cementové malty s vodním součinitelem 0,35 oproti maltám druhé a třetí sady, přesněji vysoký objem větších pórů o velikosti od 70 do 10  $\mu\text{m}$  [5], nebylo možné ani jedno z měření u této malty vyhodnotit. Příčinou byla extrémně vysoká rychlost průtoku vody vzorkem.

Tabulka 3.: Výsledky propustnosti pro vodu metodou GWT

Ozn. betonu	Aktuální hmotnostní vlhkost (w) [%]	Propustnost v 10 min. měření [mm/s]	Průměrná propustnost v 10 min. měření [mm/s]	Propustnost po ukončení měření [mm/s]	Průměrná propustnost po ukončení měření [mm/s]
<b>1D</b>	-	-	<b>nelze měřit</b>	-	<b>nelze měřit</b>
		-		-	
<b>2D</b>	5,7	5,071	<b>4,861</b>	1,238	<b>1,148</b>
		4,651		1,058	
<b>3D</b>	5,7	5,893	<b>5,985</b>	3,611	<b>3,467</b>
		6,023		3,323	

1. – 2. října 2013

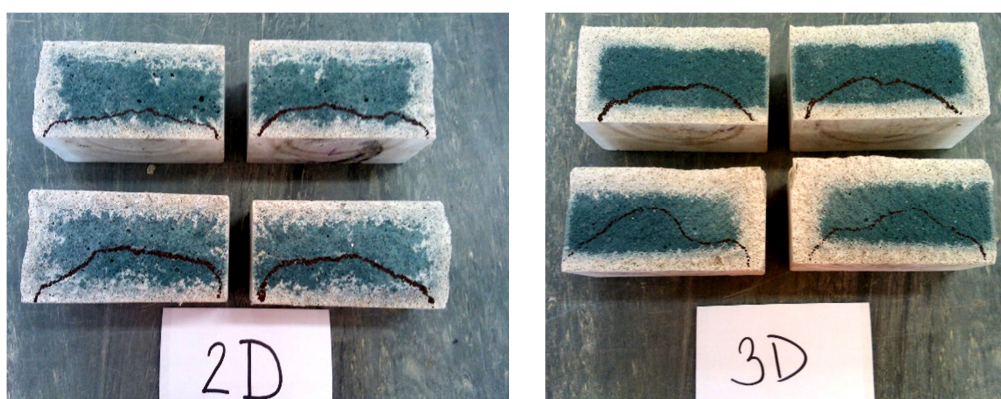
VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví



Obrázek 5.: Vliv vodního součinitele na povrchovou propustnost betonu pro vodu určenou pomocí metody GWT

Tabulka 4.: Výsledky stanovení hloubky průsaku tlakovou vodou

Označení vzorku	Max. hloubka průsaku [mm]	Průsak do boku
2D-a	28	132
2D-b	40	133
3D-a	48	128
3D-b	34	119



Obrázek 6.: Označení hranice průsaku tlakové vody (vzorky sady 1 nebylo možné změřit)

## 6. Závěr

Propustnost pro vodu nebylo možné změřit na zkušebním tělese cementové malty s vodním součinitelem 0,35. Velmi vysoká rychlost průtoku vody vzorkem byla způsobena jinou distribucí pórů, než měly vzorky 2D a 3D. Odlišná struktura se odvíjela od konzistence čerstvé směsi, jejíž zhutnění bylo vzhledem k malému množství vody značně obtížné, což způsobilo následné vytvoření hutné struktury cementové malty. Tato skutečnost se projevila příliš velkou propustností povrchové vrstvy malty pro vodu.

U malt s vyšším vodním součinitelem nebyl problém povrchovou propustnost pro vodu změřit. Lepší hodnoty dle očekávání vykazovala referenční cementová malta s vodním součinitelem 0,5 (vzorek 2D). Výsledky obou použitých metod pro stanovení propustnosti, ISAT i GWT, korespondovaly s naměřenou hloubkou průsaku tlakovou vodou. Větší propustnost (a tedy nižší kvalita) cementové malty s vodním součinitelem 0,65 oproti referenční maltě s normovým vodním součinitelem je dána vyšším objemem pórů [5].

## Poděkování

Příspěvek vznikl za finanční podpory projektu GAČR 13-18870S: "Hodnocení a predikce trvanlivosti povrchové vrstvy betonu".

## Literatura

- [1] MATOUŠEK, M.; DROCHYTKA, R.: Atmosférická koroze betonu. Praha, IKAS+ČKAIT, s. 14-16, 1998.
- [2] STEHLÍK, M.: Accelerated carbonation depth test in an atmosphere of 98% CO<sub>2</sub>. *Engineering Structures and Technologies*. 2011. 3(2). p. 51 - 55. ISSN 2029-2317.
- [3] KUCHARCZYKOVÁ, B.; MISÁK, P.; VYMAZAL, T.: Determination and Evaluation of the Air Permeability Coefficient using Torrent Permeability Tester. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, Vol. 46, No. 3, 2010, p. 226 - 233. ISSN 1061-8309.
- [4] MAGALHAES GOMES, A.: Permeability of Concrete: A Study Intended for the "in situ" Valuation Using Portable Instruments and

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

Traditional Techniques [online], c2003, [cit. 18. května 2010], Dostupné na World Wide Web: <http://www.ndt.net>

[5] VYMAZAL, T.; BAYER, P.; ROVNANÍKOVÁ, P.: Effect of water/cement ratio on permeability of surface layer of cement mortar for water and air

[6] GROHOVÁ, T.; KOCÁB, D.; STAVAR, T.: Vliv vodního součinitele na kvalitu povrchové vrstvy cementové malty

[7] ČSN EN 12390-8 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 8: Hloubka průsaku tlakovou vodou, ÚNMZ, 2009.

[8] BS 1881 : Part 5, Methods of testing hardened concrete for other than strength, BSI, 1970.

[9] KOVALČIKOVÁ, H. *Vliv změn v pórové struktuře betonu na aktuální trvanlivost ŽB a předpjatých konstrukcí*. Brno, 2012. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební.

## Kontakt

Ing. TOMÁŠ STAVAR, e-mail: [stavar.t@fce.vutbr.cz](mailto:stavar.t@fce.vutbr.cz), Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. TEREZA KOMÁRKOVÁ, tel: 00420 541 147 830, e-mail: [grohova.t@fce.vutbr.cz](mailto:grohova.t@fce.vutbr.cz), Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. DALIBOR KOCÁB, tel: 00420 541 147 811, e-mail: [kocab.d@fce.vutbr.cz](mailto:kocab.d@fce.vutbr.cz), Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

## MOŽNOSTI HODNOCENÍ POHLTIVOSTI PROTIHLUKOVÝCH PANELŮ

## THE POSSIBILITY OF EVALUATION OF ACOUSTIC ABSORPTION PANELS

Vítězslav Vacek<sup>1</sup>, Jan Holub<sup>2</sup>

1) ČVUT v Praze – Kloknerův ústav,  
2) ČVUT v Praze - FEL

**Anotace:**

*Příspěvek se zabývá jednou z možností měření zvukové pohltivosti panelů. Popsaný postup je realizován na malých deskách, ve snaze získat na menších vzorcích výsledky srovnatelné s hodnocením velkých panelů, využitelné při jejich vývoji.*

**Annotation:**

*The paper deals with one possible measurement of sound absorption panels. The described procedure is carried out on small plates, in order to get to the smaller sample results comparable to that of large panels, available in their development.*

**Klíčová slova:** protihlukový panel, modifikovaný beton, zvuková pohltivost, měření na vzorku

**Keywords:** acoustic panel, modified concrete, sound absorption, measurements on the sample

## 1. Úvod

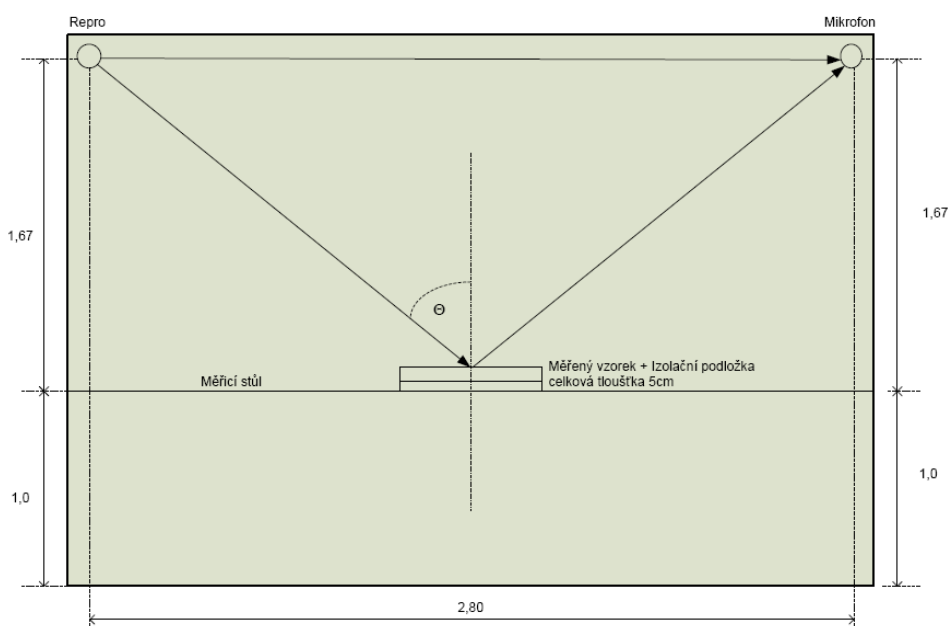
V souvislosti s vývojem betonových protihlukových panelů je třeba mnoho jejich tvarů a skladeb vyšetřovat mj. také z hlediska akustické pohltivosti. Obvykle používané měření je založeno na změně doby dozvuku v akustické komoře a vyžaduje použití poměrně velkého vzorku. Druhým extrémem je použití tzv. Kundtovy trubice, kde je zase naopak hodnocen jen velmi malý vzorek. Tato zkouška se jeví jako nenáročná, ale má řadu úskalí např. v přesné úpravě vzorků nebo vyhodnocení výsledků v případě heterogenního charakteru zkoušeného materiálu apod.

Následující příspěvek se zabývá možnostmi využití porovnávacího laboratorního měření reflexivity, které také umožňuje určité porovnávání vlastností různých materiálů na nepříliš velkém deskovém vzorku.

## 2. Principy měření

Měřicí postup je založen na rozdílné délce dráhy přímé a odražené vlny mezi zdrojem a snímačem. Při konstantní rychlosti zvuku za daných podmínek je možné rozdíl v délce dráhy zaznamenat zpoždění mezi vysláním a příjmem přímého a odraženého zvukového signálu.

Základní uspořádání měření prováděného v bezdozvukové komoře ukazuje následující schéma:



Obrázek 1.: Schéma uspořádání měření



### 3. Zkušební vzorky a jejich měření

Pro porovnání byly vyrobeny zkušební desky o rozměru 0,6 x 0,6 x 0,04 m. Použit byl obyčejný beton s kamenivem z různých lokalit a beton s částečnou náhradou kameniva pryžovým recyklátem.

Zkušební desky byly spolu se sadou kontrolních těles pro zkoušení mechanických parametrů vyrobeny v laboratoři, druhý den odformovány a vloženy do vody, kde byly ošetřovány po prvních sedm dní. Následně byly z vody vyjmuty a další zrání probíhalo v normálních laboratorních podmínkách volně na vzduchu.

Samotné měření reflexe bylo provedeno ve stáří 28 dní. Pro zjištění vlivu účinku úpravy povrchu vzorků bylo měření prováděno z obou stran desek – lící (označeno L) a rubové (označeno R).

### 4. Vstupní a zjištěné parametry

Při uspořádání dle schématu na *Obrázku 1* vstupovaly do měření následující parametry:

- |  |          |
|--|----------|
| ▪ Délka přímé trasy                                      | 2,8m     |
| ▪ Délka reflexní trasy                                   | 4,28m    |
| ▪ Zpoždění reflexního signálu ( $v_{20}=340\text{m/s}$ ) | 4,35 ms  |
| ▪ Zpoždění parazitní reflexe I. (podlaha)                | 9,50 ms  |
| ▪ Zpoždění parazitní reflexe II. (protější stěna)        | 11,20 ms |

Užitečný signál pro hodnocení byl tudíž použit v rozmezí 4,35-8,35 ms od detekce přímé vlny. Parazitní reflexe od blízkých i vzdálených stěn a podlahy bylo vzhledem k použitému časovému oknu možno zanedbat. Vzhledem k referenční trase byl určen útlum vzdáleností od zdroje na 3,69dB.

Naměřené hodnoty amplitud přímého a odraženého signálu v dB jsou uvedeny v *Tabulce.1*, na následující straně. Jako referenční hodnota 0dB byla použita hodnota odpovídající maximální hodnotě nahrávacího systému (Audigy 24 bit, 96kSa/s).

*Tabulka 1.: Naměřené hodnoty amplitud přímého a odraženého signálu [dB]*

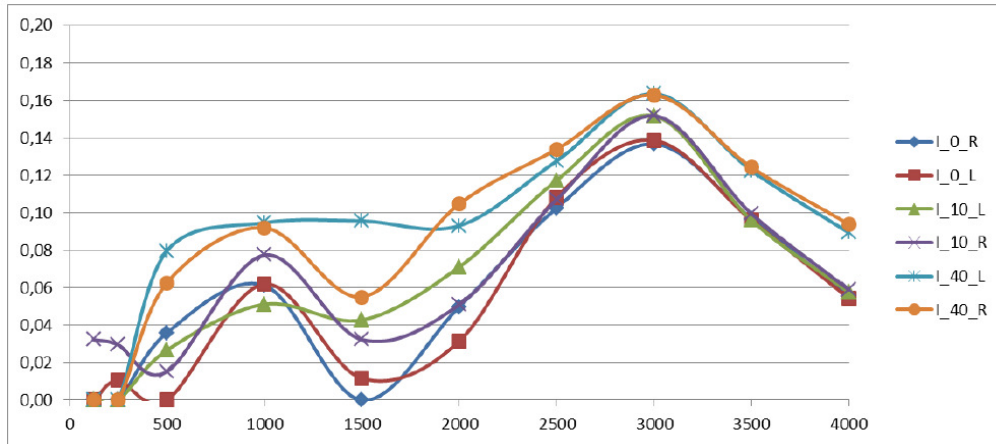
Hz	125	250	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
I_0_L	-26,4	-26,6	-26,8	-26,0	-22,6	-22,0	-23,3	-24,9	-29,6	-30,8
	-28,6	-30,4	-30,4	-30,1	-26,4	-25,9	-27,6	-29,4	-33,9	-34,8
I_0_R	-27,0	-27,1	-27,2	-26,2	-22,6	-22,9	-23,2	-25,0	-29,7	-31,6
	-30,4	-30,1	-31,1	-30,3	-26,3	-26,9	-27,5	-29,5	-34,0	-35,6
I_10_L	-27,3	-26,9	-27,2	-26,4	-22,0	-21,9	-23,1	-24,5	-29,4	-31,5
	-30,8	-30,2	-31,0	-30,4	-25,9	-26,0	-27,5	-29,1	-33,7	-35,5
I_10_R	-27,1	-26,8	-26,8	-26,2	-22,6	-23,0	-23,2	-25,0	-29,5	-30,8
	-31,0	-30,7	-30,6	-30,4	-26,5	-27,0	-27,5	-29,6	-33,8	-34,8
I_40_L	-26,8	-26,4	-26,9	-26,0	-22,6	-22,0	-23,3	-24,8	-29,8	-30,9
	-29,9	-30,0	-31,1	-30,3	-26,9	-26,3	-27,8	-29,5	-34,2	-35,1
I_40_R	-26,9	-27,2	-27,4	-26,3	-22,6	-22,1	-23,2	-24,9	-29,3	-31,7
	-29,4	-30,4	-31,5	-30,5	-26,6	-26,4	-27,7	-29,6	-33,8	-36,0
II_0_L	-27,1	-27,3	-27,0	-26,3	-22,6	-23,3	-23,2	-24,9	-29,5	-31,0
	-30,9	-30,3	-30,7	-30,4	-26,2	-27,2	-27,5	-29,5	-33,8	-35,0
II_0_R	-27,1	-27,0	-27,2	-26,1	-22,0	-22,4	-23,4	-25,0	-30,0	-32,1
	-30,4	-29,9	-30,7	-29,9	-25,6	-26,3	-27,7	-29,6	-34,3	-36,1
II_10_L	-26,8	-27,0	-27,1	-26,0	-22,0	-23,1	-23,2	-24,9	-29,1	-31,4
	-29,1	-30,5	-30,5	-29,8	-26,1	-27,2	-27,5	-29,4	-33,4	-35,5
II_10_R	-27,1	-27,2	-27,3	-26,0	-22,1	-22,5	-23,2	-25,1	-29,8	-31,6
	-30,3	-30,3	-31,1	-30,1	-25,9	-26,6	-27,6	-29,6	-34,1	-35,7
II_40_L	-26,8	-27,1	-26,9	-25,9	-22,0	-22,3	-23,3	-25,3	-29,7	-31,2
	-31,0	-30,9	-30,9	-30,3	-26,1	-26,5	-27,8	-30,0	-34,1	-35,5
II_40_R	-26,9	-27,1	-26,8	-26,3	-22,7	-22,5	-23,3	-25,4	-30,0	-32,3
	-30,2	-30,8	-30,9	-30,5	-26,9	-26,8	-27,8	-30,2	-34,4	-36,6
II_50_L	-27,2	-27,1	-27,3	-26,0	-22,6	-22,5	-23,3	-25,2	-29,6	-31,7
	-30,8	-29,9	-31,0	-30,5	-26,6	-26,8	-27,9	-30,0	-34,2	-36,1
II_50_R	-27,1	-27,1	-27,0	-26,0	-22,0	-22,2	-23,1	-25,1	-29,6	-31,6
	-30,6	-31,1	-31,0	-30,3	-26,2	-26,5	-27,7	-29,8	-34,1	-36,0

## 5. Výstupy zkoušek

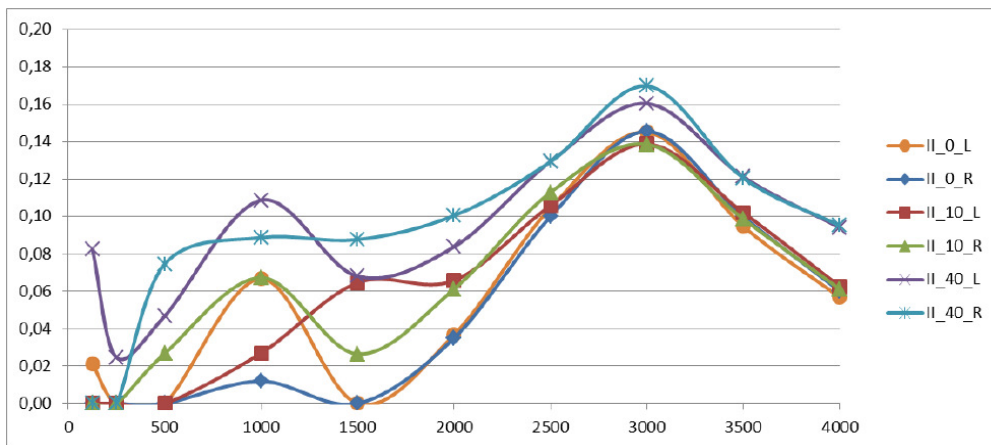
Na základě zjištěných parametrů byla pro dané frekvence spočtena po korekci rozdílných drah přímé a odražené vlny odrazivost v úhlu  $40,8^\circ$ , normálová impedance, normálová odrazivost a nakonec i normálová pohltivost materiálu.

Jako pohltivost materiálu je v tomto případě vyjádřena veškerá energie, která nebyla odražena na stranu zdroje.

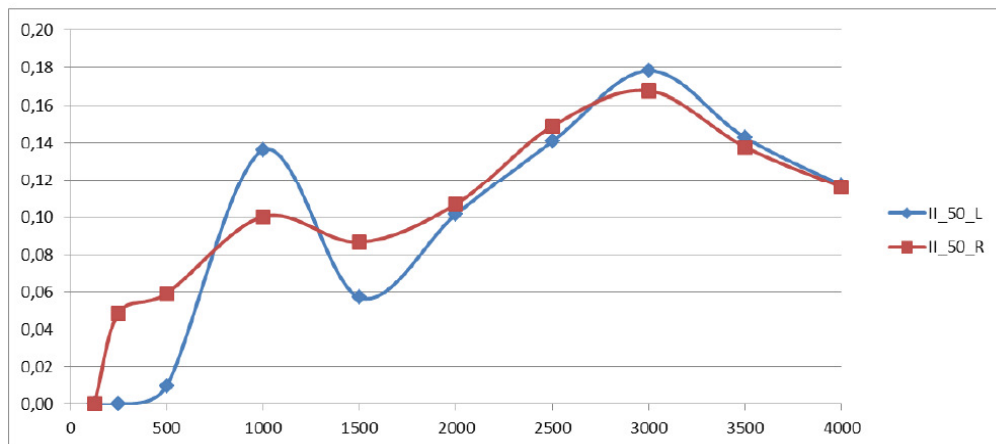
Příklady vypočtené pohltivosti měřených sérií materiálů znázorňuje grafy na obr. 2-4. Naměřené hodnoty jsou znázorněny značkami, proložená křivka mezi nimi má pouze ilustrativní charakter. Platná data jsou vždy od 500Hz výše.



Obrázek 2.: Příklady vypočtené pohltivosti materiálu desek první série



Obrázek 3.: Příklady vypočtené pohltivosti materiálu desek druhé série



Obrázek 4.: Příklady vypočtené pohltivosti materiálu desek třetí série

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

## **6. Závěr**

Provedená měření ukázala, že vzhledem k velikosti vzorku jsou získaná data relevantní pro frekvence vyšší než cca 500 Hz. Závislost na drsnosti povrchu – mezi měřeními na líci a rubu vzorků je relativně malá, rovněž vliv původu použitého kameniva se ukázal jako nevýznamný.

Zjištěné výsledky ukazují, že s vyšším obsahem pryžového recyklátu roste pohltivost zkušebních betonových desek, výrazněji především u nižších frekvencí.

## **Poděkování**

Autoři děkují grantové agentuře TAČR, tento článek vzniknul za podpory grantového projektu TA02010751.

## **Literatura**

[1] Holub, J.: Zpráva o měření akustických parametrů betonových desek s příměsí gumy, K13138 měření, FEL ČVUT v Praze, leden 2013.

## **Kontakt**

Ing. VÍTĚZSLAV VACEK, CSc., tel: 00420 224 353 848, e-mail: vitezslav.vacek@klok.cvut.cz, ČVUT v Praze, Kloknerův ústav, Šolínova 1903/7, 166 08 Praha 6

Doc. Ing. JAN HOLUB, Ph.D., tel: 00420 224 352 131, e-mail: holubjan@fel.cvut.cz, FEL ČVUT Praha, Technická 2, 166 27 Praha 6.

**BLOK II.  
ZKOUŠENÍ DALŠÍCH STAVEBNÍCH  
HMOT, DÍLCŮ A KONSTRUKCÍ**

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

## ÚNAVOVÉ POŠKOZENÍ VE SKLO – EPOXIDOVÝCH KOMPOZITECH

### FATIGUE DAMAGE IN GLASS/EPOXY COMPOSITES

**Petr Brož, Martin Šolc**

Katedra mechaniky ZČU v Plzni

***Anotace:***

*Odezva křížem vrstvených laminátů namáhaných opakovanými rázy nízkých rychlostí závisí při postupu poškození na počtu rázů. Růst parametru poškození i delaminace se projevují redukcí ohybové tuhosti materiálu a vznikem rázových kráterů. V experimentální metodice úlohy se uplatňují únavová rázová zkouška a měření poškození.*

***Annotation:***

*When progressing damage, the response of cross ply laminates under repeated impacts depends on impact number. The relations for damage evolution are derived. The growth of damage parameter and delamination becomes evident by both reducing bending stiffness of material and developing impact craters. In experimental methodology, the fatigue impact test even damage measurements are applied.*

***Klíčová slova:*** kontrola mikroskopem, kumulovaná energie, přírůstek porušení, svazek vláken, vznik trhlin ve tkanině, zbytková tuhost

***Keywords:*** SEM examination, impact fatigue, residual stiffness, failure rate, fibre bundle, cumulated energy, ply cracking

## 1. Úvod

Kompozitní materiály jsou velmi citlivé na poškození způsobené rázy. Tyto módy poškození, jako např. delaminace, mohou vážně ovlivnit inženýrské vlastnosti kompozitu. Některé studie se zabývaly poškozením indukovaným rázem [1]. Čím více informací máme o vyhodnocení rázů, tím více jsme si jisti mezní účinností materiálu. Komplexní módy poškození rázem nejsou však dosud plně vyjasněné, zvláště jev delaminace. Dále např. Cantwell et al [2] vyšetřovali zbytkovou únavovou pevnost uhlíko – epoxidového kompozitu zatíženého rázy a Lhymm [3] určil počet rázů do kolapsu pro kompozit se skelnými vlákny a spolu s tím uveřejnil analýzu životnosti. Další autoři se snažili odvodit korelaci mezi materiálovým poškozením a vývojem mechanických vlastností. To se však zatím mnohdy nepodařilo a definice poškození zůstává v těch případech libovolná. Lemaitre a Chaboche zvolili k charakterizaci poškození parametr degradace a Zhu a Cescotto proponovali model poškození pro anizotropní materiál. Pro vyjádření násobného rázu na kompozity je obvyklé prověřovat progresi poškození [4] a v některých pracích byla vytvořena 3D MKP dynamická analýza pro posouzení delaminace přechodových oblastí. Pro vyztužené kompozity zatížené rázem byla Johnsonem a Holzapfelem úspěšně aplikována mechanika poškození kontinua za účelem predikce jak poškození tkaniny, tak delaminačního kolapsu.

Podle [5] a [6] tato práce uvádí únavové poškození rázem, a to sklo – epoxidových laminátových kompozitů. Přitom je opakovaným rázem působícím na kompozitní materiál redukována jeho celková tuhost; kumulace poškození se projevuje vznikem a šířením trhlin v matrici, delaminací a roztržením vláken.

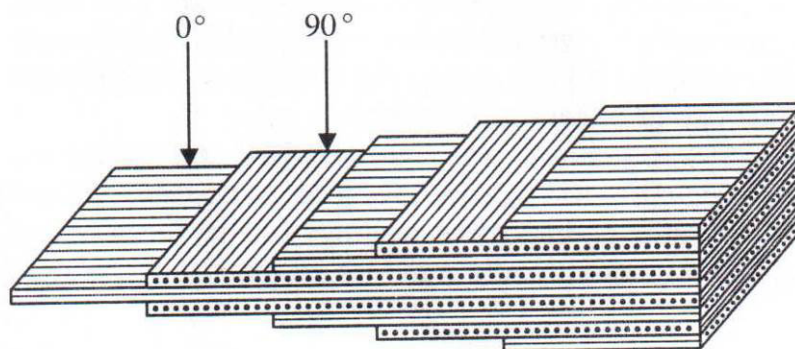
Model pro charakterizaci poškození je přitom proponován jako charakteristická funkce normalizovaného počtu rázů. Skalární proměnná  $D$  je vyjádřena jako funkce životnosti podle empirického zákona. Makroskopický mód kolapsu a vnitřní poškození v laminátových vzorcích jako důsledek únavy rázem jsou analyzovány na různých úrovních incidentní rázové energie, a to na základě dat z únavových experimentů.



## 2. Experimentální aspekty

### 2.1. Materiál a vzorky

V [5] byla použita epoxidová pryskyřice R 368 - E vyztužená skelnými vlákny, tj. tvrzená skelná tkanina, již impregnovaná – bylo aplikováno tlakové lisování. Vzorek tvoří desky dlouhé 280 mm a 180 mm široké, 5.4 mm tlusté (obr. 1).



Obrázek 1.: Sklo – epoxidový křížem vrstvený laminát  
[0/90/0/90/0/90/0/90/0]; [6]

Každý panel je složen z osmi vrstev plátnových vazeb. Tkaniny jsou sestaveny do křížové konfigurace a každá lamina se skládá z vláken ve směru naplně a kolmé k tomu v tzv. deformovaném směru. Vzorky tak prezentují symetrii vztahenou k průměrnému půdorysu. Podobnou alternativou jsou desky SKLOTEXTIT G 10, vyráběné v Litovli z upravené skelné tkaniny jako výztuže a epoxirezolové živice jako pojiva – použité zejména jako vrstvené elektroizolanty.

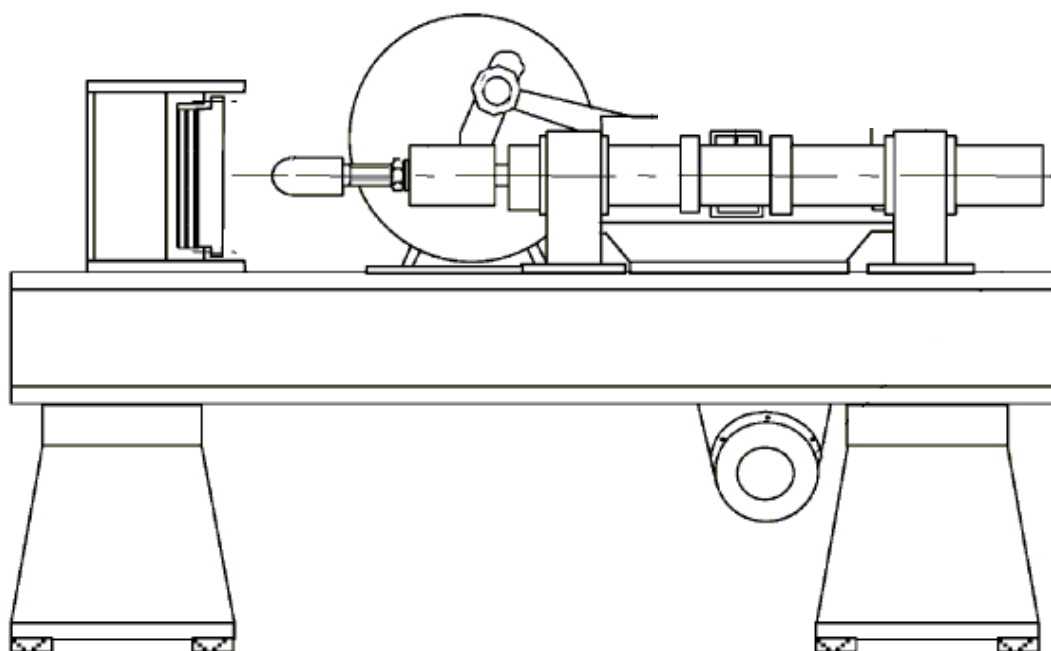
### 2.2. Aparatura pro rázovou únavu

Její podstatou je klikový – tyčový mechanismus k provedení cyklických rázů. Mechanismus transformuje spojitý rotační pohyb na střídavý přenos, to je řízeno asynchronním motorem, tak je možné modifikovat jak rázovou energii (až do 10 Hz), tak rychlost projektilu. Operační princip sestává z vidlice, řízené zmíněným mechanismem (možno regulovat poloměr) – výsledkem je vržení projektilu během každého cyklu. Projektil s polokruhovou hlavou naráží na desku kompozitu, je

řízen v posunu dvěma ložisky (opěrami). Na koncové drážce projektilu je umístěn hydraulický pohlcovač „šoku“, jenž zpomaluje návrat projektilu a zabraňuje přitlačnému prstenci v rázu na ložisko. To umožňuje synchronizovaný pohyb mezi projektilem a vidlicí, a tak je zajištěn regulární postupný ráz stejné amplitudy. Pohlcovač je samokompenzační typ s různými kapacitami absorpce energie, podle zpětné rychlosti projektilu.

Na zadním povrchu vzorku jsou instalovány snímače deformace, na opačné straně, než je bod dotyku rázu. Vzorky, vystavené rázu projektilu, jsou uloženy na dvou stranách. Rázové únavové zkoušky jsou v pravidelných časových intervalech přerušeny, aby se ověřily změny v tuhosti vzorků prostřednictvím ohybových zkoušek (na konvenčních strojích Instron).

Poškození vznikající v materiálu redukuje tuhost desek a tak degraduje jejich mechanické vlastnosti. Ze závislosti zatížení – posunutí v bodě rázu je parametr poškození vypočten z poměru zatížení ku posunutí – z toho je poškození indikováno úrovní tuhosti.



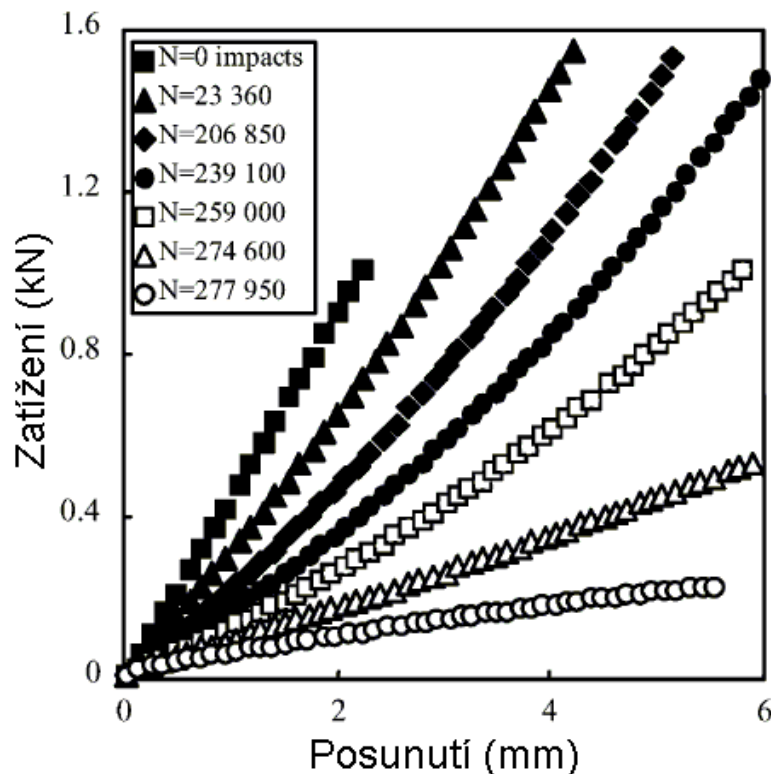
Obrázek 2.: Aparatura rázové únavy; [5]

### 3. Výsledky únavových zkoušek rázem

Kolaps vrstev se vyskytne dříve, když rychlost rázu je vysoká. Na příklad počet rázů při roztržení je  $N_r = 278$  pro rychlost 1.1 m/s (energii při dopadu 3 J), kdežto počet rázů je  $N_r = 107$  pro rychlost  $v = 1.5$  m/s (energii dopadu 6 J).

Zkoušky únavového rázu se dějí při konstantních jednak rázové frekvenci, jednak rázovém zatížení. S výjimkou prvního rázu, který generuje špičku deformace nízké amplitudy, jiné špičky odpovídají podobným amplitudám deformace. To indikuje, že únavové zkoušky se provádí za stejného zatížení rázem a dále při stejné rázové energii.

Obrázek 3. ukazuje pro vyšetřovanou tkaninu průběhy zatížení – posunutí v odlišných sklonech reprezentujících nevratné poškození materiálu. Únava rázem redukuje značně ohybovou tuhost kompozitních desek.



Obrázek 3.: Závislost  $P = f(d)$  pro různé úrovně poškození

### 3.1. Rozvoj poškození

Materiálové poškození je charakterizováno skalární proměnnou  $D$  podle definice

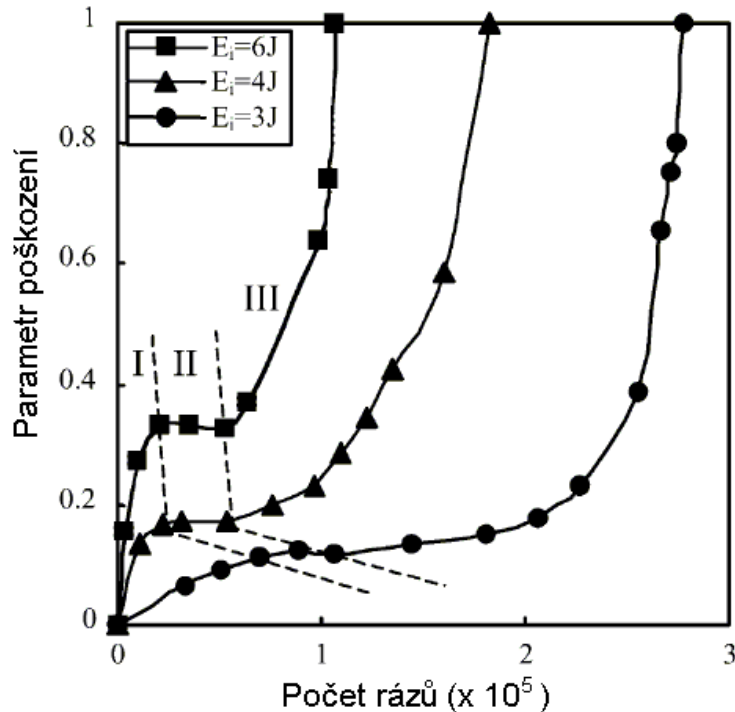
$$D = \frac{R_0 - R_i}{R_0 - R_f} \quad (1)$$

kde  $R_0$  je počáteční ohybová tuhost nepoškozeného materiálu,  $R_f$  konečná tuhost v ohybu a  $R_i = P_i/d_i$  tuhost v ohybu poškozeného materiálu v čase  $t = t_i$ ,  $P$  zatížení v čase  $t = t_i$  a  $d_i$  posunutí v  $t = t_i$ . Konečná ohybová tuhost koresponduje poslední měřené tuhosti těsně před úplným kolapsem vzorku. Je-li selhání vzorku v čase blízko, okamžiky rázového zatížení se stávají kratší a kratší (až dosahují 5 s za zkoušku) a desková tuhost je měřená po každé periodě zatížení. Opakujeme operaci s kratšími periodami zatížení až do úplného selhání vzorku. Poslední měření tuhosti před kolapsem je považováno za konečnou tuhost vzorku. Křivky zatížení  $x$  posunutí jsou vyneseny v reálném čase během každé statické ohybové zkoušky. Sklony těchto křivek a několik zjevných poškození vyjadřují přesně stav degradace vzorku. To umožňuje určit trvání následujícího testu rázové únavy. Křivky rozvoje poškození oproti počtu rázů příslušných tvrzené tkanině indikují tři zóny různých energetických úrovní: iniciaci a násobení delaminací (I), saturaci delaminace (II) a vytvoření trhlin v tkanině doprovázené lomy vláken (III).

I. V této zóně se delaminace objevuje v prvních cyklech při „šokovém“ zatížení, nejdříve na rozhraní poslední vrstvy a co nejdále od bodu rázu a potom se tvoří nové povrchy delaminace na jiných rozhraních, tedy současně růst povrchu delaminace a rozvoj nových povrchů.

II. Po jistém času rázu únavou za stejné energie bude delaminace saturována – přitom šíření a rozvoj nových delaminací se zastaví. Tato část křivky poškození má horizontální průběh.

III. V této zóně pozorujeme, že poškození se zrychlí až do konečného kolapsu. Dokud energie rázu nevzrůstá, degradace materiálu neakceleruje. Rázová energie, jež je k dispozici ve dvou prvních fázích, není schopná buď šířit delaminaci nebo vyztužení porušit lomem. Je tedy nutný růst energie rázu až do hodnoty dostačující ke zlomení vláken. Přídavná energie byla experimentálně určena až na hodnotu 150% energie počáteční. Podle obrázku 4. se tak fáze saturace vyskytne dříve a posunuje se v zobrazení nahoru.



Obrázek 4.: Křivky poškození tvrzené skelné tkaniny

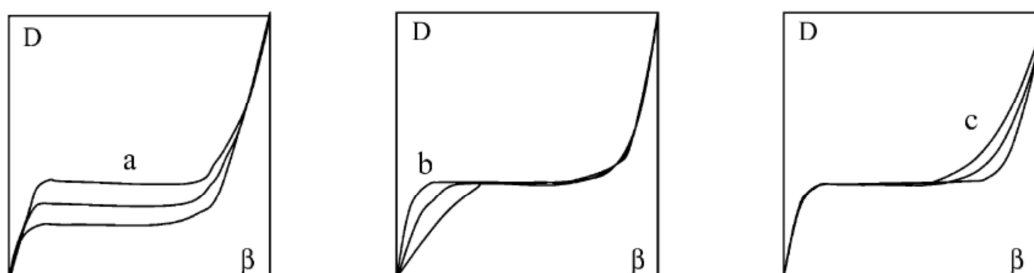
### 3.2. Model Mankowského

„S“ tvar křivek pro různé energie rázu dovoluje simulovat poškození užitím matematického modelu, a to modifikací jmenovatele funkce, abychom našli hodnotu  $D=1$ , odpovídající životnosti  $\beta = 1$ . V Mankowského vztahu se parametr poškození  $D$  blíží nekonečnu

$$D = a \frac{\beta^b}{(a+1) - \beta^c} \quad (2)$$

kde  $\beta$  je životnost;  $N/N_r$ ,  $N_r$  označuje ráz při roztržení;  $a$ ,  $b$ ,  $c$  jsou experimentální konstanty závislé na vlastnostech materiálu a rázové energii. Tyto parametry jsou řídicí pro úroveň druhé zóny křivky poškození, sklon první části a počáteční bod třetí části (obr. 5.). Parametr  $c$  závisí jednak na tom, kdy je aplikováno vyšší zatížení a dále na úrovni tohoto zatížení. Ke standardizaci výsledků je žádoucí dodržet dodatečné zatížení jako 150 % počáteční energie rázu. Naopak zachováme, aby se rázové únavové zkoušky zastavily na 2 hodiny pro všechny zkoušené desky. Konstanty  $a$ ,  $b$ ,  $c$  se řeší prostřednictvím funkce „solver“ Excel 97. Dále se zobrazují parametry  $a = f(E_i)$ ,  $b = (E_i)$ ,  $c = (E_i)$ , kde  $E_i$  je rázová

energie. Tak můžeme separovat, který materiál je relevantní jak jinému, tak vzhledem k charakteristikám rázu. V souhrnu může být predikován rozvoj poškození pro danou úroveň energie.



Obrázek 5.: Účinek změn  $a$ ,  $b$ ,  $c$  na křivky  $D = f(\beta)$

### 3.3. Evoluce parametru poškození s počtem rázů

Rozdělení přírůstku porušení během únavové životnosti znázorňujeme křivkou  $dD/d\beta$

jako funkci životnosti  $\beta$ , podle obecného „zákonu“ v oboru spolehlivosti strojních konstrukcí, založeného na důležitých veličinách počátečního a konečného poškození:

$$\frac{dD}{d\beta} = \frac{ab(a+1)\beta^{b-1} + a(c-b)\beta^{b+c-1}}{(a+1-\beta^c)^2} \quad (3)$$

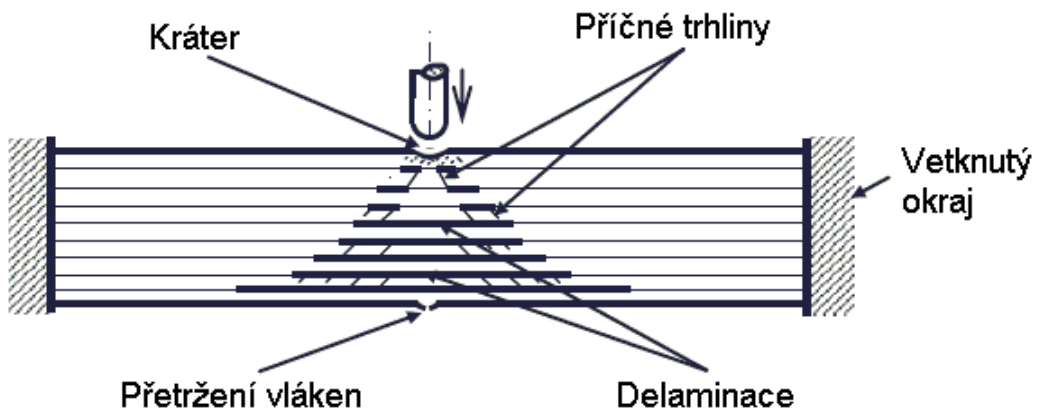
Na počátku životnosti kompozitní desky vystavené únavě rázem je přírůstek porušení dosti veliký, a potom klesá poměrně rychle, když kompozitní konstrukce úspěšně projde „nebezpečím své mladosti“. Přírůstek se potom stabilizuje a dále roste, když počet rázů dosahuje hodnoty blízké počtu rázů do kolapsu.

### 3.4. Poškození vyvolané rázem

Napříč tloušťkou vzorku lze rozlišit tři hlavní poškození: příčné trhliny v matici, delaminaci, nalomená vlákna plus kráter tvaru kulové skořepiny. Pro rázy nízké rychlosti se poškození objevuje uvnitř na spodní přechodové linii a šíří se směrem k povrchu rázu. Velká delaminační poškození se vyskytují na zadní straně vzorku a postupně se zmenšují směrem k rázovému líci.

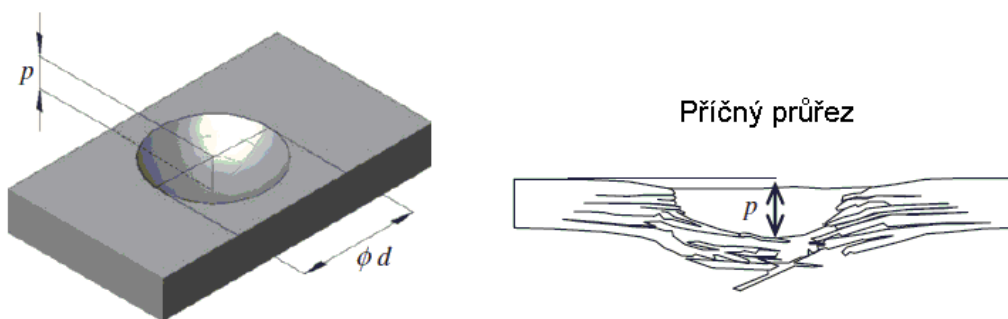
### 3.5. Poškození na rázovém povrchu

Na líci rázu se plastická deformace vyskytuje jako půlkulový vrub – viz obrázek 6. Kráter tvoří drcené vnitřní vrstvy pod dopadem rázu. Tento proces pokračuje s rostoucím počtem rázů, než se vyskytne úplná penetrace vzorku. V této zóně jsou svazky zlomených vláken a vnitřní vrchní vrstvy jsou úplně destruovány opakovanými rázy. Lom vláken vzniká z mikrovyboulení vrchní vrstvy způsobeným tlakovými silami v rovině, a to z vlivu ohybu desky a příčných tlakových sil indukovaných buchem.



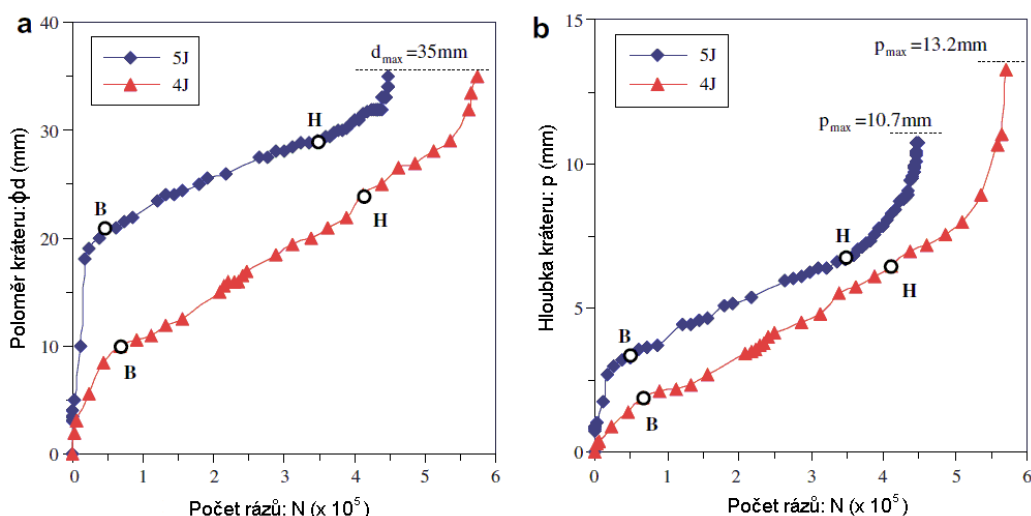
Obrázek 6.: Polokulový kráter, delaminace, zlomení svazku vláken a trhliny v matrici

Podle obrázku 6. rozlišujeme přítomnost alespoň dvou hlavních typů poškození, které mohou být jasně identifikovány, a to navíc ke kráteru; trhlin v matrici a delaminací kruhového tvaru. Trhliny v matrici jsou podélné a vnitrolaminární (uvnitř první vrstvy) kolem povrchu rázu a delaminace se vyskytují na přechodech blízkých povrchu rázu. Vliv počtu rázů na rozměry kráteru ukazují obrázek 7. a 8. (průměr  $d$  a hloubka  $p$ ).



Obrázek 7.: rozměry polokulového kráteru

Rozměry kráteru rostou lineárně s počtem rázů po rychlém počátečním vzrůstu, znázorněném bodem B. Rozměry kráteru v bodě B rostou s energií rázu. Pokles přírůstku rozměru kráteru za bodem B může být vyjádřen skutečností, že nižší energie je absorbována kráterem a většina energie je spotřebována roztržením vlákna, rovněž tak delaminací.



Obrázek 8.: Vývin rozměrů kráteru (a) průměr, (b) hloubka, se zřetelem na počet rázů

Zvětšení přírůstku rozměrů kráteru za bodem H ukazuje, že vrstvy laminátu se úplně porušily násobnými rázy a rázová energie je potom prakticky úplně k dispozici pro růst kráteru. Významnější rozvoj průměru kráteru se vyskytne, když energie rázu je větší. Když však desky úplně kolabují, vyskytne se hluboký kráter při nižší energii rázu. Rozvoj poměru hloubky k průměru versus kumulativní energie v normalizovaném tvaru ukazuje dvě fáze. V první je průměr kráteru rychleji rostoucí než jeho



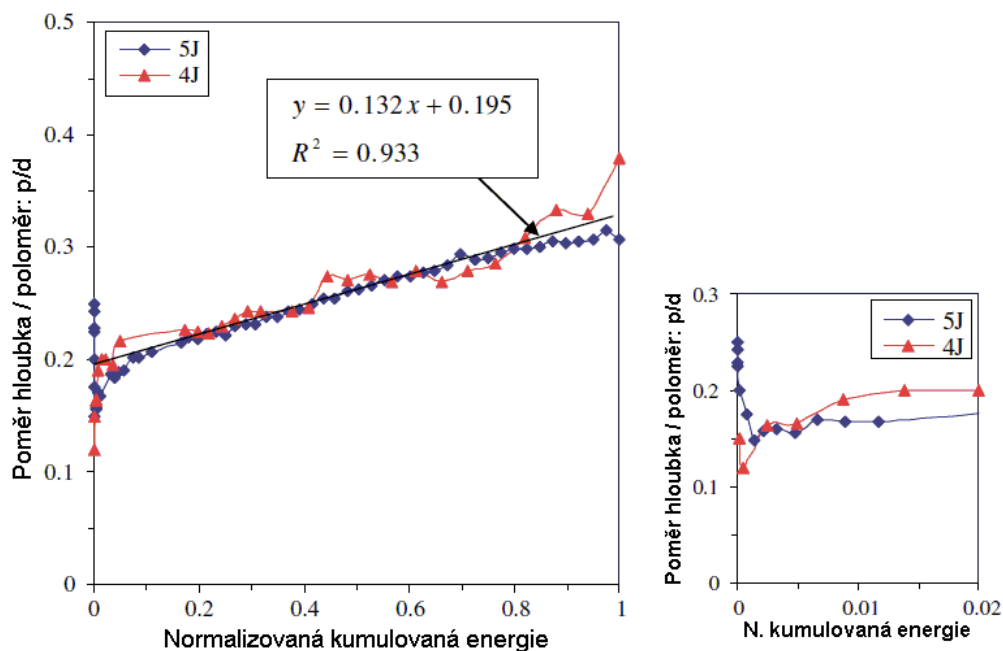
hloubka. Ve druhé zóně je trend obrácený, hloubka roste rychleji než průměr. To může být vysvětleno rostoucím poškozením v první kolabující vrstvě povrchu následující zlomením vrstev, což podporuje růst hloubky. Z obrázku 9. vyplývá vztah

$$\frac{p}{d} = \eta = m \cdot E_{icn} + n \quad (4)$$

kde  $p$  je hloubka kráteru,  $d$  jeho průměr,  $E_{icn}$  normalizovaná kumulativní energie,  $m$  liniový sklon ( $m = 0.132$ ) a  $n$  ... průsečík s osou souřadnic.

$$E_{icn} = \frac{E_{ic}}{E_{fc}} \quad (5)$$

kde  $E_{ic}$  je kumulovaná energie rázu příslušná počtu rázů  $N_i$  a  $E_{fc}$  je energie kumulovaná při kolapsu a příslušná  $N_f$  (číslo rázu při kolapsu).



Obrázek 9.: Evoluce poměru hloubky k průměru, se zřetelem k normalizované kumulované energii

Nakonec z rozměrů kráteru dostáváme vztah (6) pro odhad trvání rázové únavové životnosti.

$$\beta = \frac{N_i}{N_f} = \frac{2,2(\eta - n) + 0,3m}{2,5m} \quad (6)$$

kde  $\eta = p/d$  a  $(m,n)$  jsou experimentální konstanty.

### 3.6. Vnitřní poškození (pozorováno mikroskopem)

Poškození v laminátových kompozitech se rozděluje do dvou širších kategorií: *vnitrolaminární* a *mezivrstvé*. Vnitrolaminární poškození je charakterizováno dvěma formami trhlin, jedna je paralelní ke směru vláken a druhá je normální k první. Formace vnitrolaminárních trhlin souvisí s nízkou pevností matrice, roli však hraje i množství jiných faktorů. Vazby přechodu mezi vláknem a matricí, mezery v matrici, neúplná vazba mezi vláknem a matricí a koncentrace napětí indukovaná vlákny také přispívají k růstu tohoto poškození. Mezivrstvé poškození je charakterizováno uvolněním vazby individuálních vrstev tkanin v úhlovém vrstveném laminátu. Mikrotrhliny mezi vrstvami různých orientací jsou ovlivněny výraznými normálovými nebo příčnými smykovými napětími, rezultujícími z ohybového zatížení, geometrických nespojitostí a vnitřních trhlin v matricích.

## 4. Závěr

První ze tří stádií poškození se týká iniciace a násobnosti delaminací. Druhá fáze ukazuje jev, kdy je delaminace saturována a v posledním stádiu poškození lze pozorovat jeho akumulaci, již odpovídá kolaps vláken a objevení se trhlin v poslední vrstvě. Lomové povrchy ukazují, že delaminace vzniká v několika rovinách napříč tloušťkou vzorku.

Než nastane v desce kolaps, vyskytne se několik stupňů poškození. První rázy indukují mikrotrhliny v pryskyřici, s dále rostoucími nespojitostmi. Zmíněné nízké úrovně rázu vytvářejí neznatelné vnější poškození, produkující však vnitřní delaminace dosti velké k tomu, aby způsobily ztrátu pevnosti laminátu. Pokud delaminuje, stává se tak laminát neprůhledný, přitom lze sledovat s počtem rázů růst delaminovaného povrchu. Při působení dalších rázů se vytvoří kulový kráter v rázovém povrchu, jehož průměr roste, a také rostoucí trhliny se objevují v poslední vrstvě tkaniny.

## Poděkování

Příspěvek byl vypracován v rámci řešení projektu *SGS-2013-036*: Modelování heterogenních materiálů a složitých mechanických struktur v oblasti strojírenství a stavitelství podporovaného ZČU v Plzni.

## Literatura

- [1] ABRATE, S.: Impact on laminated composites materials. Appl Mech Rev 1999; 44: 155 - 90
- [2] CANTWELL, WJ; CURTIS, PT; MORTON, J. Impact and subsequent fatigue damage of carbon fibre laminates. Int J Fatigue 1984; 6 (2): 226 - 38
- [3] LHYMN, C. Impact fatigue of PPS/glass composites – theoretical analysis. J Mater Sci Lett 1985; 4: 1221 - 4
- [4] CHAKRABORTY, D. Determination of laminated fiber reinforced plastic composites under multiple cylindrical impact. Mater Des 2007; 28: 1142 - 53
- [5] AZOUAOUI, K.; RECHAK, S; AZARI, Z; BENMEDAKHENE, S; LAKSIMI, A; PLUVINAGE, G. Modelling of damage and failure of glass/epoxy composite plates subject to impact fatigue. Int J Fatigue 2001; 23: 877 - 85
- [6] AZOUAOUI, K.; AZARI, Z.; PLUVINAGE, G. Evaluation of impact fatigue damage in glass/epoxy composite laminate. Int J Fatigue 2010; 32: 443 - 452

## Kontakt

Doc. Ing. PETR BROŽ, DrSc., tel.: 00420 377 632 322, e-mail: broz.petr@tiscali.cz, katedra mechaniky, FAV ZČU v Plzni, Univerzitní 22, 306 14 Plzeň.

Ing. MARTIN ŠOLC, tel.: 00420 377 632 322, e-mail: solc@kme.zcu.cz, katedra mechaniky, FAV ZČU v Plzni, Univerzitní 22, 306 14 Plzeň.

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

## **DYNAMICKÉ A STATICKÉ MODULY PRUŽNOSTI BETONU**

### **STATIC AND DYNAMIC ELASTIC MODULUS OF CONCRETE**

**Cikrle Petr, Kocáb Dalibor**

VUT v Brně, Fakulta stavební,  
Ústav stavebního zkušebnictví

***Anotace:***

*U betonu zabudovaného v konstrukci je obtížné stanovit hodnotu statického modulu pružnosti. Jednou z možností je měření modulu dynamického a následný přepoččet na modul statický. Příspěvek se zabývá vzájemnými poměry mezi statickým a dynamickým modulem včetně praktických příkladů stanovení zmenšovacího součinitele.*

***Annotation:***

*The concrete built in the structure is difficult to determine the static modulus of elasticity. One possibility is to measure the dynamic modulus of elasticity and subsequent conversion to static modulus of elasticity. This paper deals with mutual relationships between static and dynamic modulus of elasticity including practical examples of the determination of reduction factor.*

***Klíčová slova:*** *Beton, dynamický a statický modul pružnosti, ultrazvuková metoda, rezonanční metoda*

***Keywords:*** *Concrete, dynamic and static modulus of elasticity, ultrasonic method, resonance method*

## 1. Úvod

Stále častěji je při výstavbě železobetonových konstrukcí a mostů předepisována požadovaná hodnota statického modulu pružnosti v tlaku betonu. Vyhodnocení zkoušek modulu pružnosti je však obtížné, neboť na rozdíl od pevnosti betonu v tlaku po modul pružnosti v podstatě neexistují v současných českých normách kritéria pro posouzení shody. Většina požadavků na modul pružnosti se opírá o **směrné průměrné** hodnoty modulů pružnosti z Eurokódu 2 (nikoliv charakteristické!), které platí pro běžné silikátové kamenivo. Pokud by se na vyhodnocení charakteristické hodnoty modulu pružnosti uplatnila podobná kritéria pro pevnost betonu v tlaku, pak by musel být kromě průměrné hodnoty zohledněn ještě variační součinitel (rovnoměrnost betonu) a při zkouškách in situ s kalibrací na vývrtech by muselo být uplatněno kritérium z ČSN EN 13791, které pro charakteristickou hodnotu pevnosti in situ požaduje splnění pouze 85 % charakteristické hodnoty na normových tělesech – a to by mělo být uplatněno i pro modul pružnosti. Modul pružnosti betonu je dále ovlivněn řadou činitelů, např. složením, zejména druhem hrubého kameniva [1], ošetřováním [3], provzdušněním [4] apod. Hodnoty statického modulu pružnosti se obvykle zjišťují na předem vyrobených zkušebních tělesech ve tvaru hranolu nebo válce. Řada prací se zabývala porovnáním hodnot modulů na takto rozdílných tělesech – viz např. [5]. Pokud je beton již zabudován do konstrukce, je třeba provést odběr zkušebních těles jádrovým vrtáním a modul stanovit na vývrtech [6], což však představuje značný zásah do konstrukce, který není vždy žádoucí nebo dokonce možný. Při tom existuje poměrně jednoduché řešení – stanovení dynamického modulu pružnosti betonu z ultrazvukového měření in situ a následný přepočítání na modul statický [2]. Cílem příspěvku je na příkladech ukázat, jaký existuje vzájemný poměr mezi dynamickým a statickým modulem pružnosti a čím je ovlivněn.

## 2. Stanovení statického modulu pružnosti betonu přepočtem z modulu dynamického

### 2.1. Metodiky pro stanovení modulu pružnosti

Pro stanovení dynamických modulů pružnosti jsou využívány metody ultrazvuková a rezonanční, popsané v ČSN 73 1371, ČSN EN 12504-4

a ČSN 73 1372. Hodnotu dynamického modulu pružnosti v tlaku a tahu  $E_{dyn,U}$  v  $N/mm^2$  vypočteme z naměřené rychlosti šíření UZ impulsů jako:

$$E_{dyn,U} = D \cdot v_L^2 \cdot \frac{1}{k^2} \cdot 10^{-6} \quad (1)$$

kde  $D$  je objemová hmotnost materiálu, v  $kg/m^3$ ;  
 $v_L$  je rychlost šíření ultrazvukového impulsu, v  $m/s$ ;  
 $k$  je koeficient rozměrnosti prostředí, bez rozměru.

Dynamický modul pružnosti z rezonančních frekvencí v  $N/mm^2$  můžeme stanovit dvěma způsoby; podélného jako  $E_{dyn,FL}$  a příčného jako  $E_{dyn,FF}$ .

$$\text{Z podélného kmitání} \quad E_{dyn,FL} = 4 \cdot L^2 \cdot f_L^2 \cdot D \quad (2)$$

$$\text{Z příčného kmitání} \quad E_{dyn,FF} = 0,0789 \cdot c \cdot L^4 \cdot f_f^2 \cdot D \cdot i^{-2} \quad (3)$$

kde  $f_L, f_f$  je vlastní frekvence podélného a příčného kmitání v  $kHz$ ;  
 $L$  je délka vzorku v  $m$ ;  
 $D$  je objemová hmotnost betonu, v  $kg/m^3$ ;  
 $i$  je poloměr setrvačnosti průřezu;  
 $c$  je hodnota závislá na poměru  $i/L$  a na Poissonově koef.  $\mu_{br}$ .

Statický modul pružnosti v tlaku se podle ČSN ISO 6784 zjišťuje z deformací, které nastávají při známém zatížení:

$$E_c = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{\sigma_a - \sigma_b}{\Delta\varepsilon} \quad (4)$$

kde  $\sigma_a$  je horní zatěžovací napětí v  $N/mm^2$ ;  
 $\sigma_b$  je základní zatěžovací napětí v  $N/mm^2$ ;  
 $\Delta\varepsilon$  je průměrná změna poměrného přetvoření mezi horním a základním napětím.

## 2.2. Vzájemný poměr mezi statickými a dynamickými moduly podle ČSN 73 2011

Hodnoty statických modulů pružnosti vycházejí vždy nižší než hodnoty modulů dynamických. Při znalosti vzájemného poměru mezi hodnotami dynamických a statických modulů pružnosti bychom v daleko větší míře mohli využívat právě nedestruktivních dynamických metod. Znovu vydaná norma ČSN 73 2011 z roku 2012 obsahuje orientační hodnoty zmenšovacích součinitelů  $\kappa_U$  (ultrazvuk) a  $\kappa_f$  (rezonance) – viz Tabulka 1.

*Tabulka 1.: Hodnoty zmenšovacích součinitelů pro přepočet dynamických modulů ultrazvukových ( $\kappa_U$ ) a rezonančních ( $\kappa_R$ ) na moduly statické podle ČSN 73 2011 – pro dříve vyráběné betony*

Zmenš. souč.	C 8/10	C12/15	C16/20	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55
$\kappa_U$	0,62	0,71	0,76	0,81	0,83	0,86	0,88	0,90
$\kappa_R$	0,81	0,86	0,88	0,90	0,91	0,93	0,94	0,95

Je však zapotřebí si uvědomit, že autoři nového vydání normy pouze převzali hodnoty uváděné ve starším vydání z osmdesátých let 20. století. Hodnoty uvedené Tabulce 1 byly stanoveny před 30 lety pro tradiční betony vyráběné odlišným způsobem než dnes. Skutečné hodnoty zmenšovacích součinitelů pro moderní betony vycházejí nižší, ovšem není problém je pro konkrétní beton stanovit. Kromě pevnostní třídy betonu je poměr mezi statickými a dynamickými moduly pružnosti ovlivněn dalšími vlivy, z nichž některé si dále ukážeme na příkladech.

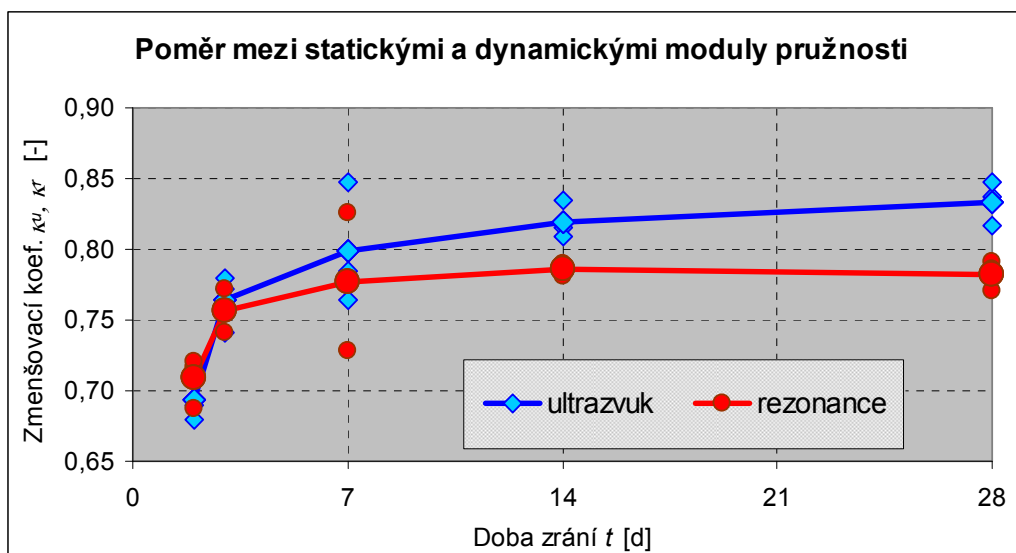
### **2.3. Vliv doby zrání na vztah mezi statickými a dynamickými moduly pružnosti**

Jedním z vlivů na poměr mezi statickými a dynamickými moduly pružnosti je doba zrání betonu. Tato problematika částečně souvisí s nárůstem pevnosti. Typickým příkladem je mostní beton pevnostní třídy C 30/37 s hrubým kamenivem Olbramovice. V Tabulce 2 a na Obrázku 1 jsou uvedeny a znázorněny výsledky zkoušek statického modulu pružnosti  $E_c$  a dynamických modulů pružnosti  $E_{dyn,U}$  (z ultrazvuku) a  $E_{dyn,FF}$  (z příčné rezonanční frekvence). Pro jednotlivé etapy zkoušení 2, 3, 7, 14 a 28 dnů od betonáže byly vypočteny jednotlivé a průměrné hodnoty zmenšovacích součinitelů pro přepočet dynamických modulů ultrazvukových ( $\kappa_U$ ) a rezonančních ( $\kappa_R$ ) na moduly statické.

Jak je patrné z Tabulky 2, se vzrůstající dobou zrání roste hodnota zmenšovacích koeficientů  $\kappa_U$ ,  $\kappa_R$ , tedy dochází ke snižování rozdílu mezi dynamickými a statickými moduly pružnosti. Trend je poměrně plynulý. Po 28 dnech zrání dosahuje statický modul pružnosti 83 % hodnoty dynamického ultrazvukového modulu pružnosti, což přesně odpovídá hodnotě normového koeficientu. Naopak u rezonanční metody je skutečný koeficient ( $\kappa_R = 0,78$ ) výrazně nižší než hodnota normová.

Tabulka 2.: Hodnoty zmenšovacích koeficientů pro přepočet dynamických modulů ultrazvukových ( $\kappa_u$ ) a rezonančních ( $\kappa_r$ ) na moduly statické pro beton pevnostní třídy C 30/37 v různém stáří

Doba zrání t	Statický modul pružnosti $E_c$	Dynamický modul pružnosti		Zmenšovací koeficient $\kappa_u$		Zmenšovací koeficient $\kappa_r$	
		$E_{dyn,u}$	$E_{dyn,FF}$	jednot.	průměr	jednot.	průměr
[d]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]	[-]	[-]	[-]
2	21,8	31 600	30 400	0,69	<b>0,69</b>	0,72	<b>0,71</b>
	22,4	31 500	31 100	0,71		0,72	
	21,8	32 100	31 700	0,68		0,69	
3	25,8	34 800	34 800	0,74	<b>0,76</b>	0,74	<b>0,76</b>
	26,4	34 200	35 000	0,77		0,75	
	26,8	34 400	34 700	0,78		0,77	
7	30,6	39 000	39 400	0,78	<b>0,80</b>	0,78	<b>0,78</b>
	33,2	39 200	40 200	0,85		0,83	
	28,9	37 800	39 700	0,76		0,73	
14	33,9	41 600	43 400	0,81	<b>0,82</b>	0,78	<b>0,79</b>
	32,2	39 800	40 800	0,81		0,79	
	32,7	39 200	41 500	0,83		0,79	
28	33,8	40 400	43 900	0,84	<b>0,83</b>	0,77	<b>0,78</b>
	33,3	40 800	42 100	0,82		0,79	
	34,4	40 600	43 800	0,85		0,79	



Obrázek 1.: Vliv doby zrání betonu na poměr mezi statickým a dynamickým moduly pružnosti betonu C 30/37



## 2.4. Vliv použitého hrubého kameniva na vztah mezi statickými a dynamickými moduly pružnosti

Druh hrubého kameniva je zcela zásadní jak pro výslednou hodnotu modulu pružnosti betonu, tak i pro vzájemný poměr mezi hodnotami modulů dynamických a statických. Vliv použitého hrubého kameniva na hodnoty zmenšovacích součinitelů  $\kappa_U$  a  $\kappa_R$  je ukázán na příkladu tří druhů vysokopevného betonu, lišících se pouze druhem hrubého kameniva – žuly, droby a čediče, jehož složení je uvedeno v Tabulce 3.

Tabulka 3.: Složení betonu C 70/85

Označení	Žula	Droba	Čedič
Vodní souč.	0,33	0,33	0,33
CEM I 42,5 R	420	420	420
Metakaolin	35	35	35
Voda	150	150	150
Superplastif.	7,5	7,5	7,5
Písek 0/4	625	625	625
Drť 4/8	245	245	275
Drť 8/16	975	975	1097

Výsledky zkoušek betonu po 1 a 28 dnech zrání jsou uvedeny v Tabulce 4 až 6 a graficky znázorněny na Obrázku 3 až 5.

Tabulka 4.: Výsledné průměrné hodnoty statického modulu pružnosti pevnosti v tlaku betonu po 1 a 28 dnech zrání

Doba zrání [d]	$E_c$ [GPa]			$f_c$ [MPa]		
	Žula	Droba	Čedič	Žula	Droba	Čedič
1	29,0	22,8	35,0	48,4	45,2	51,9
28	40,5	32,8	47,5	105,1	99,1	117,0

Tabulka 5.: Hodnoty dynamického modulu  $E_{dyn,U}$  a součinitelů  $\kappa_U$

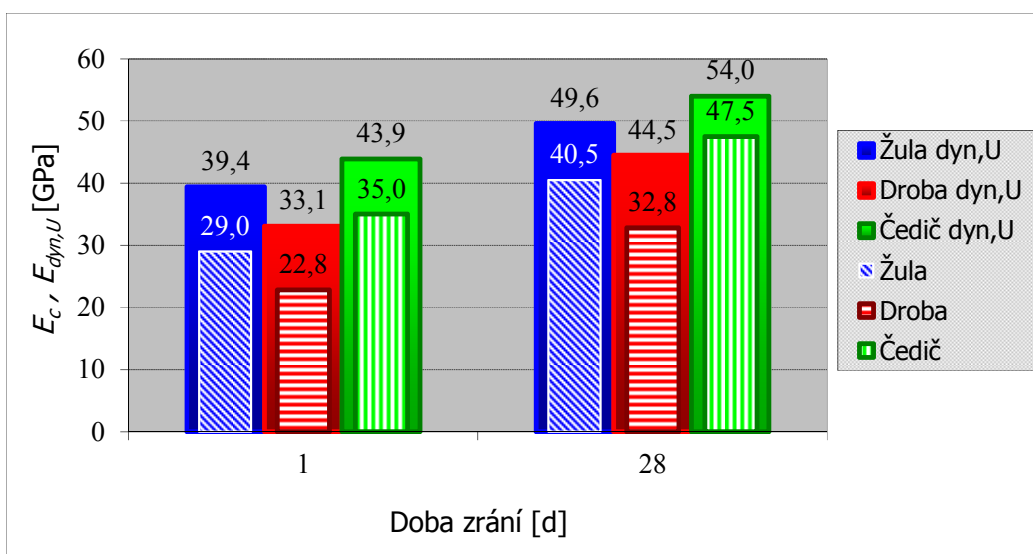
Doba zrání [d]	$E_{dyn,U}$ [GPa]			$\kappa_U$ [1]		
	Žula	Droba	Čedič	Žula	Droba	Čedič
1	39,4	33,1	43,9	0,72	0,69	0,80
28	49,6	44,5	54,0	0,82	0,74	0,88

1. – 2. října 2013

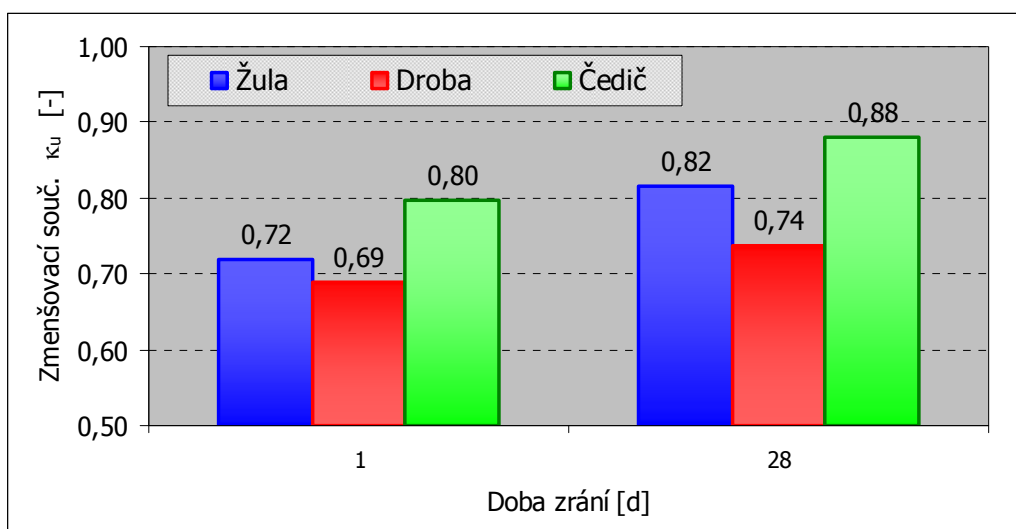
VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

Tabulka 6.: Hodnoty dynamického modul  $E_{dyn,FF}$  a součinitelů  $\kappa_r$

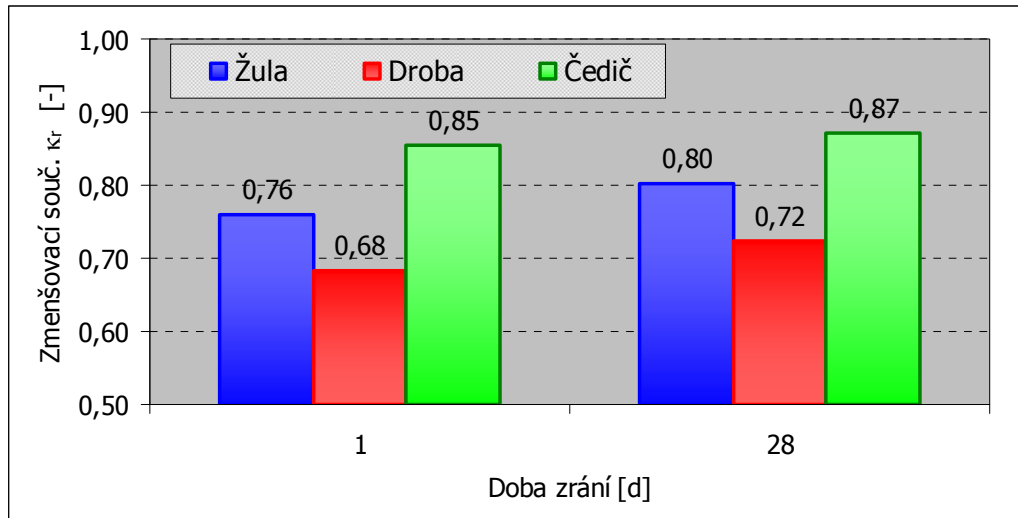
Doba zrání [d]	$E_{dyn,FF}$ [GPa]			$\kappa_r$ [1]		
	Žula	Droba	Čedič	Žula	Droba	Čedič
1	38,7	33,4	41,0	0,76	0,68	0,85
28	50,5	45,3	54,5	0,80	0,72	0,87



Obrázek 2.: Statické (nižší) a dynamické (vyšší) moduly pružnosti betonu C 70/85 s různými druhy hrubého kameniva



Obrázek 3.: Hodnoty zmenšovacieho součinitele  $\kappa_u$  (ultrazvuk).



Obrázek 4.: Hodnoty zmenšovacího součinitele  $\kappa_r$  (rezonance) pro betony s různým kamenivem po 1 a 28 dnech zrání

Vliv typu kameniva na modul pružnosti je velmi výrazný. Při zachování parametrů směsi (vodního součinitele, dávky superplastifikátoru, objemu hrubého kameniva), vykazuje beton s čedičem po 1 dni zrání takovou hodnotu modulu pružnosti, jakou beton s drobou nedosáhl ani po 28 dnech. Proti tomu vliv kameniva na pevnost v tlaku tak výrazný nebyl, neboť ve všech případech se jednalo o kamenivo s vysokou pevností v tlaku. Betony se žulou a drobou byly z hlediska pevnosti v tlaku prakticky srovnatelné, vyšších pevností bylo dosaženo pouze u betonu s čedičem, a to až po 28 dnech zrání.

Výrazně rozdílné byly rovněž hodnoty zmenšovacích součinitelů  $\kappa_u$  a  $\kappa_r$  pro přepočet dynamických modulů pružnosti z ultrazvukových a rezonančních měření na moduly statické. Např. pro ultrazvukové měření vychází nejnižší součinitel u betonu s drobou:  $\kappa_u=0,68$  po 1 dnu a  $\kappa_u=0,72$  po 28 dnech zrání. Proti tomu u betonu s čedičem byly součinitele výrazně vyšší:  $\kappa_u=0,80$  po 1 dnu a  $\kappa_u=0,88$  po 28 dnech. Součinitele u betonu s běžným žulovým kamenivem vycházely průměrné, např. po 28 dnech zrání  $\kappa_u=0,82$ . U rezonanční metody byly výsledky obdobné.

Porovnáním hodnot součinitelů  $\kappa_u$ ,  $\kappa_r$  zjištěné měřením s hodnotami normovými (Tabulka 1) zjistíme, že stejné hodnoty těchto součinitelů byly dříve dosahovány u betonů výrazně nižších pevnostních tříd.

## 2.5. Vliv vodního součinitele na vztah mezi statickými a dynamickými moduly pružnosti

Posledním příkladem je zhodnocení vlivu vodního součinitele na poměr mezi dynamickými a statickými moduly pružnosti. Z prakticky identických surovin, s hrubým kamenivem žulou, byly namíchány tři druhy betonu lišící se vodním součinitelem  $w = 0,33, 0,38$  a  $0,43$ . Navrhovaná pevnostní třída betonu s nejvyšší hodnotou vodního součinitele byla C 50/60, u dalších receptur se předpokládal nárůst pevností vždy minimálně o třídu. Výsledky zkoušek modulů pružnosti a pevnosti v tlaku betonů s rozdílným vodním součinitelem včetně hodnot zmenšovacích součinitelů  $\kappa_u, \kappa_r$  jsou uvedeny v Tabulce 7.

Tabulka 7.: Vliv vodního součinitele na hodnoty modulů pružnosti a zmenšovacích součinitelů  $\kappa_u, \kappa_r$

Receptura	Modul pružnosti [GPa]			Pevnost v tlaku [MPa]	Zmenšovací součinitel	
	$E_c$	$E_{dyn,FF}$	$E_{dyn,u}$	$f_c$	$\kappa_r$	$\kappa_u$
w 0,33	37,0	50,0	49,0	92,7	0,74	0,76
w 0,38	36,0	47,2	47,4	88,2	0,76	0,76
w 0,43	34,3	44,1	44,6	73,2	0,78	0,77

Na rozdíl od výrazného vlivu použitého druhu hrubého kameniva nemá vodní součinitel prakticky žádný vliv na hodnoty zmenšovacích součinitelů  $\kappa_u, \kappa_r$ . Jinak řečeno, se snižováním vodního součinitele narůstají statické i dynamické moduly pružnosti ve stejném poměru.

## 3. Závěr

Cílem příspěvku bylo ukázat možnosti stanovení statického modulu pružnosti z dynamických měření. Zvláště výhodné je použití ultrazvuku, neboť na rozdíl od rezonanční metody lze tuto metodu snadno aplikovat in situ. Pokud se pro přepočty použijí koeficienty z normy ČSN 73 2011, pak statické moduly pružnosti vyjdou vyšší, než odpovídá realitě. Pro jakýkoliv beton konkrétního složení lze získat přesné hodnoty zmenšovacích součinitelů, pokud jsou k dispozici zkušební tělesa předem vyrobená nebo dodatečně odebraná, na nichž lze provést stanovení jak dynamického, tak i statického modulu pružnosti betonu.

## Poděkování

Tento příspěvek vznikl za podpory centra kompetence TAČR TE01020168, s názvem "Centrum pro efektivní a udržitelnou dopravní infrastrukturu (CESTI)"

## Literatura

- [1] CIKRLE, P.; BÍLEK, V. Modul pružnosti vysokopevných betonů různého složení. *Beton TKS*. 2010. 2010(5). p. 40 - 44. ISSN 1213-3116.
- [2] CIKRLE, P.; KOCÁB, D.; POSPÍCHAL, O. Zkoušení betonu ultrazvukovou impulsovou metodou. *Beton TKS*. 2013. 13(3). p. 74 - 79. ISSN 1213-3116.
- [3] KOCÁB, D.; CIKRLE, P. Influence of Water Curing Concrete on the Dynamic Modulus of Elasticity of Concrete for Bridge Constructions. In *Non-Destructive Testing in Engineering Practice*. Brno, CERM. 2010. p. 141 - 146. ISBN 978-80-7204-723-9.
- [4] KOCÁB, D.; CIKRLE, P.; ADÁMEK, J.; POSPÍCHAL, O. Vliv provzdušnění na modul pružnosti mostního betonu. In *Sborník příspěvků 9. konference TECHNOLOGIE BETONU 2010*. Pardubice, ČBS Servis, s.r.o. 2010. p. 16 - 21. ISBN 978-80-87158-23-4.
- [5] Petr Huňka, Jiří Kolísko, Stanislav Řeháček, Miroslav Vokáč Zkušební a technologické vlivy na modul pružnosti betonu - rekapitulace. *Beton TKS*. 2012. 12(4). p. 62 - 67. ISSN 1213-3116.
- [6] POSPÍCHAL, O.; KOCÁB, D.; CIKRLE, P.; DANĚK, P. Stanovení modulu pružnosti jádrových vývrtů betonu použitého pro hodnocení vlivu délky ošetřování na kvalitu betonu. In *ZKOUŠENÍ A JAKOST VE STAVEBNICTVÍ 2012*. Brno, Vysoké učení technické v Brně. 2012. p. 63 - 68. ISBN 978-80-214-4578-9.

## Kontakt

Ing. PETR CIKRLE, Ph.D., tel: 00420 541 147 814, e-mail: cikrle.p@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. DALIBOR KOCÁB, tel: 00420 541 147 811, e-mail: kocab.d@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

## ZKOUŠENÍ VISKOZITY INJEKTÁŽNÍCH SMĚSÍ V LABORATORNÍCH PODMÍNKÁCH

## VISCOSITY TESTING OF THE GROUTING MIXTURES IN THE LABORATORY CONDITIONS

**Vít Černý, Rostislav Drochytka, Ester Venhodová**

VUT v Brně, Fakulta stavební,  
Ústav technologie stavebních hmot a dílců

***Anotace:***

*Pro správné sestavení receptury jílové suspenze pro injektáže sypaných hrází je třeba provést průkazní laboratorní zkoušky. Jedná se především o stanovení meze tekutosti a viskozity. Tento článek si klade za cíl představit základní metody zkoušení injektážních směsí a prezentuje výsledky ověřené na jílových suspenzích s příměsí popílku a vápna.*

***Annotation:***

*For correct preparation of clay suspension for injection of embankment dams recipe is needed to perform a preliminary tests. Mainly it is determination of liquid limit and viscosity. This article aims to introduce the basic methods of testing grouts and presents the results verified on the clay suspensions mixed with fly ash and lime.*

***Klíčová slova:*** *Vedlejší energetický produkt, sanace, sypaná hráz, injektáže.*

***Keywords:*** *Energy by-product, rehabilitation, embankment dam, grouting.*

## 1. Úvod

Hlavní surovinou při injektování je jíla, a to především z důvodu jeho dobré dostupnosti a relativně nízké ceně. Spotřeba směsi je velká, proto ustupujeme od drahých chemických nebo umělých hmot. Již z tohoto důvodu zůstane jíla ještě dlouhou dobu základní surovinou při návrhu injekčních směsí. Kromě hlavních surovin se pro sestavení směsi používají alternativní typy surovin (popílky), dále pak plastifikátory (pro snížení množství vody a zpracovatelnost) a pojiva (pro zamezení sedimentace zrn a zlepšení přilnavosti suspenze k zemině). Pro možné posouzení vhodnosti jíla a materiálů, které se pro injekční směsi použijí, je potřeba stanovit a znát hlavní parametry materiálu. Jedním z hlavních parametrů je mez tekutosti a konzistenční meze. [1]

### 1.1. Zkouška stanovení meze tekutosti

Tato zkouška se provádí dle ČSN CEN ISO/TS 17892-12. Chování soudržné zeminy je závislé na její vlhkosti, jelikož při vysoké vlhkosti se jílovitá zemina stává kašovitou až tekutou. Tekutý stav odpovídá případu, kdy zemina neklade prakticky žádný odpor proti smykovému přetvoření. Vlhkost, při které zemina již vykazuje určitou smykovou pevnost, je uvažována za hraniční mezi stavem tekutým a plastickým. Je označována jako mez tekutosti  $w_L$ . Mez tekutosti je tedy vlhkost, při které zemina přechází ze stavu plastického do stavu tekutého (jedna z Atterbergových mezí). Mez tekutosti určujeme pomocí tzv. Vasillevova kužele.

### 1.2. Zkouška stanovení rozlití

Postup pro stanovení rozlití je dán normou ČSN EN 1015-3. Podstatou zkoušky je stanovit hodnotu rozlití suspenze, která se získá změřením dvou na sebe kolmých průměrů rozlitého vzorku. Optimální hodnota rozlití směsi se pohybuje kolem 160 – 175 mm.

### 1.3. Viskozita

Viskozitu je možno měřit laboratorními přístroji, které jsou velmi složité (rotační viskozimetry), nebo velmi jednoduchými (průtokové viskozimetry). Rotační viskozimetry používáme v laboratoři pro přesné stanovení viskozity. Pro stavbu jsou tyto přístroje příliš jemné a drahé,



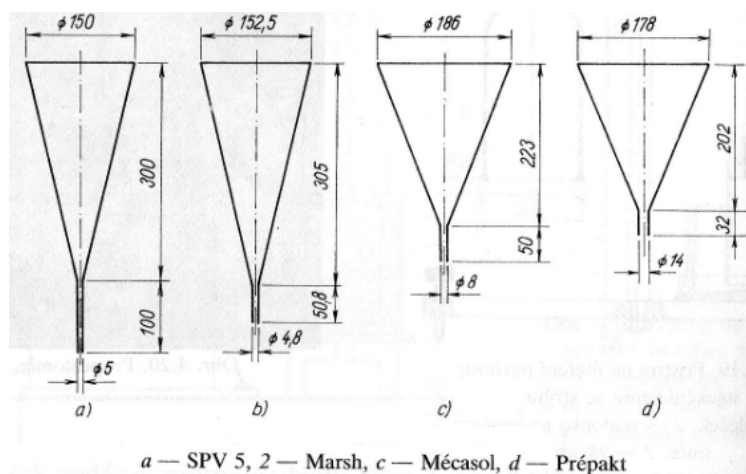
proto se zde používají viskozimetry průtokové. Jedná se v podstatě o kalibrované nálevky určitého tvaru a různých rozměrů, s různou délkou a průřezem s vyvedenou trubičkou výtokového otvoru.

Do nálevky se nalije přes síto o průměru ok 1 mm dané množství suspenze a měří se čas, za který proteče určité množství injekční směsi (menší než je celková dávka do nálevky). Suspenze se reologicky chovají jako Binghamovy kapaliny, víme, že doba potřebná k protečení určitého množství suspenze je závislá současně na třech faktorech:

- viskozitě,
- tuhosti,
- hustotě směsi.

Přestože je hodnota průtoku (viskozity) udávána ve vteřinách a ne v odpovídajících fyzikálních jednotkách, osvědčují se průtokové viskozimetry v praxi díky tomu, že s nimi lze velmi dobře definovat tekutost směsi. Hodnota průtoku směsi by se měla pohybovat v rozmezí od 40 s až do 100 s.

Průtokových viskozimetrů je celá řada. Pro účely stanovení laboratorních výsledků byl použit viskozimetr Marsh (0). Nalévá se do něj zpravidla 1,5 l suspenze, přičemž se protéct nechá 0,5 l. Hodnota odpovídající průtoku vody je 27 vteřin. Jednotlivé průtokové viskozimetry se od sebe liší a je potřeba použít pouze určitý typ. Suspenze musí průtokovým viskozimetrem protékat plynule a nesmí dojít k jejímu „trhání“.



*Obrázek 1.: Průtokové viskozimetry*

## 2. Postup a výsledky

V rámci laboratorního zkoušení injekčních směsí byly zkoušeny různé kombinace složek, přičemž základ tvořil ve většině případů jíł Ge. V první fázi byl k jílu přidáván klasický vysokoteplotní popílek v různých poměrech, ve fázi druhé navíc také vápno. První sledovanou vlastností byla mez tekutosti dané injekční směsí. Poté jsme provedli zkoušku rozlití, podle které jsme určili orientační množství vody, potřebné pro zkoušku viskozity v Marsh kuželi. Limitní bylo pro rozlití rozmezí 150 – 170 mm.

Pro stanovení meze tekutosti bylo potřeba cca 200 g zeminy proseté sítem s otvory o velikosti 0,4 mm nebo ji nejbližší. Zemina byla vložena do keramické misky, po přimísení první dávky vody se stěrkou pečlivě směs promíchala tak, až byla všechna zrna rovnoměrně obalena vodou. Promíseným vzorkem se naplnila hliníková miska po okraj (nesmí zůstat vzduchové bubliny) a povrch byl zarovnan laboratorním nožem. Poté se miska vložila bezprostředně pod špičku kužele, provedlo se počáteční čtení na měřidle poklesu a spustil se přístroj. Po ukončení vnikání kužele do zeminy bylo opět provedeno odečtení na měřidle a z těchto výsledků se následně stanovil jejich rozdíl. Tato hodnota by měla být v intervalu 10 – 30 mm, pokud bylo dosaženo nevyhovujícího výsledku, byla upravena dávka vody a postup se opakoval, dokud nebylo dosaženo vyhovujících hodnot. Celý postup se opakoval minimálně 2 x.

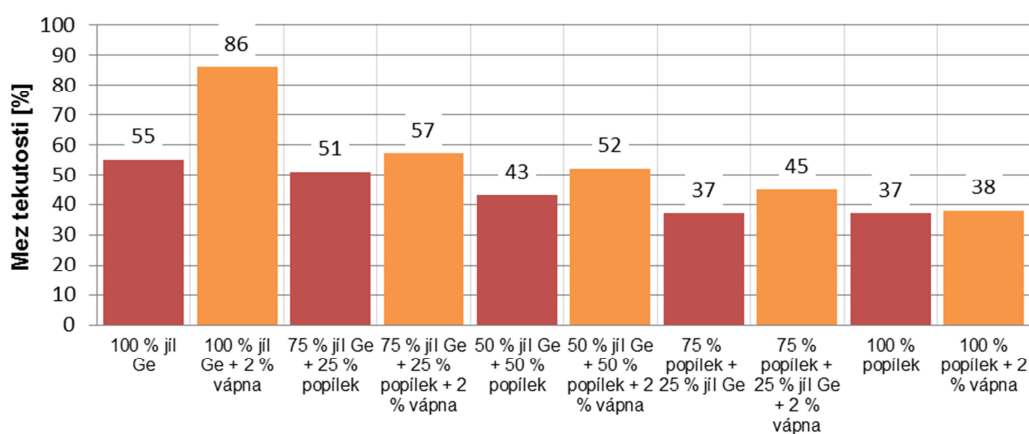
Zkouška rozlití se prováděla na střešacím stolku. Stolek se očistil a do jeho středu se osadil kovový kužel, který se naplnil (ve dvou vrstvách) připravenou maltou. Po naplnění se sejmul horní nástavec a provedlo se seříznutí přebytečné malty. Po 10 až 15 s se kovový kužel zvedl a 15 úderů s frekvencí 1 ráz za 1 sekundu se provedlo rozlití. Díky tekutosti směsi se neprovádělo střešání, po zvednutí kužele se pouze změřil průměr rozlití koláče. Změřily se dva na sebe kolmé průměry s přesností 1 mm. Tato zkouška byla prováděna pouze pro ověření, zda může částečně nahradit mnohem přesnější metodu měření viskozity, využívající Marsh kužel. Pro tu byl měřenou veličinou čas, za který vyteklo 0,5 l suspenze z trychtýře o objemu 1,5 l.

Tabulka 1.: Základní parametry suspenzí z první fáze zkoušení

Směs	Mez tekutosti [%]	Rozlití [mm]	Vlhkost [%]	Marsh kužel [s]
<b>100 % jíł Ge</b>	55	160	98	60
<b>75 % jíł Ge + 25 % popílek</b>	51	160	94	72
<b>50 % jíł Ge + 50 % popílek</b>	43	160	80	57
<b>75 % popílek + 25 % jíł Ge</b>	37	155	65	53
<b>100 % popílek</b>	37	170	60	52

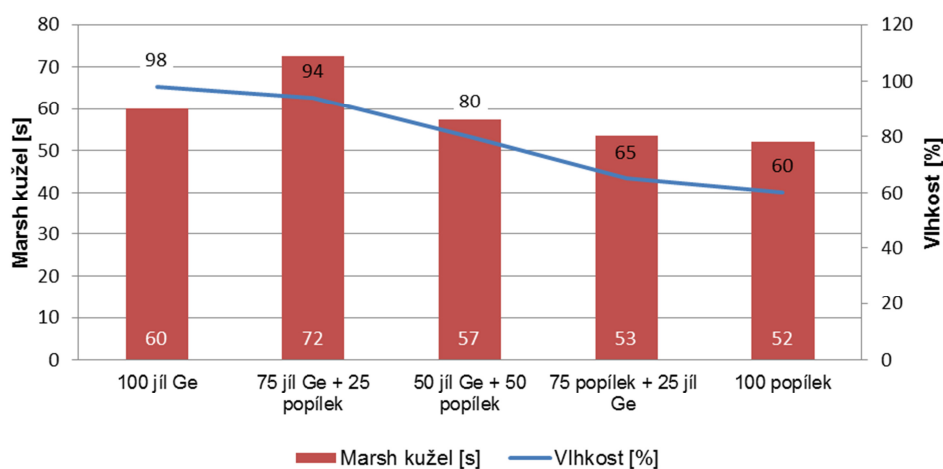
Tabulka 2.: Základní parametry suspenzí z druhé fáze zkoušení

Směs	Mez tekutosti [%]	Rozlití [mm]	Vlhkost [%]	Marsh kužel [s]
<b>100 % jíł Ge + 2 % vápno</b>	86	160	119	40
<b>75 % jíł Ge + 25 % popílek + 2 % vápno</b>	57	160	98	60
<b>50 % jíł Ge + 50 % popílek + 2 % vápno</b>	52	160	87	44
<b>75 % popílek + 25 % jíł Ge + 2 % vápno</b>	45	160	75	53
<b>100 % popílek + 2 % vápno</b>	38	160	52	77

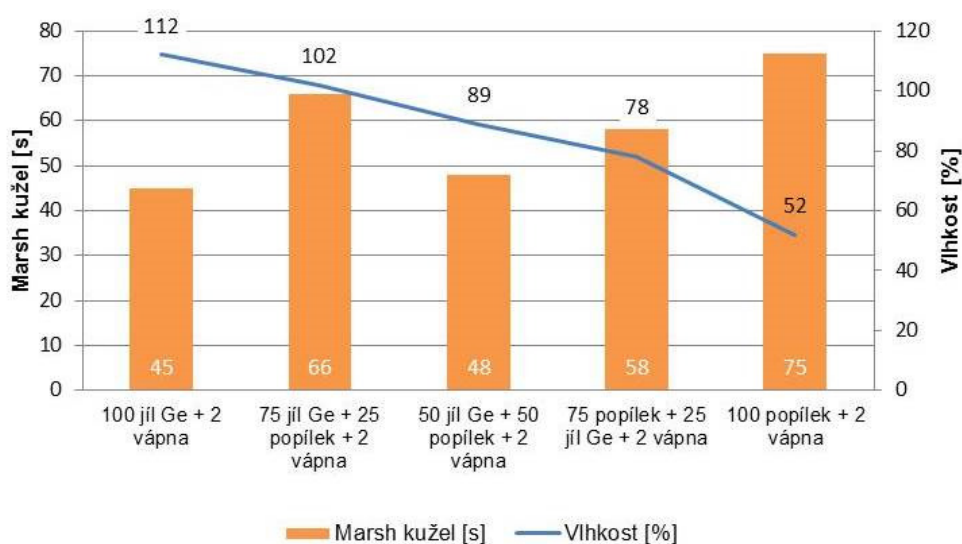


Obrázek 2.: Mez tekutosti suspenzí

Na základě grafického znázornění na 0 můžeme sledovat, že nahrazení jílu popílkem snižuje mez tekutosti. Ta se pohybovala od 55 % u 100 % podílu jílu Ge až po 37 % pro 100% podíl popílku. Stejný trend byl zaznamenán i při příměsi vápna jako pojiva, avšak v porovnání s hodnotami směsi pouze jílu Ge a popílku, mez tekutosti rostla. Následující grafy jsou věnovány závislosti výsledků stanovení viskozity Marsh kuželem na vlhkosti injektážní směsi.

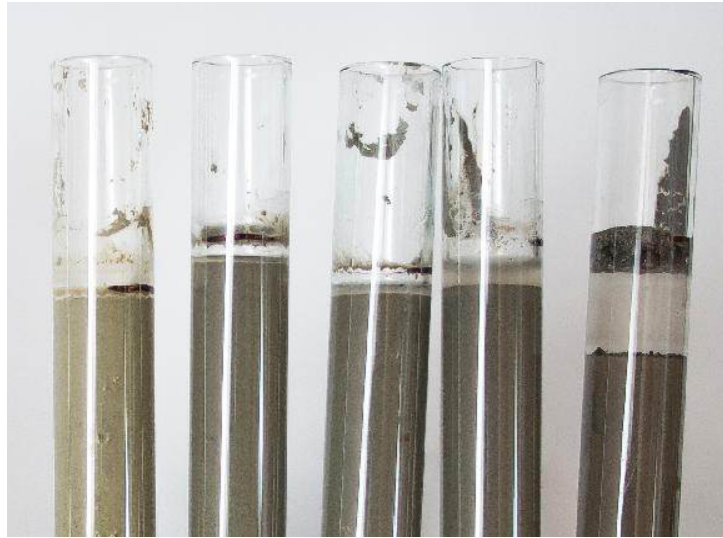


Obrázek 3.: Závislost viskozity na vlhkosti suspenzí z první fáze zkoušení



Obrázek 4.: Závislost viskozity na vlhkosti suspenzí z druhé fáze zkoušení

Optimální hodnota viskozity Marsh kuželem je dána dle zkušeností s injektážemi hornin v rozmezí 45 – 75 s, což námi zkoušené injektážní směsi splňují. Dále lze říci, že s rostoucím množstvím alternativní suroviny – popílku docházelo ke snižování potřebného množství vody (vlhkosti), naopak přidáním pojiv se toto množství vody zvyšovalo.



*Obrázek 5.: Odstoj vody suspenzí*

Na obrázku lze pozorovat odstoje vody jednotlivých injektážních směsí bez přídavku vápna. Odstoj vody znamená vystoupení vody na povrch suspenze jako důsledek sedimentace pevných částic. Na základě míry odlučování vody můžeme posoudit stabilitu suspenze, a to tak, že čím je suspenze stabilnější, tím menší množství vody se z ní odlučí. Dle této definice můžeme usoudit, že nejméně stabilní je injektážní směs na bázi klasického vysokoteplotního popílku. Příměs ztekucovadel na bázi fosforečnanů sodných však suspenzi výrazně stabilizuje a odstoje vody u směsí i se 75% podílem popílku prakticky vymizel.

### **3. Závěr**

Dlouhou dobu je již známo injektování za účelem utěsnění nebo zpevnění pískových, štěrkopískových či jiných hrází, které jsou vystaveny vlivu prosakující vody. Jako materiál pro tyto injektáže lze s úspěchem používat suspenze na bázi jílu, které se doplňují pojivem (vápno) a určitým druhem alternativní suroviny (popílek). Důležité je však najít

takový poměr surovin, aby měla výsledná injektážní suspenze co nejvhodnější vlastnosti.

Z výsledku provedených zkoušek je zřejmé, že popílky snižují mez tekutosti, zlepšují zpracovatelnost a snižují potřebné množství vody pro stanovení konzistence pomocí Marsh kužele. Pojiva naopak zvyšují mez tekutosti a vyžadují větší množství vody pro stanovení konzistence v čerstvém stavu (Marsh kužel). Zlepšují ovšem pevnosti a soudržnost směsi s povrchem.

Dále je třeba brát v úvahu rovnoměrné rozptýlení složek, aby nedošlo ke shlukování zrn. Jíl spolu s ostatními složkami musí být ve vodním prostředí dokonale rozptýlen. Pak je možné vytvořit kompaktní směs, která by zabránila dalším průsakům nesoudržných zemin hrází. U suspenzí s vyšším obsahem popílku jsme mohli pozorovat větší odstoje vody, což poukazuje na nižší stabilitu suspenze.

## Poděkování

Příspěvek byl vytvořen za finanční podpory z prostředků státního rozpočtu prostřednictvím Ministerstva průmyslu a obchodu v rámci projektu FR—TI4/335 s názvem „Nové progresivní technologie sanace sypaných hrází“.

## Literatura

- [1] VERFEL, Jaroslav. Injektování hornin a výstavba podzemních stěn. Vyd. 2., přeprac. Bratislava: Bradlo, 1992, 511 s., 16 s. příl. ISBN 80-712-7043-1.
- [2] Návody do laboratoře: podklady laboratoře. Návody k laboratorním cvičením: Mechanika hornin a zemin [online]. 2012 [cit. 2013-08-21]. Dostupné z: <http://homel.vsb.cz/~pin078/MZZS/podkladylaboratore.pdf>.
- [3] ThermoCem: Aplikační brožura 2010. ThermoCem [online]. 2010 [cit. 2013-08-22]. Dostupné z: <http://www.heidelbergcement.com/NR/rdonlyres/86732764-9F06-4E40-A1C0F0583C55572B/0/ThermoCemAplika%C4%8Dn%C3%ADbro%C5%BEura20101104.pdf>
- [4] VERFEL, Jaroslav, TKANÝ, Zdeněk. Těsnění základových půd. 1. vyd. Praha: SNTL, 1974, 316 s.

[5] ČSN CEN ISO/TS 17892-12 - Geotechnický průzkum a zkoušení - Laboratorní zkoušky zemin - Část 12: Stanovení konzistenčních mezí, Český normalizační institut, Praha, 2005

[6] ČSN EN 1015-3 - Zkušební metody malt pro zdivo - Část 3: Stanovení konzistence čerstvé malty (s použitím střešacího stolku), Český normalizační institut, Praha, 2000

[7] ČSN EN 14117 - Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí - Zkušební metody - Stanovení viskozity cementových injektážních výrobků, Český normalizační institut, Praha, 2005

## **Kontakt**

Ing. Vít Černý, Ph.D., tel: 00420 541 147 463, e-mail: cerny.v@fce.vutbr.cz, Ústav technologie stavebních hmot a dílců, FAST VUT v Brně, Veverí 95, 602 00 Brno.

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---



## **METODY POSUZOVÁNÍ HYDROIZOLAČNÍCH INJEKTÁŽNÍCH CLON**

## **METHODS OF TESTING HYDROISOLATION INJECTION SCREENS**

**Rostislav Drochytka, Pavel Dohnálek,  
Jindřich Melichar**

VUT v Brně, Fakulta stavební,  
Ústav technologie stavebních hmot a dílců

***Anotace:***

*Dodatečné vytvoření hydroizolační clony ve zdivu je v dnešní době již značně rozšířenou metodou sanace vlhkého zdiva. Oblibu si tato metoda získala hlavně kvůli své jednoduchosti, časové nenáročnosti a finální účinnosti. Tento příspěvek je zaměřen na testování aplikace a celkové účinnosti clon ve zdivu.*

***Annotation:***

*Additional creating of hydroisolation screen in masonry is nowadays quite extended method of redevelopment of wet masonry. Advantages of this method are easy and quick application and final efficiency. This article is focused on testing of application and total efficiency of these screens in masonry.*

***Klíčová slova:*** *hydroizolační gelové clony, injektáž, metody aplikace a testování*

***Keywords:*** *hydroisolation gel screens, injection, methods of application and testing*

## 1. Teoretický úvod

Na kterýkoliv stavební objekt v našem okolí působí celá řada negativních činitelů, mezi které patří například působení větru, sněhu, vody nebo mrazu. Většina staveb v našem klimatu se ale potýká prakticky vždy s působením vlhkosti. Degradace, třeba i jednoho stavebního materiálu zabudovaného do stavební konstrukce, má za následek postupné snižování trvanlivosti a životnosti nejen samotného stavebního materiálu, ale i celé konstrukce, ve které je daný stavební materiál zakomponován. Pokud tato situace nastane, je nutno přistoupit k sanaci objektu. Mezi nejčastější vlhkostně namáhané části objektu patří soklové a podzemní části staveb.

V minulosti bylo v mnoha případech na našem území dodatečné snižování vlhkosti prováděno mechanickými metodami. Jednalo se především o podříznutí nebo probourání zdiva v takovém rozsahu, aby mohla být do vytvořené spáry dodatečně vložena hydroizolace, která u mnohých poškozených objektů chyběla, popřípadě došlo ke ztrátě její životnosti. Dodatečným vložením hydroizolačního materiálu do zdiva došlo k vytvoření hydroizolační clony, která bránila dalšímu šíření vlhkosti. Všechna sanační opatření na tomto principu jsou značně náročná nejen na čas, ale zejména na statiku budov. V této souvislosti vzešel požadavek na návrh nových a méně náročných sanačních opatření.

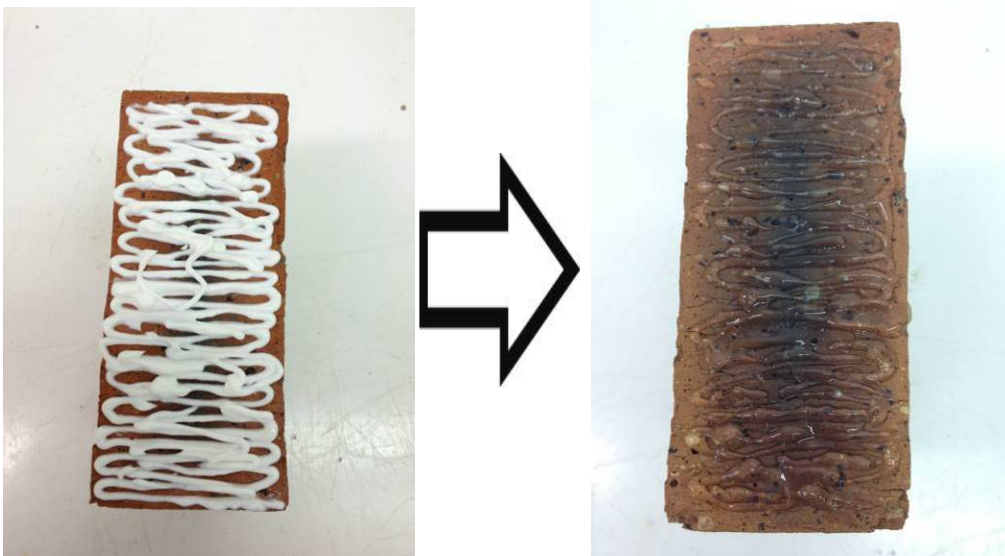
Postupem času byla vynalezena a do praxe zavedena chemická metoda sanace vlhkého zdiva tzv. metoda chemických infuzních clon. Ta spočívala ve vytvoření určitého množství vrtů ve zdivu ve zvolené výšce vlhkého zdiva, které jsou následně napouštěny speciálním roztokem, jež ve zdivu vyplní a utěsní póry v oblasti vrtů, díky čemuž následně dojde k vytvoření jedolité hydroizolační clony. Tato metoda je v dnešní době díky své funkčnosti a relativně malé náročnosti na podmínky aplikace velmi rozšířená nejen v ČR ale i v ostatních zemích Evropy. [1]

## 2. Metody posuzování infuzních clon

### 2.1. Aplikace injektážního gelu

V praxi se gel aplikuje do horizontální řady vrtů, v nichž dojde k penetraci injektážního materiálu do zdiva a vzájemným překrytím dochází ke vzniku hydroizolační clony. Pro testování v laboratorních podmínkách tato metoda není prakticky použitelná, neboť testovaná tělesa o rozměru poloviny cihly jsou příliš malá. Proto byla zvolena metoda aplikace materiálu na povrch vzorku.

Pro laboratorní zkoušky byla testována řada způsobů aplikace gelu. Nejdříve bylo testováno nanášení na nasáklé vzorky za laboratorních podmínek, což se ukázalo jako nevyhovující metoda, neboť docházelo k vysychání gelu na povrchu těles a tím pádem k zastavení procesu penetrace do vzorku. Také při neprodyšném uzavření nasáklého vzorku do plastového sáčku došlo ke stejnému jevu jako za laboratorních podmínek.



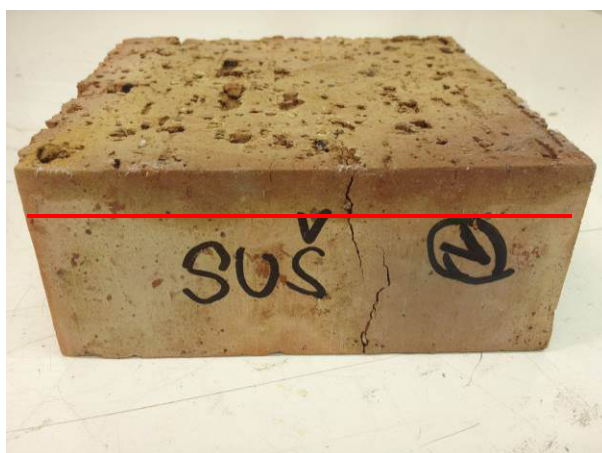
*Obrázek 1.: Penetrace nasáklého vzorku za laboratorních podmínek*

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

Aplikace na suché vzorky se nakonec ukázala jako nejvhodnější metoda aplikace, neboť po několika minutách dochází k vsáknutí injektážního materiálu do zdiva. Nadále byla tedy používána tato metoda.



*Obrázek 2.: Suchý vzorek penetrovaný hydroizolačním gelem*

## **2.2. Laboratorní zkoušky**

Pro zkoušení aplikace a účinnosti gelů bylo zvoleno spektrum materiálů, na které se hydroizolační materiál bude nanášet tak, aby pokrylo všechny možné způsoby aplikace. Na vzorovém souboru vzorků si ukážeme charakter materiálů, které budou nadále použity ke zkoušení penetrace a celkových vlastností jednotlivých gelů. Byla zvolena cihla plná pálená, cihla pískovcová, pórobeton a zdící malta. Ze všech čtyř typů materiálu se připraví tělesa o rozměrech odpovídajících polovině klasické cihly. Testování se provádí na upravených a neupravených vzorcích, aby mohlo dojít k porovnání výsledků obou typů. Testovanou plochou je vždy strana, která bude opatřena hydroizolačním materiálem. Pro testování účinnosti injektážních gelů byly vybrány následující laboratorní metody:

- Objemová hmotnost daného zkušebního tělesa se stanoví jako poměr jeho hmotnosti a jeho objemu. Ponořením tělesa do ustálené hmotnosti, následným vyjmutím a zvážením se stanoví hmotnost nasáklého tělesa. Zdánlivá hmotnost tělesa se stanoví vážením nasáklého tělesa ve vodě. Objem tělesa se stanoví jako rozdíl hmotnosti nasáklého tělesa a jeho zdánlivé hmotnosti vydělený hustotou vody. [2]
- Zkouška vodotěsnosti povrchové úpravy, jejíž podstatou je měření množství vody, které nasákne povrchem zkoušeného materiálu během stanovené doby. Zkouška se provádí pomocí plastového zvonu, který je

pomocí silikonu a svorek pevně připevněn k testovanému tělesu a dělenou pipetou, která se umístí do zvonu. [3]

*Tabulka 1.: Hodnoty povrchové vodotěsnosti testovaných materiálů*

cihla	$V_{30}$ [l/m <sup>2</sup> ]
pískovec	2,06
plná pálená	8,71
zdící malta	0,43

Z výsledků je patrné, že všechny materiály v neupraveném stavu propouští vodu, a to zejména cihla plná pálená, u které byly zjištěny hodnoty takřka čtyřikrát vyšší než u ostatních materiálů.

- Stanovení vzlínivosti se provádí částečným ponořením zkušební tělesa do vody na stanovenou dobu. Před započítáním zkoušky se vysušené hranoly zváží a umístí se do nádoby, ve které je umístěno zařízení na udržování stálé hladiny ve výšce zhruba 5 mm nad horní plochou roštu. Po uplynutí 72 hodin od umístění vzorků do vody se vyjmou a plocha, která byla v kontaktu s vodou se otře vlhkou tkaninou a tělesa se ihned zváží. Vzlinavost se vypočte jako rozdíl hmotnosti nasáklého a suchého tělesa vydělený plochou, která byla v kontaktu s vodou. [4]

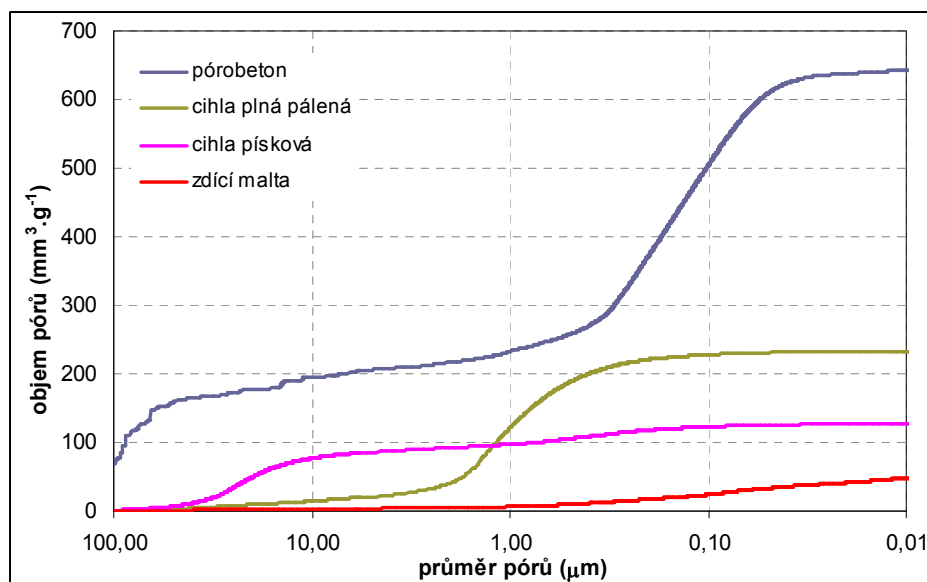
- Stanovení nasákavosti se provádí úplným ponořením stejného tělesa jako ve zkoušce vzlínivosti na stanovenou dobu do vody. Po zvážení se tělesa umístí opět na rošt. Nádoba s hranoly se naplní vodou tak, aby hladina sahala asi do 1/3 jejich objemu. Po 24 hodinách se voda dolije tak, aby hladina sahala do 2/3 výšky kvádrů, po dalších 24 hodinách se nádoba doplní tak, aby vodní hladina převyšovala horní plochu hranolů zhruba o 20 mm. Po dalších 24 hodinách, tedy po 72 hodinách od započítání zkoušky, se hranoly vyjmou z nádoby, voda se nechá okapat a otřou se navlhčenou tkaninou a ihned poté zváží. Nasákavost jednotlivých vzorků se stanoví jako rozdíl hmotnosti nasáknutého a suchého tělesa vydělený hmotností suchého tělesa vynásobený stem. Získáváme procentuální nasákavost daného tělesa. [4]

Tabulka 2.: Hodnoty nasákavosti testovaných materiálů

cihla	nasákavost [%]
pískovec	5,4
plná pálená	18,5
zdící malta	4,3

U hodnot nasákavosti jednotlivých materiálů byl pozorován stejný trend jako u vodotěsnosti. Všechny materiály jsou značně nasákové a nejvíce opět cihla plná pálená.

▪ Pórovitost se stanovuje pomocí rtuťové porozimetrie. Tato metoda nám poskytuje informace o objemu a hustotě pórů, dokáže ovšem i specifikovat povrch pórů. Metoda je založená na jevu kapilární deprese, kdy při ponoření tělesa do kapaliny která jej nesmáčí, se tato kapalina dostane do pórů jen za působení tlaku. Následně z velikosti tlaku, který byl vynaložen na vtlačení určitého objemu rtuti (nesmáčivá kapalina) do pórů je určen poloměr pórů. Pokud se tedy tlak zvyšuje, je zřejmé, že rtuť vniká do pórů stále menšího poloměru, tudíž zvyšováním tlaku a měřením objemu rtuti, která byla vtlačena do pórů je možné stanovit objem pórů podle velikosti. [5]



Obrázek 3.: Hodnoty pórovitosti testovaných materiálů

Zjištěné hodnoty pórovitosti dokazují, že všechny materiály jsou pórovité, nejvíce tentokrát zahrnutý pórobeton. Ze tří původních materiálů měla opět nejvyšší hodnoty cihla plná pálená.

### **3. Závěr**

Pro stanovení účinnosti hydroizolačních gelů byly vybrány zkoušky vodotěsnosti, objemové hmotnosti, vzlínivosti, nasákavosti a pórovitosti. Vybrané laboratorní zkoušky byly voleny tak, aby se s jejich pomocí a porovnáním neupravených a upravených vzorků dalo určit, které hydroizolační gely jsou účinné a které nejsou. Některými zkouškami, např. stanovením pórovitosti, se dá také stanovit, zda je daný materiál správně napenetrován hydroizolačním materiálem. Ukázala se jasná souvislost jednotlivých parametrů, ať už s typem materiálu nebo s tím, zda je nebo není vzorek opatřen hydroizolačním gelem. Dle vybraných zkoušek a jejich výsledku bude možno jednoznačně stanovit parametry injektážích materiálů.

### **Poděkování**

Příspěvek byl vytvořen za finanční podpory z prostředků státního rozpočtu prostřednictvím Ministerstva průmyslu a obchodu ČR v rámci projektu FR-TI4/270 s názvem „Gelový infuzní clonový systém pro dodatečnou hydroizolaci různých druhů zdiva s využitím druhotných surovin“.

### **Literatura**

- [1] WTA směrnice 4-4-04/D: Injektáž zdiva proti kapilární vlhkosti. Praha: Tauris, 2005. ISBN 80-02-01773-0.
- [2] ČSN 1015 10: Stanovení objemové hmotnosti suché zatvrdlé malty
- [3] ČSN 73 2578: Zkouška vodotěsnosti povrchové úpravy stavebních konstrukcí
- [4] ČSN 73 1357: Stanovení kapilárních vlastností pórobetonu
- [5] ČSN 72 5010: Stanovení nasákavosti, zdánlivé pórovitosti a pórovitosti vypálených keramických směsí a výrobků

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

## **Kontakt**

Ing. JINDŘICH MELICHAR, tel: 00420 541 148 225, e-mail:  
melichar.j@fce.vutbr.cz, Ústav technologie stavebních hmot a dílců, FAST  
VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.



## ZKOUŠENÍ POŽÁRNÍ ODOLNOSTI V LABORATORNÍCH PODMÍNKÁCH

## FIRE RESISTANCE TESTING IN THE LABORATORY CONDITIONS

**Michal Frank, Lenka Smetanová**

Výzkumný ústav stavebních hmot, a.s., Brno

***Anotace:***

*Příspěvek popisuje metodiku zkoušení požární odolnosti v laboratorních podmínkách, jež vychází z platných norem a slouží k porovnávání kompozitů pro výrobu požárně odolných stavebních prvků. Detailně je zde popsán postup zkoušky, potřebné zařízení a následné vyhodnocení zkoušky včetně výsledků zkoušek vzorků kompozitů.*

***Annotation:***

*The paper describes fire resistance testing in laboratory conditions. The methodology is based on the valid standards and can be used for comparison of particular compositions for the fire resistant construction elements. The principle of determination of fire resistance including required equipment, followed by the test evaluation is described in detail.*

***Klíčová slova:*** *požární odolnost, kompozit, stavební prvek, metodika zkoušení*

***Keywords:*** *fire resistance, composite, construction element, test methodology*

## 1. Úvod

Požární odolnost stavebních konstrukcí je doba, po kterou jsou konstrukce schopny odolávat účinkům plamene a vysokým teplotám. Ověřování požární odolnosti se nejčastěji provádí vlastní zkouškou v akreditované zkušebně, v některých případech pak na základě výpočtu, extrapolace či porovnávání dle zkušebních norem a předpisů. Tyto zkoušky jsou však většinou časově i finančně náročné, tudíž se provádějí až u finálního produktu před jeho uvedením na trh.

V rámci řešeného projektu však bylo nutné vyzkoušet mnoho směrů pro vývoj požárně odolných kompozitních prvků a mít představu o jejich vlastnostech právě z hlediska požární odolnosti. Proto byla vytvořena metodika pro zkoušení požární odolnosti v laboratorních podmínkách. Nyní je tak možné mezi sebou porovnávat jednotlivé receptury požárně odolných kompozitů velmi rychle, efektivně a s minimálními náklady.

## 2. Vytvoření a úpravy metodiky zkoušení

Metodika zkoušení požární odolnosti v laboratorních podmínkách samozřejmě vychází z platných norem. Jsou to především normy ČSN EN 1363-1 Zkoušení požární odolnosti – Část 1: Základní požadavky, ČSN EN 1363-2 Zkoušení požární odolnosti – Část 2: Alternativní a doplňkové postupy a ČSN EN 1363-3 Zkoušení požární odolnosti – Část 3: Ověřování charakteristik pecí. Ty stanovují základní požadavky pro určení požární odolnosti různých prvků stavebních konstrukcí vystavených podmínkám působení požáru a všechny okolnosti se zkouškami spojené.

Pro posouzení požární odolnosti kompozitního prvku je nejdůležitější kritérium celistvosti a izolace. Kritérium celistvosti je definováno jako doba uběhnutého času v celých minutách, po kterou zkušební prvek zachovává při zkoušce svou dělicí funkci, aniž by došlo ke vznícení přiloženého bavlněného polštářku, nebo výskytu trhlin umožňujících průchod speciální měřky nebo souvislému plamennému hoření na vnější neohřívané straně zkušebního tělesa [1].

Kritérium izolace je pak definováno jako doba uběhnutého času v celých minutách, po kterou zkušební prvek zachovává při zkoušce svou dělicí funkci, aniž by na neohřívané straně byly dosaženy teploty, které způsobí:

- vzrůst průměrné teploty nad počáteční průměrnou teplotu o více než 140 °C; nebo
- vzrůst teploty v kterémkoliv místě nad počáteční průměrnou teplotu o více než 180 °C.

Počáteční průměrná teplota je průměrná teplota na neohřívaném povrchu na počátku zkoušky.

Počáteční parametry vlastní zkoušky dle normy:

- Teplota vzorku: (20 ± 10) °C
- Teplota termočlánků v peci: (30 ± 20) °C

Za samotný začátek zkoušky je považován okamžik, kdy na kterémkoliv termoelektrickém článku v peci překročí teplota 50 °C. Průběžný čas se měří od tohoto okamžiku.

Jako zkušební zařízení pro zkoušku byla zvolena vertikální laboratorní muflová pec LAC LMV 2/12 o vnitřním průměru 110 mm, objemu 2 l a maximální dosažitelné teplotě 1200 °C.



*Obrázek 1.: Laboratorní muflová pec pro zkoušku požární odolnosti*

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

Princip zkoušky spočívá v tom, že zkušební těleso nahrazující víko pece tvoří přirozenou hranici mezi prostředím v peci a okolní teplotou. Pro výrobu takových zkušebních těles byla navržena a zkonstruována forma, jež umožňuje vyrobit tělesa o různé tloušťce po 5 resp. 10 mm.



*Obrázek 2: Forma na zkušební tělesa pro zkoušku požární odolnosti*

Teplota vzniklá při požáru je simulována teplotou muflové pece působící na vnitřní stranu zkušebního vzorku desky. Tato teplota je snímána vlastním termočlánkem pece a dále druhým termočlánkem, který je do pece umístěn zároveň se vzorkem.

Teplotě na straně odvrácené požáru pak odpovídá teplota vnějšího povrchu zkušebního vzorku. Je měřena termočlánkem typu J (Fe-CuNi), na jehož konci je přiletována tenká měděná destička o rozměrech 20×20×0,8 mm, čímž je zajištěn dokonalý kontakt s měřeným materiálem. Destička je navíc při zkoušce chráněná vrstvou izolace z minerálního vlákna proti působení okolního prostředí.

Průběh orientační zkoušky je zaznamenáván pomocí dvoukanálového ručního teploměru s funkcí záznamu dat, na který jsou napojeny oba výše zmíněné termočlánky.

Vlastní vyhodnocení zkoušky se pak provádí v programu Microsoft Excel.

### 3. Výsledky zkoušek vybraných receptur

V rámci řešení projektu i při jiných zkouškách byla stanovena požární odolnost mnoha vzorků komerčních i vlastních materiálů. Níže je uvedeno orientační složení a výsledky několika vybraných měření na materiálech na bázi sádry.

*Tabulka 1.: Vybrané receptury složení kompozitu na bázi sádry*

Označení směsi ► Složení v % ▼	S2	S4	S8	S2V1	S4V1	S8V1
Sádra	94,3	89,3	84,3	93,3	88,3	83,3
Vylehčovací složka	5,0	10,0	15,0	5,0	10,0	15,0
Vlákno	–	–	–	1,0	1,0	1,0
Přísady	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Vodní součinitel	0,60	0,73	0,93	0,60	0,73	0,93

*Tabulka 2.: Požární odolnost vybraných materiálů na bázi sádry*

Vlastnosti ▼ / Označení směsi ►	S2	S4	S8	S2V1	S4V1	S8V1
Tloušťka [mm]	40	40	40	40	40	40
Požární odolnost [min] *	105	96	84	98	93	90

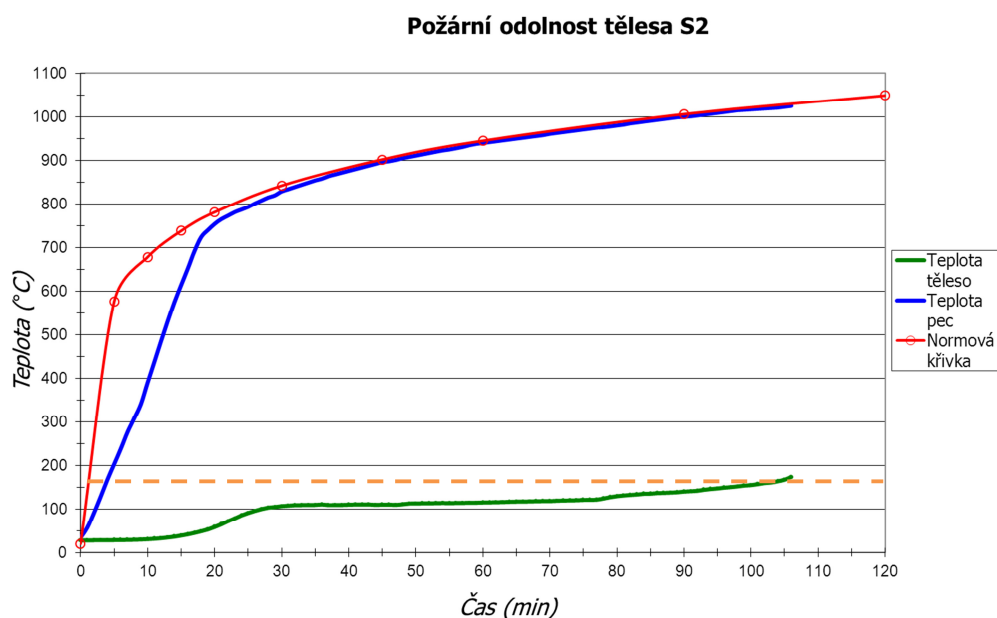
\* čas dosažení 140 °C nad počáteční teplotu

Níže je uvedena ukázka grafické vyhodnocení zkoušek u vybraných vzorků S2 a S4, u ostatních vzorků je vyhodnocení totožné a není potřeba je zde uvádět.

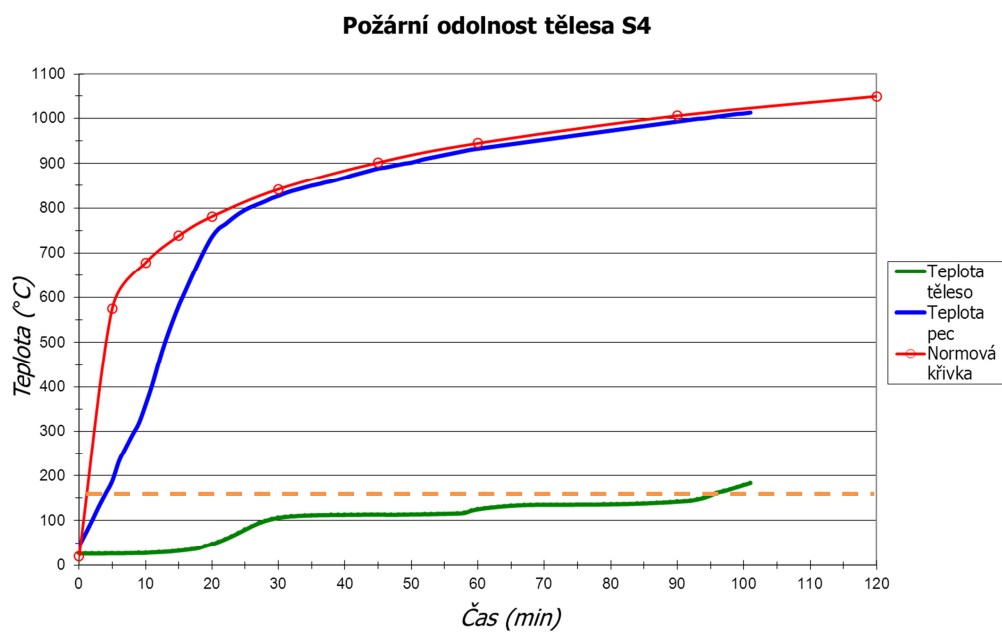
Na obrázcích lze sledovat celkem 4 křivky. Červená je normová křivka nárůstu teploty v peci při zkoušce požární odolnosti, modrá je nárůst teploty v laboratorní peci, která sice nedosahuje počáteční intenzity nárůstu teploty podle normové křivky, nicméně v další fázi zkoušení jí téměř kopíruje. Zelená křivka je teplota povrchu zkoušeného tělesa a v místě, kde ji protíná oranžová čárkovaná přímka lze odečíst hledanou hodnotu požární odolnosti.

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví



Obrázek 3: Grafické vyhodnocení zkoušky požární odolnosti vzorku S2



Obrázek 4: Grafické vyhodnocení zkoušky požární odolnosti vzorku S4

## 4. Závěr

Zkoušení požární odolnosti v laboratorních podmínkách dle vytvořené metodiky se ukazuje být dobrým pomocníkem v porovnávání požární odolnosti jednotlivých vzorků požárně odolných kompozitů. Při zkoušení komerčně dostupných materiálů a následném srovnání získaných hodnot s hodnotami uváděnými výrobcí těchto materiálů byla prokázána vypovídající hodnota uvedeného postupu zkoušení.

## Poděkování

Tento příspěvek byl vypracován v rámci řešení projektu FR-TI1/216. realizovaného za finanční podpory z prostředků státního rozpočtu prostřednictvím Ministerstva průmyslu a obchodu ČR.

## Literatura

- [1] ČSN EN 1363-1 Zkoušení požární odolnosti – Část 1: Základní požadavky. Praha: Český normalizační institut, únor 2000. 44 s.
- [2] FRANK, M.; SMETANOVÁ, L. Metodika zkoušení požární odolnosti v laboratorních podmínkách a výsledky zkoušení vybraných receptur sádrových kompozitů. In: *XVI. MEZINÁRODNÍ KONFERENCE Ekologie a nové stavební hmoty a výrobky*. Telč, 2012. s. 182-185. ISBN 978-80-87397-11-4.

## Kontakt

Ing. MICHAL FRANK, tel: 00420 513 036 088, e-mail: frank@vustah.cz, Výzkumný ústav stavebních hmot, a.s., Hněvkovského 30/65, 617 00 Brno.

Ing. LENKA SMETANOVÁ, Ph.D., tel: 00420 513 036 089, e-mail: smetanova@vustah.cz, Výzkumný ústav stavebních hmot, a.s., Hněvkovského 30/65, 617 00 Brno.

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---



## DIAGNOSTIKA PŮVODU PROBLÉMŮ V KONSTRUKCI DŘEVĚNÉHO VAZNÍKOVÉHO KROVU

### DIAGNOSING THE ORIGIN OF PROBLEMS IN WOODEN ROOF STRUCTURES

**Věra Heřmánková, Ondřej Anton**

VUT v Brně, Fakulta stavební,  
Ústav stavebního zkušebnictví

***Anotace:***

*Nedílnou součástí současných staveb jsou různé typy dřevěných konstrukcí krovů. Příspěvek zachycuje diagnostický průzkum, jehož účelem bylo odhalení příčiny výrazných akustických jevů v nedávno dokončené konstrukci dřevěného vazníkového krovu v objektu rodinného domu.*

***Annotation:***

*Integral parts of present-day constructions are various types of wooden roof structures. This contribution documents a diagnostic survey, whose objective was to find the cause of significant acoustic phenomena in a recently completed wooden roof of a family house.*

***Klíčová slova:*** dřevěná konstrukce, diagnostika

***Keywords:*** wooden structure, diagnostics

## 1. Úvod - charakteristika problému

Předmětem průzkumu byl jednopatrový rodinný domek, jehož střešní konstrukce je tvořená vazníkovým krovem. Domek si stavěl majitel svépomocí, na zhotovení a namontování krovu si sjednal místně renomovanou firmu.

Bezprostředně po dokončení konstrukce krovu si majitel objektu stěžoval na akustické efekty (praskání), ozývající se z konstrukce krovů. Intenzita akustických efektů výrazně převyšovala běžné akustické efekty vyvolávané u dřevěných konstrukcí změnami vlhkosti či teploty. Tento problém navzdory ujištění pracovníka zhotovitele konstrukce neustával, proto se majitel objektu obrátil na zhotovitele se žádostí o nápravu.

Zhotovitel vydal prohlášení, že akustické efekty jsou způsobeny nedostatečným odvětráním prostoru krovů, zároveň bylo ve vyjádření zhotovitele konstatováno že byla "provedena kontrola krovové konstrukce a nebyly shledány závažné neshody ...".

Vzhledem k přetrvávajícím problémům se majitel objektu obrátil na Ústav stavebního zkušebnictví, Fakulty stavební, Vysokého učení technického v Brně se žádostí o místní šetření a případnou expertizu.

Rodinný domek čtvercového půdorysu s 1.NP je zastřešen stanovou střechou tvořenou z dřevěných vazníků. Střecha je z betonové krytiny a od prostoru krovu je oddělena parozábranou. Prostor krovu je od obytných místností oddělen sádkartonovým podhledem a zvukově-tepelnou izolací. Krovová konstrukce je podepřena obvodovou nosnou zdí a cca uprostřed rozpětí střední nosnou zdí. Příčky jsou ukončeny cca 100 mm pod krovovou konstrukcí.

Vlastní střešní konstrukce je tvořena dřevěnými vazníky s ocelovými styčníkovými deskami s prolisovanými trny. Konstrukční prvky jsou dřevěné fošny tl. 50 mm s doplňkovými ztužidlovými panely, fošnami a prkny. Styčníkové desky s prolisovanými trny jsou vyrobeny z oboustranně pozinkovaného ocelového plechu. Dřevěné konstrukční prvky jsou impregnovány.

## 2. Místní šetření

Samotný průzkum předmětné konstrukce proběhl za účasti majitele objektu. Vzhledem k faktu, že jako hlavní příčina byla označena vysoká

vlhkost v prostoru konstrukce krovů daná nevhodným odvětráním, a vzhledem k faktu, že zvýšení odvětrávání krovů bylo majitelem v minulosti vyřešeno úpravou podbití (výměna prken za děrovaný plech umožňující cirkulaci vzduchu v prostoru krovu), byly orientačně stanoveny okamžité hodnoty relativní vzdušné vlhkosti a teploty vzduchu v prostoru krovu, a dále byla stanovena vlhkost dřeva krovové konstrukce a jeho povrchová teplota.

Dále byl v rámci průzkumu ověřen tvar a provedení konstrukce v porovnání s předloženou dokumentací.

## 2.1. Vlhkostní poměry v krovu

Na základě předchozího vyjádření zhotovitele o špatném odvětrání konstrukce krovů jako hlavní příčině akustických efektů konstrukce, provedl majitel objektu opatření, ke zvýšení odvětrání. Ani tato opatření závadné chování krovu neodstranila.

Při prohlídce nebyla v daném okamžiku sledována zvýšená vlhkost prostoru krovu, ani samotného dřeva vazníků. Výsledky okamžitých měření vlhkostí a teplot v době šetření jsou uvedeny v Tabulce 1.

*Tabulka 1.: Výsledky okamžitých měření vlhkostí a teplot v krovu rodinného domku v květnu 2012*

Místo měření	Průměrná naměřená hodnota
Teplota vzduchu v prostoru krovu	17,8°C
Relativní vlhkost vzduchu v prostoru krovu	40,0 %
Teplota povrchu dřeva konstrukce krovu	17,7°C
Vlhkost dřeva konstrukce krovu	11,3 %

### Použité měřicí přístroje

1) Teplota vzduchu a relativní vlhkost vzduchu v prostoru krovu byla měřena datovým loggerem teploty a vlhkosti S3120 COMET. Přístroj je určen k záznamu relativní vlhkosti vzduchu a teploty. Záznam je prováděn do energeticky nezávisle elektronické paměti.

2) Teplota povrchu dřeva byla měřena bezdotykovým infračerveným teploměrem, který je určen k měření teploty povrchu špatně přístupných

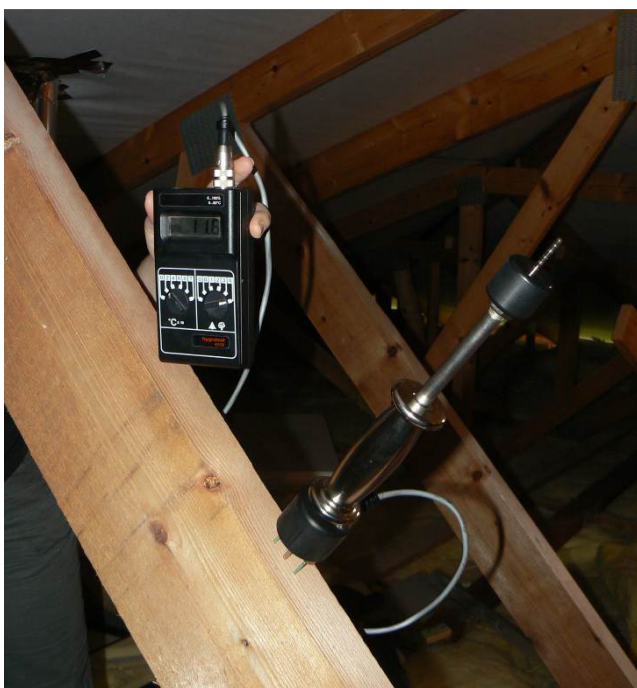
1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

objektů. Měření teploty bezdotykovým teploměrem je založeno na principu vyhodnocování tepelného záření těles. Teploměr snímá vyzařované tepelné vlnění vystupující z povrchu materiálu. K přesnému zaměření místa měření teploty je tento teploměr vybaven zaměřovacím laserem.

3) Vlhkost dřeva byla měřena pomocí odporového přístroje Hygrotest 6500 (Obr. 2.), který využívá elektrický stejnosměrný odpor a vodivost dřeva. Přístroj je doplněn zářecí sondou umožňující stanovit vlhkost až 40 mm pod povrchem zkoušeného materiálu. Tento způsob měření upravuje norma ČSN EN 13183-2 „Vlhkost vzorku řeziva - Část 2: Odhad elektrickou odporovou metodou“ [3].



*Obrázek 1.: Stanovení vlhkosti dřeva předmětné konstrukce přístrojem Hygrotest 6500 se zářecí sondou.*

Je pochopitelné, že okamžité měření nemůže nahradit dlouhodobé sledování, ale zjištěné vlhkosti odpovídají běžným, nijak extrémním hodnotám. Samotná vlhkost dřeva naprosto nenaznačuje, že by dřevo konstrukce bylo vystaveno v blízké minulosti zvýšené vlhkosti.

Vlhkost dřeva udává hmotnostní množství vody ve dřevě vyjádřené v procentech. Podle vlhkosti lze dřevo rozdělit do několika skupin. Obecně se rozlišují tyto stupně vlhkosti dřeva [5]:

- Mokrý dřevo (více než 100%) - dřevo uložené dlouhodobě ve vodě.
- Syrové dřevo čerstvě poraženého stromu (50 - 100%).
- Dřevo sušené dlouhodobě vzduchem v obyčejných podmínkách (15 - 20%).

- Dřevo sušené ve vytápěných místnostech (8 - 10%).
- Absolutně suché dřevo, sušené v sušárnách (0%).

V okamžiku nazývaném **mez nasycení buněčných stěn** má dřevo všechnu vodu vázanou v buněčných stěnách. Jakmile se začne vypařovat (cca při 30% v závislosti na druhu dřeva), dochází k významným vlivům na vlastnosti dřeva. Voda se vypařuje tak dlouho, pokud nenastane tzv. **stav vlhkostní rovnováhy**. Tento stav je charakteristický tím, že určitá teplotě a vlhkosti vzduchu odpovídá určitá hodnota vlhkosti dřeva (rovnovážná vlhkost).

**Praskání dřeva v souvislosti s vlhkostí je důsledek** vnitřních napětí ve dřevě, způsobených nerovnoměrným **vysycháním dřeva**. Protože na povrchu dřevo vysychá rychleji a uvnitř pomaleji, vzniká na povrchu dřeva tahové napětí. Vnitřní vrstvy jsou tak vystaveny tlakovému napětí. Pokud tahové napětí překročí mez pevnosti v tahu, dřevo praskne a vzniká povrchová výsušná trhлина směřující od povrchu ke dřeni. V dalším průběhu se děje opačný postup. Vlivem vysychání vnitřní části jsou tlakovému napětí vystaveny povrchové vrstvy, které však již rozměry nemění. Tahové napětí vzniká uvnitř, takže se mohou vytvořit vnitřní výsušné trhliny. V této fázi se povrchové trhliny částečně uzavírají.

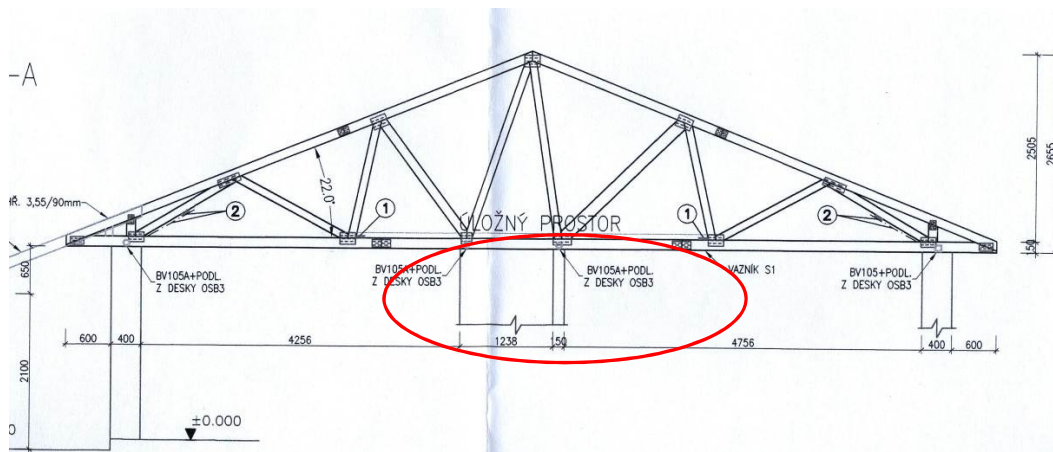
**Tudíž je poněkud diskutabilní tvrzení v dokumentech zhotovitele o příčinách akustických efektů v souvislosti s vysokou vlhkostí. Akustické efekty by se projevíly v případě střídání vlhkosti, při zvýšené vzdušné vlhkosti by dřevo nevysychalo a nepraskalo.**

## 2.2. Ověření tvaru a provedení konstrukce

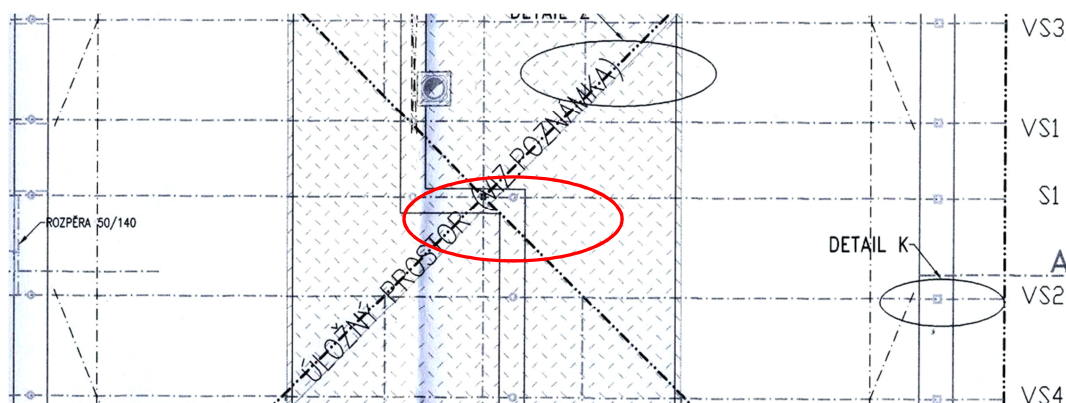
Bylo provedeno porovnání tvaru konstrukce krovu s předloženou projektovou dokumentací.

Při porovnávání byl zjištěn zásadní problém, týkající se středového vazníku. V projektové dokumentaci je vazník navržen tak, že jeho konstrukce je jistým způsobem asymetrická. Důvodem asymetrie je to, aby byl vazník správným způsobem podepřen, kromě uložení na obvodovou nosnou zeď mají být dva střední styčníky podepřeny uložení na střední nosnou zeď v objektu. Způsob navrženého uložení je dobře patrný z Obr. 2 a Obr. 3. Z výkresů je zároveň patrné, že střední část vazníku mezi oběma styčníky měla být umístěna nad příčnou částí střední nosné zdi.

V technické zprávě prováděcího projektu je zcela jasně uvedeno, že „Vazníky budou podepřeny a kotveny pouze v těch místech, kde jim byly definovány podpory.“



Obrázek 2.: Řez krovem, pohled na středový vazník S1 - zvýrazněn způsob podepření uvedený v projektu.



Obrázek 3.: Půdorys části krovu se středovým vazníkem S1 - zvýrazněn způsob podepření uvedený v projektu.

Zkoumáním konstrukce byly zjištěny dva zásadní problémy. Prvním je fakt, že asymetrický vazník byl při montáži otočen o 180° a druhý, že současně nebyla dodržena poloha vazníku nad příčnou částí střední nosné zdi. Následkem tohoto se ocitly styčníky, ve kterých měl být uložen, zcela mimo nosnou zeď a **vazník je v současné době zatížen mimostyčně!!!** (Obr. 4.). Tato situace se zákonitě projevuje na statické konstrukci krovu, a je příčinou atypického silového působení v konstrukci krovu, s čímž mohou být částečně spojeny i akustické efekty, které by se u správně provedené konstrukce patrně neprojevily.



*Obrázek 4.: Dobře patrná skutečná poloha středního vazníku konstrukce, kdy je vazník umístěn zcela mimo příčnou část střední nosné zdi.*

Vzhledem ke zjištění tohoto zásadního nedostatku při porovnání výkresové dokumentace s reálnou podobou konstrukce byly zjištěné okolnosti předány statikům k posouzení závažnosti problému. Statickým přepočtem bylo zjištěno, že některé pruty středového vazníku, uloženého jinak než předpokládal projekt, hrubě nevyhoví.

#### 4. Závěr

Závěrem bylo konstatováno:

- Lze vyloučit tvrzení prováděcí firmy, že rázy jsou způsobovány nadměrnou vlhkostí v podstřeší.
- **Přetížení vazníku** (například větší vrstvou sněhu na střešní konstrukci) **může vyvolat i havárii.**
- Akustické efekty je tedy možné přisoudit nevhodnému uspořádání podpor – tj. vazeb v místech uložení a jeho nadměrně namáhanými

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

pruty. S největší pravděpodobností při tepelné dilataci stavby (ráno a večer) dojde k drobnému rychlému posuvu jednoho vazníku v uložení (úhelníky a trny), následně pak v dominovém efektu se uvolňují další vazníky jeden po druhém a vyvolávají za sebou následující nežádané rány.

Akustické efekty v konstrukci s nejvyšší pravděpodobností vznikají nevhodným podepřením vazníku, které neodpovídá schválenému projektu. S tímto závěrem byla seznámena prováděcí firma, která přislíbila nápravu – zesílení dotyčného vazníku ocelovými příložkami.

## Poděkování

Tento příspěvek vznikl za podpory centra kompetence TAČR TE01020168, s názvem "Centrum pro efektivní a udržitelnou dopravní infrastrukturu (CESTI)"

## Literatura

- [1] ČSN ISO 13822 Navrhování stavebních konstrukcí - Hodnocení existujících konstrukcí
- [2] Pume, D., Čermák, F. a kol.: Průzkumy a opravy stavebních konstrukcí, Praha, Arch, 1993
- [3] ČSN EN 13183-2 „Vlhkost vzorku řeziva - Část 2: Odhad elektrickou odporovou metodou“
- [4] ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí- Část 1-1: Obecná zatížení
- [5] ŠKÁRA, Ivan. Materiály a technologie: dřevo. Brno: Masarykova univerzita v Brně, 1996

## Kontakt

Ing. VĚRA HEŘMÁNKOVÁ, Ph.D., tel: 00420 541 147 817, e-mail: hermankova.v@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. ONDŘEJ ANTON, Ph.D., tel: 00420 541 147 823, e-mail: anton.o@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.



## MOŽNOSTI VYUŽITÍ ODPADNÍCH MATERIÁLŮ Z VÝROBY MINERÁLNÍ VLNY PRO VÝROBU TENKOSTĚNNÝCH BETONOVÝCH PRVKŮ

## UTILIZATION POSSIBILITIES OF WASTE MATERIALS FROM PRODUCTION OF MINERAL WOOL FOR PRODUCTION OF THIN-WALLED CONCRETE ELEMENTS

**Ivana Chromková, Pavel Leber, Lubomír Zavřel**

Výzkumný ústav stavebních hmot, a.s., Brno

***Anotace:***

*Příspěvek popisuje výzkum využití tuhých odpadů vznikajících při výrobě minerální vlny. Cílem je ověřit nejvhodnější způsob zapracování tohoto materiálu do betonové směsi a stanovit maximální množství jeho přídavku do hmoty, které nebude mít nežádoucí vliv na sledované fyzikálně mechanické vlastnosti výsledného betonového výrobku.*

***Annotation:***

*The paper describes a research on utilization of solid wastes from production of mineral wool. The aim is verification of suitable way of utilization of this material in concrete mixtures and evaluation of its maximal amount without negative influence on physical-mechanical characteristics of the final concrete element.*

***Klíčová slova:*** *minerální vlna, odpad z výroby, beton, betonové zdící prvky*

***Keywords:*** *mineral wool, waste, concrete, concrete masonry elements*

## 1. Úvod do problematiky výroby minerálního vlákna

Minerální vlna se vyrábí z vyvřelých hornin – nejčastěji z čediče. Technologický princip výroby spočívá ve vytvoření taveniny z minerálních surovin v kupolové peci. Roztavená hornina z ní vytéká nebo je vstříkována na rozvlákňovací stroje (tj. roztočený buben, z něhož odlétávají kapky). Ty se rychlostí protáhnou a zchladnou (vlákna mají průměr pouhých 6-10  $\mu\text{m}$ ). Pro dosažení tvarové stability jsou vlákna v dalších fázích výroby vázána pojivem – vodným roztokem fenolformaldehydové pryskyřice (její množství je 1 až 3 % podle požadované mechanické pevnosti).

Vlákna jsou „navrstvena“ do jakési rohože a v této podobě pak probíhá proces vytvrzování – zpevnění v „peci“ (resp. vytvrzovací komoře) působením horkého vzduchu. Po vychlazení vytvrzeného pásu minerální vlny dochází na dělicí lince k rozřezání na díly požadovaných rozměrů, příp. k dalším speciálním úpravám finálního produktu.

V průběhu výroby minerální vlny vzniká jisté procento odpadu. Odpadní produkt z některých fází výroby lze přímo ve výrobě upravit smísením s cementem a lisováním pod tlakem do forem. Takto vzniklé brikety jsou opětovně využity jako vstupní surovina do tavící pece [4].

Odpad z jiných míst výrobní linky se však takto využít nedá. Jedná se jednak o odpad po ořezání minerální rohože po vytvrzení v peci, ale i o materiál, který odpadává v procesu rozvlákňování. Tento odpad je tvořen dvěma složkami, a to nestejnorodými chomáči minerální vlny (různé velikosti, tvarů, propojení) a minerálního písku, který obsahuje menší či větší kaménky čedičového skla – tzv. granálie.

## 2. Studie možnosti aplikace minerálních vláken do betonu

Vlákna jsou obecně do betonu přidávána za účelem zvýšení užitných vlastností betonu, především zvýšení pevnosti v tahu a tahu za ohybu, mrazuvzdornosti a trvanlivosti, odolnosti proti nárazu, smykového namáhání, houževnatosti betonu aj.

Do konstrukčních betonů jsou běžně používána vlákna ocelová, na výrobu tenkostěnných kompozitních materiálů s cementovou maticí jsou používána vlákna polypropylenová a skelná.

Pro širší používání čedičových vláken do betonu hovoří výsledky výzkumu popsaného v literatuře [1], která pojednává o ověřování čedičových vláken a čedičové tkaniny jako výztužného materiálu do betonu. V úvodních testováních byla pro posouzení technologické vhodnosti použití vláken do betonu porovnávána čedičová, skleněná a uhlíková vlákna. Ta byla ponořena do alkalického roztoku a byly sledovány charakteristické parametry – úbytek hmotnosti a pevnost v tahu vláken. Nejvíce se pevnost a hmotnost snížila u skleněných vláken. Nejlépe vyzněly výsledky pro vlákna čedičová, která si udržela nejvyšší pevnost. U vláken uhlíkových byl zaznamenán nejnižší úbytek hmotnosti. Dále je popisován experiment, při němž byla jako výztuž do betonu použita tkanina z čedičových vláken, přičemž byl zkoumán vliv tkaniny na pevnost v tahu za ohybu. Tkanina byla použita v jedné, dvou a třech vrstvách. Nejlepší výsledek byl zjištěn při použití dvou vrstev tkaniny.

Podle [2] byla ověřována aplikace čediče do betonu ve formě prutů a rovingu. Při tomto experimentu byly provedeny zkoušky pevnosti v tlaku a tahu za ohybu. Při použití těchto výztuží byla u betonu zaznamenána až 3krát větší pevnost oproti betonu bez výztuže.

Z dostupných studií vyplynulo, že použití čedičových vláken do betonu jako náhrady za vlákna skleněná či ocelová je výhodné nejen po stránce technologické, ale i z ekonomického hlediska.

### **3. Experimentální část**

#### **3.1. Popis zkoušeného odpadního materiálu**

Do našich laboratoří byly dodány vzorky odpadního produktu z výroby minerální vlny. Jednalo se jednak o odřezky z minerální rohože po jejím vytvrzení a současně o odpadní materiál vzniklý v procesu výroby před vstupem do vytvrzovací komory – chomáče minerální vlny znečištěné granáliemi. Laboratorními úpravami byly vzorky minerální vlny rozplaveny a granálie odseparovány. Minerální vlna i granálie byly jako vstupní materiál při laboratorních zkouškách a experimentech ověřovány odděleně.

Odpadní minerální vlna v neupraveném stavu je znázorněna na následujícím obrázku.



*Obrázek 1.: Znečištěné chomáče odpadní minerální vlny s granáliemi*

### **3.2. Směry využití odpadní vlny a granálií**

Řešení projektu bylo rozděleno do několika okruhů, které mají ověřit vhodnost využití odpadní vlny a granálií.

Jedná se o možnost využití do:

- Samonivelačních směsí
- Tenkostěnných vláknobetonových prvků
- Tenkovrstvých betonových tvarovek
- Tepelně izolačních desek

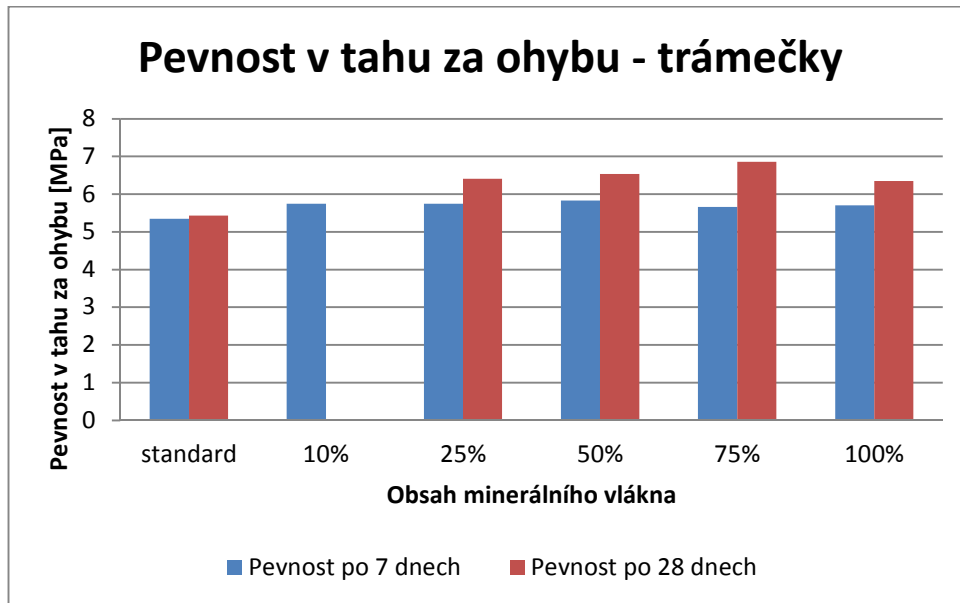
### **3.3. Ověřování aplikace odpadní vlny do betonu**

Jedním z okruhů řešení je ověřování přídavku minerální vlny do betonové směsi se zaměřením na vibrolisované tenkostěnné betonové výrobky.

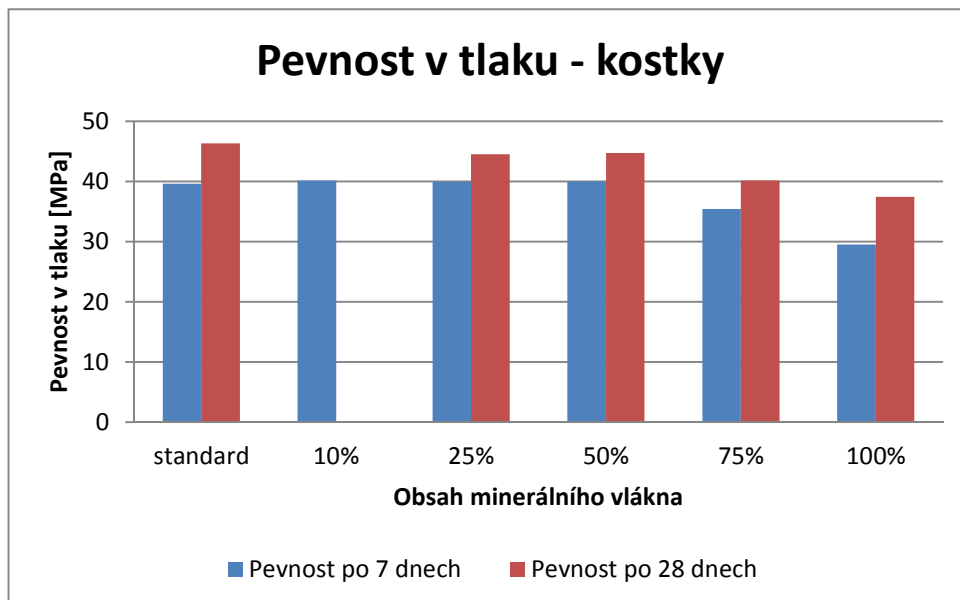
Vibrolisování je kombinovaný způsob zhutňování, při němž je betonová směs vibrována za současného působení dolisovacího přítlaku [3]. To představuje důraz na přípravu betonové směsi velmi suché konzistence (běžnými metodami prakticky neměřitelné) s vodním součinitelem 0,3 až 0,36. Použití speciálních přísad umožňujících lepší a rychlejší zhutnění je proto nezbytné.

V úvodu experimentální části tohoto okruhu bylo nutno navrhnout a ověřit standardní betonovou směs vhodnou pro zmíněný způsob zpracování. Dále byly vyrobeny betonové směsi s obsahem 10, 25, 50, 75 a 100 % (obj.) čedičového vlákna, která tvořila objemový přídavek ke standardní betonové směsi (ve výpočtu dávky byla zohledněna výrazně odlišná objemová hmotnost čedičového vlákna).

Na standardních zkušebních tělesech – kostkách o rozměrech 150×150×150 mm a trámečcích o rozměrech 40×40×160 mm – byly stanoveny hodnoty fyzikálně mechanických vlastností betonové hmoty. Přehled výsledků je uveden v následujících grafech:



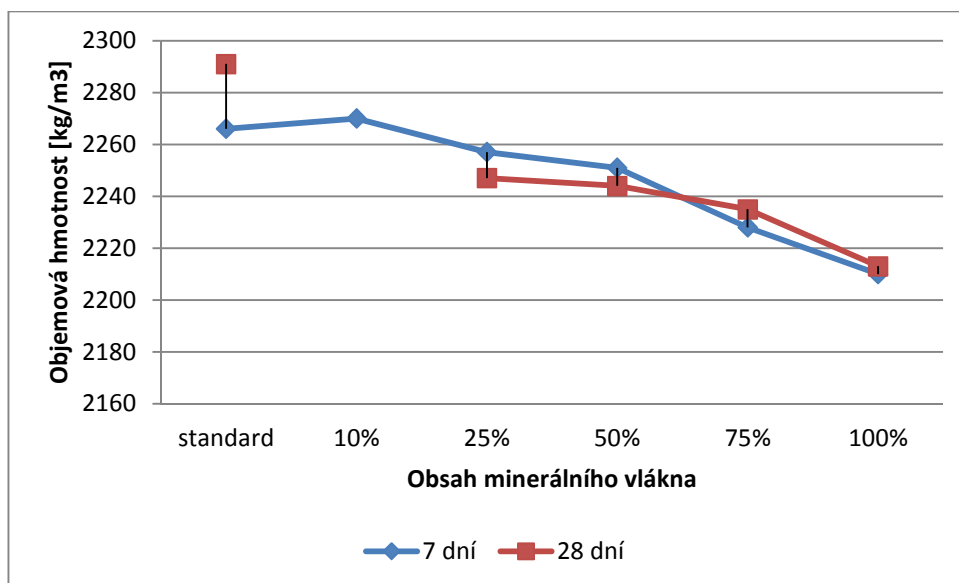
Graf 1.: Pevnost v tahu za ohybu betonů s přídavkem minerální vlny



Graf 2.: Pevnost v tlaku betonů s přídavkem minerální vlny

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví



Graf 3.: Objemová hmotnost betonů s přidavkem minerální vlny

### 3. Závěr

Z dosavadních výsledků laboratorního ověřování lze konstatovat, že využití odpadu z výroby minerálních vláken pro vibrolisované výrobky je možné. Přidavkem minerálního vlákna do betonové směsi došlo ke zvýšení pevnosti v tahu za ohybu betonu. Ve srovnání se standardním betonem vykazovaly nejlepší fyzikálně mechanické vlastnosti zkušební vzorky s obsahem 50 % obj. minerálního vlákna.

Ze zkušeností, které jsme získali při zapracování odpadní minerální vlny do betonové směsi, je možné soudit, že pro výrobu vibrolisovaných tvarovek by bylo vhodné použití netříděného odpadního materiálu, tj. vlny s granáliemi. Tímto by při úpravě odpadního materiálu došlo k vyloučení procesu čištění vlny a separace granálií, což je značně energeticky náročný technologický krok.

### Poděkování

Tento článek byl vytvořen za podpory Technologické agentury ČR v rámci řešení projektu TA 02021147 – *Výzkum a vývoj optimálních environmentálně šetrných technologií pro nové a progresivní využití tuhých odpadních materiálů z výroby minerální vlny.*

## Literatura

- [1] SIM, J.; PARK, C.; MOON, D. Y.: Characteristics of basalt fiber as a strengthening material for concrete structures. In Composites Part B: Engineering. 36 (6-7). 2005. p. 504 - 512.
- [2] *Onlinepubs* [online]. 1997 [cit. 2009-11-05]. IDEA Innovations Deserving Exploratory Analysis Project. Dostupné z WWW: <[http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/archive/studies/idea/finalreports/highway/NCHRP025\\_Final\\_Report.pdf](http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/archive/studies/idea/finalreports/highway/NCHRP025_Final_Report.pdf)>.
- [3] HELA, R.: Technologie stavebních dílců. 2001. ISBN 80-214-1991-1.
- [4] BADALOVÁ, M.; DOBROVOLNÁ, J.: Recyklace minerálních vláken z odpadů. 5. *Odborná konference doktorského studia s mezinárodní účastí*. Brno 2003, p. 17-20. Dostupné z WWW: <<http://www.fce.vutbr.cz/veda/dk2003texty/pdf/1-2/rp/badalova.pdf>>.
- [5] *Basaltex* [online]. 2007 [cit. 2013-08-10]. Zpracování nekonečných čedičových vláken do technických výrobků. Dostupné z WWW: <<http://www.basaltex.cz/>>.
- [6] *Saint Gobain/ISOVER* [online]. 2013 [cit. 2013-08-10]. Technické a průmyslové izolace. Dostupné z WWW: <<http://www.isover.cz>>.

## Kontakt

Ing. IVANA CHROMKOVÁ, tel: 00420 513 036 089, e-mail: [chromkova@vustah.cz](mailto:chromkova@vustah.cz), Výzkumný ústav stavebních hmot, a.s., Brno, Hněvkovského 30/65, 617 00 Brno.

Ing. PAVEL LEBER, tel: 00420 513 036 088, e-mail: [leber@vustah.cz](mailto:leber@vustah.cz), Výzkumný ústav stavebních hmot, a.s., Brno, Hněvkovského 30/65, 617 00 Brno.

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---



## SKÚSENOSTI Z DIAGNOSTIKY POZEMNÝCH KOMUNIKÁCIÍ

### EXPERIENCES IN ROAD PAVEMENT DIAGNOSTICS

**Martin Korenko, Peter Blažek, Branislav Kubík,  
Adrián Čelko, Marián Blažek**

INSET s.r.o.

***Anotace:***

*Za krátku dobu, čo sa venujeme diagnostike pozemných komunikácií sa stala malou ale pevnou súčasťou nášho profesného života. Pri práci sme zažili rôzne situácie, stretli sme špičkových odborníkov ale aj odborníkov takzvaných. V príspevku by sme sa o naše skúsenosti z tejto oblasti radi podelili.*

***Annotation:***

*We have dealt with road pavement diagnostics shortly but it has become the important part of our professional activities. We have experienced different situations and problems. We have met some excellent specialists in this field but also few "so called" professionals. In this text we share our experiences with problems of pavements in use.*

***Klíčová slova:*** Diagnostika pozemných komunikácií

***Keywords:*** Road pavement diagnostics

## 1. Úvod

Či už na Slovensku alebo v Čechách, poruchy vozoviek pozemných komunikácií sa z času na čas vyskutujú. Majitelia resp. správcovia týchto ciest mnohokrát vedia alebo minimálne tušia kde má ich vozovka problém, ale svoje domnienky nemôžu realizátorskej firme predkladať ako podklad pre reklamáciu vozovky, ktorá má v niektorých prípadoch len pár mesiacov.

Rovnako sa stáva, že majiteľ alebo správca komunikácie, ktorý sa o tú svoju cestu stará často s vypätím všetkých finančných a psychologických prostriedkov má občas pocit, že tie ťažké nákladiaky firmy XY, ktoré používajú jeho cestu, navrhnutú a postavenú pre miestnu dopravu, dávajú jeho ceste poriadne zabráť. Jeho pocit mu opäť nepostačuje na to, aby mohol na príslušnom policajnom oddelení požiadať o umiestnenie dopravnej značky obmedzujúcej alebo zakazujúcej prejazd ťažkých nákladných vozidiel.

Na základe takýchto požiadaviek sa za ostatných pár rokov zaoberáme diagnostikou existujúcich vozoviek s cieľom odhaľovať príčiny porúch vo vozovkách.

## 2. Poruchy vo vozovkách

Zjednodušený prehľad porúch vyskytujúcich sa vo vozovkách:

Na povrchu vozovky: strata drsnosti, rozpad povrchu, výtlky.



*Obrázok 1. Príklad výtlku*

V kryte vozovky: trhliny priečne, pozdĺžne, sieťové, trvalé deformácie



*Obrázok 2. Príklad pozdĺžnej trhliny v kryte*

V konštrukčných podkladových vrstvách: trvalé deformácie, prelomenie vozovky, olámané okraje



*Obrázok 3. Príklad veľkého poklesu vplyvom zlých konštrukčných vrstiev pod krytom*

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

Vyššie uvedené poruchy sú dôsledkom chýb pri navrhovaní, realizácii alebo údržbe komunikácií. Z vizuálnej prehliadky je pri určitých skúsenostiach možné odhadnúť príčinu vzniku tej ktorej poruchy, ale našim cieľom je zistiť príčiny vzniku porúch objektívnejšie, z rukolapnejších výsledkov konkrétnych meraní.

## 2. Postup diagnostiky vozovky

Pri diagnostike vozoviek využívame známe a overené prieskumné a meracie metódy, ktoré realizujeme v zmysle platných noriem a predpisov.

### 2.1. Meranie únosnosti konštrukcie vozovky ako celku

Špecializované meracie prístroje - FWD Falling Weight Deflectometer – SR - FWD Kuab (Cestná databanka SSC), ČR - viacero firemných deflektometrov (+ Deflektograf Silniční Databanky ŘSD)



Obrázok 4. Príklad merania – Kuab FWD

Výsledok – hneď na mieste vytipujeme najmenej únosné miesta na vozovke na základe hodnôt priehybov resp. ekvivalentného modulu celej vozovky. Z nameraných priehybových kriviek je hneď možné odhadnúť, či je problém v kryte, podklade alebo podloží, čo je pre nás prvým vodiťkom.

## 2.2. Analýza najmenej únosných miest

Pri analýze najmenej únosných miest volíme jednu z dvoch možností, podľa toho do akej miery je správca komunikácie ochotný nechať si vrátať do vozovky:

A) Kopaná sonda z boku vozovky (v krajnici) v kombinácii s vývrtom asfaltových vrstiev krytu – dokumentácia hrúbok vrstiev a odber vzoriek na laboratórnu analýzu pre stanovenie druhu materiálu vrstiev.



*Obrázok 5 .Príklad zistených vrstiev vozovky  
v kopanej sonde z boku vozovky (v krajnici)*

B) Kopaná sonda vo vozovke – vo výreze asfaltových vrstiev. Umožňuje zistenie únosnosti podkladových vrstiev a podložia priamo vo vozovke a zároveň aj dokumentáciu hrúbok vrstiev a odber vzoriek na laboratórnu analýzu pre stanovenie druhu materiálu vrstiev.

Únosnosť zisťujeme kombináciou Statickej zaťažovacej skúšky a Dynamickej zaťažovacej skúšky ľahkou dynamickou doskou (LDD100)

1. – 2. října 2013

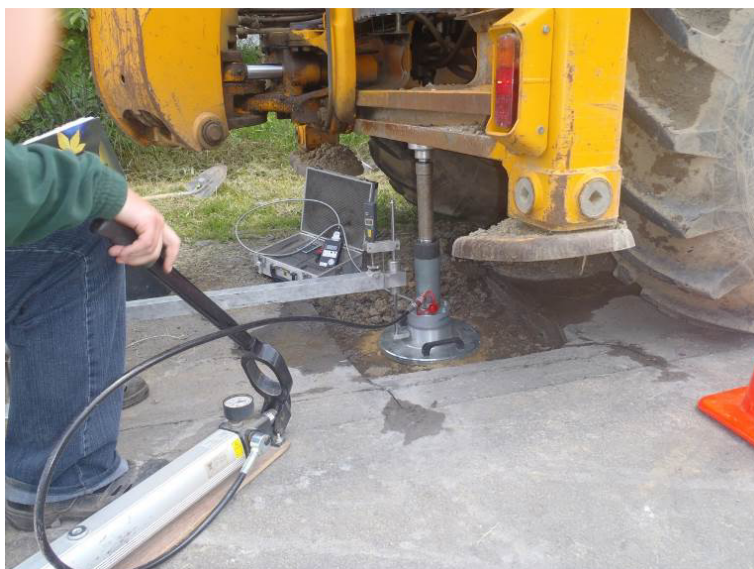
VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---



*Obrázok 6 .Príklad podkladovej vrstvy vozovky pod vyrezaným krytom*

V niektorých prípadoch sa bezprostredne pod krytom nachádza zmes materiálov pochybnej kvality a pochybného zhutnenia.



*Obrázok 7 .Príklad realizácie SZS vo výreze*

V niektorých prípadoch sa nám pri statickej zaťažovacej skúške na vrstve tesne pod krytom podarilo namerať hodnoty  $E_{def,2}$  na úrovni do 20 MPa...



*Obrázok 8 .Príklad realizácie skúšky ľahkou dynamickou doskou v kopanej sonde*

Aj modul pružnosti ľahkou dynamickou doskou na podkladových vrstvách sa niekedy zadarí okolo 8 MPa...

### **2.3. Georadarové meranie**

Po realizácii kopaných sa úsek premeria georadarom pre získanie prehľadu o hrúbkach krytu, podkladu a hĺbky podložia na celom skúmanom úseku.



*Obrázok 9 .Príklad georadarového merania*

## **2.4. Laboratorné analýzy**

Vzorky dávame na analýzu do laboratória, kde sa realizujú základné skúšky jednotlivých materiálov:

- Vzorky asfaltových zmesí – extrakcia, rozbor zrnitosti, druhu a množstva spojiva – zistenie typu asfaltovej zmesi
- Vzorky nestmelených podkladových vrstiev - zrnitosť, kvalita zrn, posúdenie zhutniteľnosti z krivky zrnitosti, namrzavosť– zistenie druhu materiálu
- Vzorky podložia - zrnitosť, namrzavosť, konzistencia – zistenie druhu zeminy

## **2.5. Výsledky diagnostiky**

- Prehľad zloženia konštrukcie vozovky a podložia – hrúbky vrstiev kontinuálne na celom úseku, materiály vrstiev a podložia z miest s najnižšou únosnosťou – zistená realita sa dá porovnať s projektovou dokumentáciou
- Prehľad únosnosti resp. kvality zhutnenia nestmelených konštrukčných vrstiev a podložia – zistená realita sa dá porovnať s požiadavkami na únosnosť v projektovej dokumentácii alebo v príslušných technických predpisoch a normách.
- Orientačný návrh opravy úseku na základe vyhodnotenia meraní FWD – podklad pre projekt opravy alebo rekonštrukcie

## **3. Záver**

V našom článku v krátkosti predstavujeme diagnostické postupy a metódy, ktoré používame pri hľadaní príčin vzniku porúch na existujúcich vozovkách. Náklady na takúto diagnostiku sú v porovnaní s improvizovanými a krátkodobými stavebnými riešeniami nízke a výsledok často stojí za to.

Keď dokážeme zistiť príčinu vzniku porúch, návrh opravy už nie je tápaním a opravu alebo rekonštrukciu je možné navrhnúť efektívne.

## **Podakovanie**

Organizátorom konferencie



## Literatura

- [1] TP 02/2002 Katalóg porúch asfaltových vozoviek, SSC Bratislava, 06/2002
- [2] TP 13/2006 Vykonávanie a vyhodnocovanie podrobných vizuálnych prehliadok asfaltových vozoviek, MDPaT, 06/2006
- [3] TP 01/2009 Meranie a hodnotenie únosnosti asfaltových vozoviek pomocou zariadenia FWD KUAB, MDPaT, 12/2008
- [4] STN 73 6133 Stavba ciest. Teleso pozemných komunikácií, SUTN 04/2010

## Kontakt

Ing. MARTIN KORENKO, Ph.D., tel: 00421 907 686 194, e-mail: korenko.martin@inset.com, Inset s.r.o., Bytčická 72, 010 01 Žilina, SR.

Ing. BLAŽEK PETER, Ph.D., tel: 00421 908 227 886, e-mail: blazek.peter@inset.com, Inset s.r.o., Bytčická 72, 010 01 Žilina, SR.

Ing. KUBÍK BRANISLAV, tel: 00421 903 859 594, e-mail: kubik.branislav@inset.com, Inset s.r.o., Bytčická 72, 010 01 Žilina, SR.

Ing. ČELKO ADRIÁN, tel: 00421 905 559 151, e-mail: celko.adrian@inset.com, Inset s.r.o., Bytčická 72, 010 01 Žilina, SR.

BLAŽEK MARIÁN, tel: 00421 917 769 373, e-mail: blazek.marian@inset.com, Inset s.r.o., Bytčická 72, 010 01 Žilina, SR.

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

**ZÁVISLOSŤ SÚČINITEĽA DIFÚZIE VODNEJ PARY  
OD VLHKOSTI – EFEKT POUŽITIA  
PREDPOKLADU KONŠTANTNEJ HODNOTY  
SÚČINITEĽA V MERANEJ VZORKE**

**WATER VAPOUR PERMEABILITY MOISTURE  
DEPENDENCE – EFFECT OF USING  
ASSUMPTION OF CONSTANT PERMEABILITY  
VALUE WITHIN MEASURED SAMPLE**

**Ol'ga Koronthályová**

Ústav stavebníctva a architektúry SAV

***Anotace:***

*Pri štandardnom určovaní súčiniteľa difúzie vodnej pary miskovými metódami sa predpokladá, že jeho hodnota je vo vzorke konštantná a zodpovedá priemernej hodnote použitých relatívnych vlhkostí (RH). Príspevok kvantifikuje vplyv tohto zjednodušenia na výslednú závislosť súčiniteľa od RH pre niektoré stavebné materiály.*

***Annotation:***

*Standard determination of water vapour permeability by cup methods assumes that the value is constant within the measured sample and corresponds to the average value of the applied relative humidity (RH) values. Paper quantifies effect of this simplification on the resultant vapour permeability vs. RH dependence for some building materials.*

***Kľúčové slová:*** *Stavebné materiály, faktor difúzneho odporu, vlhkosťná závislosť, misková metóda, nelineárne rozloženie vlhkosti.*

***Keywords:*** *Building materials, water vapour resistance factor, moisture dependence, cup method, non-linear water distribution.*

## 1. Úvod

Difúzia vodnej pary v kapilárno-pórovitých materiáloch nastáva pri existencii gradientu parciálneho tlaku vodnej pary. Pri nižších relatívnych vlhkostiach sa molekuly vody nachádzajú na povrchoch pórov v monomolekulárnej vrstve a sú pomerne pevne viazané na povrch pórov. Pri vyšších relatívnych vlhkostiach sa na monomolekulárnu vrstvu ukladajú ďalšie vrstvy, ktoré už nie sú až tak pevne viazané a to umožňuje pri existencii gradientu relatívnej vlhkosti (RH) ich povrchový tok, ktorý má pri izotermických podmienkach smer totožný s difúziou vodnej pary. Na rozdiel kapilárneho toku vody však povrchový tok nastáva už v hygroskopickkej oblasti. Pri izotermickom meraní súčiniteľa difúzie vodnej pary sa tok vodnej pary difúziou a povrchový tok nedajú oddeliť, a preto nameraný súčiniteľ difúzie vodnej pary závisí od aktuálneho množstva vlhkosti, ktoré sa v stavebnom materiáli vyskytuje. Závislosť súčiniteľa difúzie vodnej pary od relatívnej vlhkosti je možné použiť pri výpočtoch izotermického vlhkostného stavu materiálu v hygroskopickkej oblasti a to v prípadoch jednoznačného vzťahu medzi vlhkosťou stavebného materiálu a RH (ako je napríklad izotermické vysychanie resp. navlhčenie alebo aj cyklické zmeny RH v materiáloch so zanedbateľnými hysteréznymi efektami) [1, 2].

Pri štandardnom určovaní súčiniteľa difúzie vodnej pary miskovými metódami sa zjednodušene predpokladá, že hodnota súčiniteľa difúzie vodnej pary je v rámci meranej vzorky konštantná a zodpovedá hodnote relatívnej vlhkosti, vypočítanej ako priemer z aktuálnych relatívnych vlhkostí na povrchoch vzorky. Príspevok sa venuje kvantifikovaniu vplyvu použitia tohto zjednodušeného predpokladu na výslednú vlhkostnú závislosť súčiniteľa. Pri analýze sa použili merania súčiniteľa difúzie vodnej pary pre nasledujúce rozdiely relatívnych vlhkostí: 0 – 53%, 53 – 85%, 53 – 94% a 53 – 100%. Analýza bola robená pre plné pálené tehly a tepelnoizolačný materiál kalcium silikát (CS).

## 2. Použité metódy

### 2.1. Určovanie závislosti súčiniteľa difúzie vodnej pary od relatívnej vlhkosti štandardnou miskovou metódou

Súčiniteľ difúzie vodnej pary testovaných materiálov bol určovaný štandardnou metódou suchej a mokrej misky [3], ktorá je založená na

Tabuľka 1.: Základné fyzikálne parametre testovaných materiálov

Materiál	Objemová hmotnosť [kg/m <sup>3</sup> ]	Otvorená pórovitosť [-]	Hrúbka vzorky [m]
Tehla P	1377	0.42	0,0265
Tehla D	1710	0.33	0,0227
CS	200	0.90	0,04

meraní izotermického stacionárneho toku vodnej pary cez testovanú vzorku:

$$G = -\delta_p \frac{A \cdot \partial p_v}{\partial x} = -\frac{\delta_a \cdot A \cdot p_{vsat}}{\mu} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial x} = \frac{\delta_a \cdot A \cdot p_{vsat}}{\mu} \cdot \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d} \quad (1)$$

kde G je stacionárny tok vodnej pary cez vzorku [kg/s],  $\delta_p$  je súčiniteľ difúzie vodnej pary [s],  $p_v$  je parciálny tlak vodnej pary [Pa], A je plocha vzorky [m<sup>2</sup>], d je hrúbka vzorky [m],  $\delta_a$  je súčiniteľ difúzie vodnej pary vo vzduchu [s],  $\mu$  je faktor difúzneho odporu,  $p_{vsat}$  je parciálny tlak nasýtenej vodnej pary pri teplote merania,  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  sú relatívne vlhkosti vzduchu na oboch stranách vzorky.

Pri predpoklade konštantnej hodnoty súčiniteľa difúzie vodnej pary v rámci meranej vzorky sa nameraná hodnota súčiniteľa difúzie vodnej pary resp. faktora difúzneho odporu priraduje priemernej hodnote relatívnej vlhkosti vzorky  $\varphi_{12} = 0,5 \cdot (\varphi_1 + \varphi_2)$ .

Analýza bola robená pre plné pálené tehly a tepelnoizolačný materiál kalcium silikát. Základné fyzikálne parametre týchto materiálov sú uvedené v Tab. 1. Všetky merania difúzie vodnej pary prebiehali v klimatizovanom laboratóriu pri teplote 23°C. Namerané hodnoty faktora difúzneho odporu sú uvedené v Tab. 2 a na Obr. 1 – 3.

Nameranú závislosť faktora difúzneho odporu od relatívnej vlhkosti vzduchu možno spravidla aproximovať funkciami [4]:

$$\mu = \frac{1}{a + b \cdot \exp(c \cdot \varphi)} \quad (2)$$

alebo

$$\mu = \frac{1}{a + b \cdot \varphi^c} \quad (3)$$

kde a, b, c sú parametre

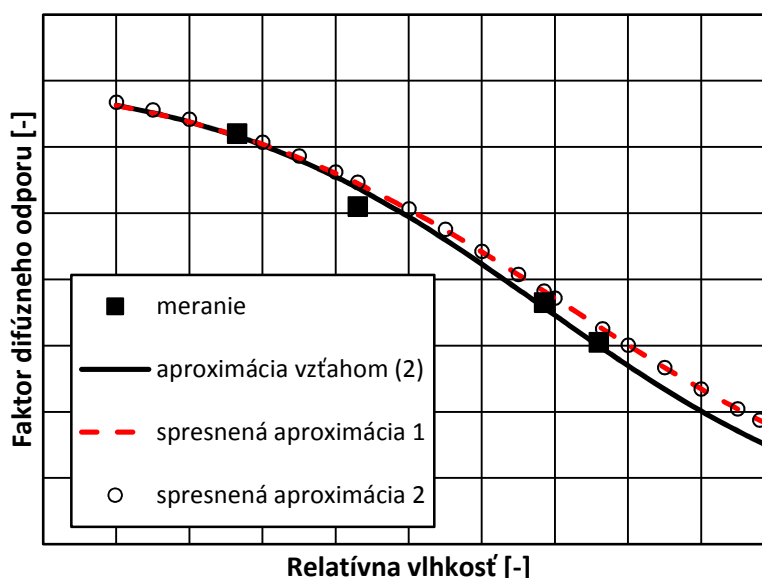
1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

Tabuľka 2.: Namerané hodnoty faktora difúzneho odporu

$\varphi_1 / \varphi_2$	0/0,53	0,33/0,53	0,53/0,85	0,53/1,0
Tehla P	12	11	7,1	5,9
Tehla D	17,8	-	12,5	11,2
CS	3,84	-	2,9	1,83

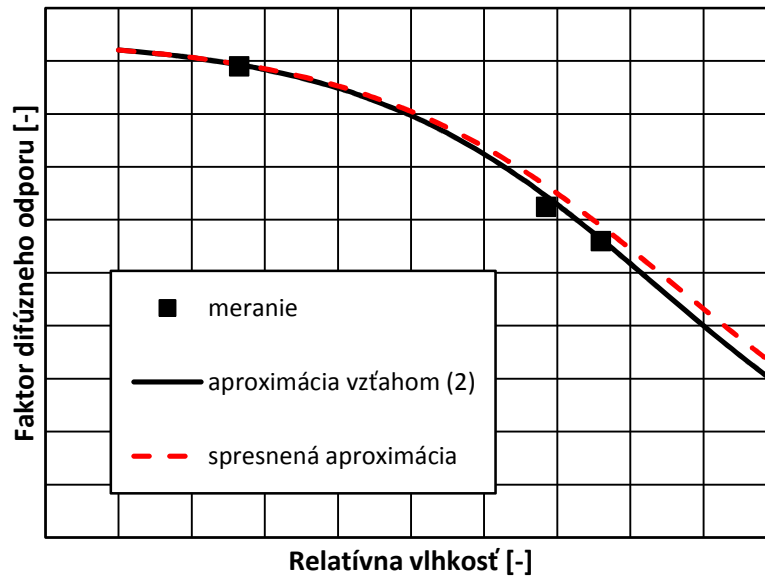
Aproximácie nameraných závislostí faktora difúzneho odporu od relatívnej vlhkosti vzduchu rovnicou (2) pre merané materiály sú na Obr. 1 – 3. Parametre  $a$ ,  $b$ ,  $c$  závislosti (2) boli fitované metódou najmenších štvorcov (Tab. 3).



Obrázok 1.: Výsledky merania faktoru difúzneho odporu; aproximácia vzťahu  $\mu(\varphi)$  štandardnou a spresnenou metódou pre tehlu P.

## 2.2. Spresnená aproximácia závislosti súčiniteľa difúzie od relatívnej vlhkosti

Pri spresnenej aproximácii závislosti súčiniteľa difúzie od relatívnej vlhkosti sa zohľadňuje fakt, že v dôsledku existujúcej závislosti súčiniteľa difúzie od relatívnej vlhkosti nie je rozloženie RH v rámci meranej vzorky



Obrázok 2.: Výsledky merania faktora difúzneho odporu; aproximácia vzťahu  $\mu(\varphi)$  štandardnou a spresnenou metódou pre tehlu D.

lineárne, a teda priradenie nameranej hodnoty faktora difúzneho odporu priemernej hodnote relatívnej vlhkosti vzorky  $\varphi_{12}$  nie je celkom korektné. V prípade testovaných materiálov nameraná závislosť faktora difúzneho odporu od relatívnej vlhkosti vzduchu zodpovedala rovnici (2). Preto po dosadení vzťahu (2) do rovnice (1) dostávame rovnicu (4):

$$G = - \frac{\delta_a A \cdot p_{vsat}}{a + b \cdot \exp(c \cdot \varphi)} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial x} \quad (4)$$

Integráciou rovnice (4) dostaneme rovnicu (5):

$$\int_0^d G dx = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} - \frac{\delta_a A \cdot p_{vsat}}{a + b \cdot \exp(c \cdot \varphi)} d\varphi \quad (5)$$

Keďže v ustálenom stave je tok vodnej pary cez vzorku konštantný, po analytickom výpočte integrálu na pravej strane rovnice (5) dostávame:

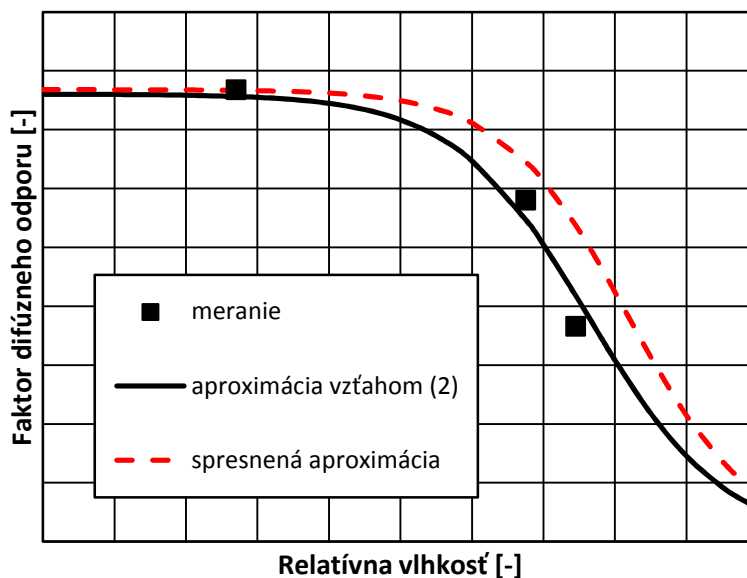
$$G \cdot d = \delta_a A \cdot p_{\text{vsat}} \cdot \left( a \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) + \frac{b}{c} \cdot (\exp(c \cdot \varphi_1) - \exp(c \cdot \varphi_2)) \right) \quad (6)$$

Ak dosadíme do rovnice (6) parametre vzorky  $d$ ,  $A$  a známe hodnoty  $p_{\text{vsat}}$ ,  $\delta_a$ , z nameraných hodnôt tokov  $G$  pri troch rôznych rozdieloch RH dostaneme sústavu troch nelineárnych rovníc, z ktorej môžeme určiť spresnené hodnoty parametrov  $a$ ,  $b$ ,  $c$ .

Výpočet sústavy troch nelineárnych rovníc bol riešený Newton-Raphsonovou metódou [5].

Tabuľka 3.: Parametre vzťahu (2): pôvodné hodnoty  $a$ ,  $b$ ,  $c$  a hodnoty  $a_1$ ,  $b_1$ ,  $c_1$  získané spresnenou aproximáciou

	$a$	$b$	$c$	$a_1$	$b_1$	$c_1$
Tehla P	0,070	0,0035	4,37	0,0687	0,0042	3,932
Tehla D	0,053	0,0008	5,0	0,053	0,00082	4,8203
CS	0,263	0,00008	10,6	0,2604	0,00002	11,58



Obrázok 3.: Výsledky merania faktoru difúzneho odporu; aproximácia vzťahu  $\mu(\varphi)$  štandardnou a spresnenou metódou pre kalcium-silikát CS.



Prorovnanie pôvodnej a spresnenej aproximácie vzťahu  $\mu(\varphi)$  je prezentované na Obr. 1-3 a v Tab. 3. V prípade tehly P sa na výpočet sústavy nelineárnych rovníc použili alternatívne dve trojice rovníc, získané z meraní pri rozdieloch RH 0/53, 53/85, 53/100% alebo 33/53, 53/85, 53/100%. Získané spresnené aproximácie sú však prakticky totožné (Obr. 1).

### 3. Diskusia

Pre všetky tri materiály sa spresnená aproximácia vzťahu  $\mu(\varphi)$  prejavila zvýšením hodnôt faktora difúzneho odporu v oblasti vyšších relatívnych vlhkostí, čo sa aj dalo očakávať vzhľadom k nelineárnemu priebehu RH vo vzorke (Obr. 1 – 3). Významnosť tohto zvýšenia však bola rôzna. Kým v prípade plných pálených tehál je toto zvýšenie zanedbateľné (o 9% v prípade tehly P a o 5% pre tehlu D pre hodnotu  $RH \approx 75\%$ ), v prípade kalcium silikátu je významné (o 30 %).

Významnosť tohto efektu pri konkrétnom meraní závisí od samotného meraného materiálu ako aj od hrúbky vzorky. Ukazuje sa, že efekt nelineárneho priebehu RH vo vzorke treba zohľadniť pri meraní materiálov s veľmi výraznou závislosťou faktora difúzneho odporu od RH, čo bol v našom prípade kalcium silikát (Obr. 3).

### 4. Záver

Príspevok sa venuje kvantifikovaniu vplyvu nelineárneho priebehu relatívnej vlhkosti vo vzorke pri určovaní závislosti súčiniteľa difúzie vodnej pary  $\mu$  od relatívnej vlhkosti vzduchu miskovými metódami. Analýza bola robená pre plné pálené tehly a tepelnoizolačný materiál kalcium silikát.

Pre všetky tri materiály sa spresnená aproximácia vzťahu  $\mu(RH)$  prejavila zvýšením hodnôt faktora difúzneho odporu v oblasti vyšších relatívnych vlhkostí. V prípade plných pálených tehál je zistené zvýšenie hodnôt faktora difúzneho odporu zanedbateľné, v prípade kalcium silikátu je významné.

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

## **Pod'akovanie**

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja (Grant č. APVV-0031-10) a Vedeckou grantovou agentúrou VEGA (Grant č. 2/0145/13).

## **Literatúra**

- [1] JAMES C, SIMONSON CJ, TALUKDAR P, ROELS S. International Journal of Heat and Mass Transfer (2010), Vol. 53. p. 3638-3654.
- [2] KORONTHÁLYOVÁ, O. Effect of water vapour permeability moisture dependence on simulation of dynamic moisture response. In Proceedings of Thermophysics 2009, Brno University of Technology, Brno 2009, ISBN 978-80-214-3986-3, p. 58-63.
- [3] EN ISO 12572:2001 Tepelno-vlhkostné vlastnosti stavebných materiálov a výrobkov. Stanovenie priepustnosti vodnej pary.
- [4] Catalogue of Material Properties. Upgraded version IAE Annex 14, Katholieke Universiteit Leuven, 1994.
- [5] REKTORYS K. a kol. Přehled užití matematiky, SNTL, Praha 1981.

## **Kontakt**

Mgr. OLGA KORONTHÁLYOVÁ, CSc., tel: +421 259309245, e-mail: olga.koronthalyova@savba.sk, Ústav stavebníctva a architektúry SAV, Dúbravská cesta 9, 845 03 Bratislava, Slovensko

## PROBLEME IN DER VERWALTUNG DER BAU-UND ABBRUCHABFÄLLE

## PROBLEMS IN THE MANAGEMENT OF CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE

**Miriam Ledererová**

STU Stavebná fakulta, Bratislava,

***Anotation:***

*Umweltschutz und rationelle Ausnutzung der Naturrohstoffquellen gehört zu den wichtigsten Aufgaben der Nationalwirtschaft. Die Ökonomik der Nationalwirtschaft braucht im möglichst größten Maße alles auszunutzen, was bis jetzt zum Abfall gehörte. Sekundärer Rohstoff kann den Naturrohstoff überall dort ersetzen, wo das Vorkommen von Naturrohstoffen nicht ausreicht oder die Gewinnung beschränkt ist.*

***Anotation:***

*Protection of the natural environment and rational use of natural resources is one of the most important tasks of the national economy. The economy of the national economy requires the utmost use of all that has been hitherto waste. Secondary materials can replace natural materials wherever the occurrence of natural ingredients inadequate or extraction must be restrained.*

***Schlüsselwörter:*** Baustoffe, Abfälle, Eigenschaften von Materialien

***Kľúčové slová:*** stavebné materiály, odpad, druhotné suroviny, vlastnosti materiálov.

## 1. Einleitung

So, wie die Europäische Gesellschaft immer reicher wird, wird mehr Abfall produziert, wodurch immer mehr Raum verbraucht wird und die Luft und der Boden verunreinigt wird. Dieser Abfall enthält oft wertvolle Rohstoffe, die wiederverwertet und wiederverwendet werden könnten. Es ist nötig die Strategie zur Lösung der Erhaltung der Naturrohstoffquellen zu entfalten. Der immer wachsende Umfang der Abfallstoffe und der Sekundärrohstoffe jeder Art bildet eine Begleiterscheinung der ökonomisch entwickelten Gesellschaft und ist zugleich eines der Umweltschutzprobleme. Die Lösung, die an den Prinzipien der dauerhaft erhaltbaren Entwicklung gegründet ist, befindet sich in der Sphäre der Legislative und auch auf dem technischen und ökonomischen Gebiet (orientiert auf das Abfallrecycling). Man kann viel über Informationen an die Verbraucher erreichen, genauso wie über die Unterstützung der Forschung und der technologischen Entwicklung der neuen Produkte und über gute Beispiele für die Betriebe und vielleicht auch über die Steuererhöhung beim Gebrauch der Naturrohstoffquellen [1].

## 2. Abfall

Europäische Kommission nahm schon längst die Strategie zum Vorbeugen der Abfallentstehung und zu seinem Recycling an. Diese langjährige Strategie soll dazu beitragen, dass Europa zur Recyclinggesellschaft wird, die sich um Vorbeugen der Abfallentstehung bemüht und den Abfall als Rohstoffquelle benutzt. Die angeführte Strategie hat Päckchenform, die den Vorschlag der Rechtsvorschrift enthält, der die Rahmenrichtlinie modernisiert.

Die Richtlinie über den Abfall besteht aus diesen zwei Gebieten:

- die Orientierung der Abfallpolitik auf die Verbesserung der Art und Weise der Quellenausnutzung
- die obligatorischen Nationalprogramme zur Vorbeugung der Abfallentstehung, die verschiedene ganzstaatliche, regionale und örtliche Bedingungen berücksichtigen und die bis zu drei Jahren nach der Inkraftsetzung der Richtlinie fertiggestellt werden sollten;
- die Verbesserung des Recyclingmarktes über das Festlegen der ökologischen Vorschriften, die die Bedingungen bestimmen, bei welchen der Recyclingabfall nicht mehr für Abfall gehalten wird;

- die Vereinfachung der Rechtsvorschriften auf dem Abfallgebiet über die Definitionenklärung, über die Rationalisierung der Bestimmungen und die Integration der Richtlinien über den gefährlichen Abfall (Richtlinie 91/689/EHS) und anderer Richtlinien.

Die Einstellung der EU zu der Abfallwirtschaft ist vor allem an der Vorbeugung der Abfallentstehung gegründet, dann folgt das Recycling, die Wiederverwertung und die Verbrennung des Abfalls und zuletzt als letzte Möglichkeit die Ablagerung. Es gibt keine universal gebrauchbare Abfalldefinition, auch nicht für das Sekundärprodukt. Es hängt von den Bedingungen des jeweiligen Landes und seiner Stellungnahme zu dieser Problematik ab. Was in einem Land zum Abfall wird, wird in einem anderen zu einem wertvollen Rohstoff.

Die im offiziellen Amtsblatt der EU veröffentlichte Rahmenrichtlinie im Jahre 2008 über den Abfall bildet die Rechtsgrundlage für die auf die Zukunft orientierte Recycling- und Abfallwirtschaft.

- Außer anderem stellt die fünfstellige Abfallhierarchie dar: Vorbeugen der Abfallentstehung,
  - Wiederverwendung (Produkte oder ihre Teile, die nicht zum Abfall werden und zu ihrem ursprünglichen Zweck benutzt werden),
  - Recycling (Verwertung des entstehenden Abfalls zu Produkten, Materialien oder Stoffen, um sie zum ursprünglichen oder anderen Zweck zu verwenden),
  - Ausnutzung,
  - Beseitigung.

Die Richtlinie verstärkt das erstrangige Ziel der Abfallpolitik, der Abfallentstehung mit Hilfe von neuen Mitteln vorzubeugen, wie zum Beispiel die Verantwortung für das Produkt und für die Programme, die die Abfallentstehung verhindern. Man verstärkt die Abfallverwertung (Recycling) dadurch, dass man für bestimmte Abfallart die Pflicht der Beseitigung und das Recyclinglimit festlegt. Für den Bauabfall wurde bis zu 2020 die Recyclingquote 70 % festgelegt.

Laut dieser Richtlinie ist „Abfall“ jeder Stoff oder jeder Gegenstand, den der Besitzer loswerden will, oder ist verpflichtet loszuwerden. „Abfallverursacher“ ist jeder, dessen Tätigkeit zur Abfallentstehung führt, oder der die Vorbehandlung, Vermischung oder andere Tätigkeiten ausübt, die zur Merkmal - oder Beschaffenheitsveränderung dieses Abfalls führen. „Der Abfallbesitzer“ ist der Abfallverursacher oder die Rechtsperson, bei der sich der Abfall befindet.

Wann hört der Abfall auf als Abfall zu gelten?

**„Der Abfall ist kein Abfall mehr, falls er über den Vorgang der Wiederverwertung einschließlich Recycling hindurchgeht, und persönliche Kriterien erfüllt“**

In Wirklichkeit liegt das Problem nicht darin, ob das Material Abfall oder kein Abfall ist. Das Hauptproblem liegt darin, wie man bei seiner Ausnutzung vorgehen soll, ob es nötig ist, alle sich auf den Abfall beziehenden Maßnahmen zu gebrauchen. Falls das Material zum Beispiel vom einem Bauwerk kommt und dabei die Eigenschaften seiner Primärteile keinerlei verändert wurden, ist es nötig es so zu beurteilen, wie die der Herstellung der Mischung benutzten Primärteile beurteilt wurden. Bei der Deklarierung der Ausnutzung des Recycling-Materials ist es nötig die Eigenschaften des Primärmaterials zu belegen und dadurch hört dieses Material auf, Abfall zu sein. Bei dem Aufbau oder der Umbau entsteht der Abfall, der eigentlich auf 100% wiederverwendbar ist. Nach der Qualität auf diese Art und Weise gewonnenes Material, nach der Art der Beseitigung der alten Konstruktionen, der Möglichkeiten der Verarbeitung, kann solches Material in verschiedene Konstruktionsschichten und zu verschiedenen Zwecken gebraucht werden. Die Ablagerung solches Materials ist immer finanziell anspruchsvoller als seine Wiederverwendung. Vor allem mit der Behandlung der gestörten Stellen ist es nötig das Material zu beseitigen und es danach nach einer passenden Bearbeitung zu gebrauchen. [1]

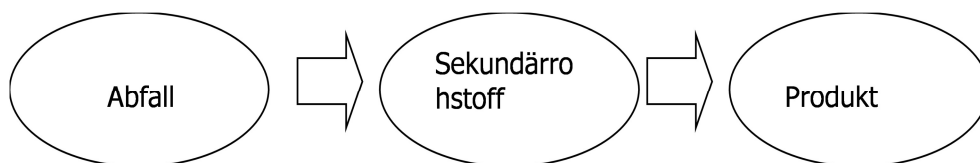
### **3. Recycling**

Recycling ist Rückgewinnung des Abfalls für den Prozess, in welchem der Abfall entsteht – also für den ursprünglichen Zweck und das gleiche System. Die Strategie, die durch die mehrmalige Abfallausnutzung die Naturquellen schont und zugleich die Umweltbelastung durch Schadstoffe vermindert, ermöglicht die Vorräte auch im Falle des absoluten Ausfalls zu gewährleisten.

Ziel beim optimalen Abfallrecycling ist nicht nur bestimmte technische Lösung mit bestimmter wirtschaftlicher Wirkung, sondern eine optimale komplexe Lösung mit den besten technischen Ergebnissen, die sich daraus ergeben, mit günstigen Arbeitsbedingungen und mit dem höchst erreichbaren wirtschaftlichen Effekt [5].

Recycling ermöglicht die Naturrohstoffe zu erhalten und dadurch die Ausnutzung der Naturrohstoffquellen im Bauwesen zu minimieren. Jedes neue Material muss bestimmte technische, environmentale und ökonomische Kriterien erfüllen. Mit anderen Worten, das Abfallmaterial wird zu einem annehmbaren Ersatz des Naturmaterials nur dann, falls seine Nutzeigenschaften nicht schlechter oder nur wenig schlechter als die Eigenschaften des Naturmaterials sind und falls es keinen markanteren environmentalen oder ökonomischen Einfluss hat. Ein bedeutendes Problem ist auch die Gesundheit der Arbeiter und die Sicherheit. Vor dem Benutzen des neuen Abfallmaterials ist es nötig, es für bestimmte Zeit abzu prüfen, um seine Qualität und Verlässlichkeit festzustellen. (Abb. 1,2)

Der heutige Recyclingstand entspricht bei uns immer nicht der Dringlichkeit des Problems. In den EU Ländern ist der Recyclingumfang mehr als zweimalig. Die Rohstoffbearbeitungsverfahren sind oft unzureichend, aus dem Grunde der Unterschätzung des ökologischen Beitrags aus der Seite der Selbstverwaltung und des Staates. Immer noch ist die Lagerung des Materials billiger als seine Wiederverwendung. Falls wir in Betracht ziehen, dass die Eigenschaften des Recyclingmaterials trotz der modernen Verfahren und Qualitätlenkung im Vergleich mit den primären Materialien allgemein schlechter sind, ist es sehr schwer, für das Recyclingmaterial Absatzmöglichkeit zu finden. Das Recyclingmaterial ist dann aus diesem Grunde oft weniger qualitätsgerecht bearbeitet, mit Hinblick auf den möglichst niedrigsten Preis und endet meistens als minderwertiges Material. Die Ausnutzung dieses Materials kompliziert auch die Tatsache, dass keine technischen Normen zur Verfügung sind, die die Anforderungen an die Eigenschaften des Materials stellen und seine Qualität beurteilen.



*Abb.1.*

#### 4. Leistungsbewertung für Bauschutt

Das gestellte Ziel der Behandlung des Recyclingbaumaterials ist das Erreichen der qualitativen Norm, die dem späteren Zweck der Benutzung des wiederholt aufbereiteten Recyclingbaumaterials entspricht.

Für das Recyclingbaumaterial kann man alles das halten, was aus dem entstandenen Bauabfall auszunutzen ist. Zu dieser Gruppe gehört:

- Erdmasse vor allem aus der Bodenaushebung; falls sie nicht durch Schadstoffe verunreinigt ist, kann sie als klassisches, durch Förderung gewonnenes Material benutzt werden,
- Bauschutt und gemischter Mineralbauabfall,
- Ziegel, aus welchen man durch Zerkleinerung das Ziegelrecyclingmaterial herstellen kann, für Benutzung in den Zementmörtel, Behandlung der Fahrbahnbeläge oder für die Herstellung des Ziegelbetons.
- Abfall aus dem Fahrbahnabbruch, der bei dem Straßenumbau, bei dem Umbau der Ingenieurnetze in der Fahrbahn, bei der Beseitigung der alten Straßen u. ä. entsteht; bei diesen Tätigkeiten entstehen zwei Abfallgruppen – aus der vorwiegend aus dem Asphalt, Zementbeton oder Steinzeug gebildeten Schicht .

Die Stufe der gesamten Abfallausnutzung (aus dem Recyclingsteinzeug, Bergwerkabfall) ist trotz der erhöhten Bewußtheit des Umweltschutzes und der Ausnutzung der Sekundärrohstoffe sehr niedrig.

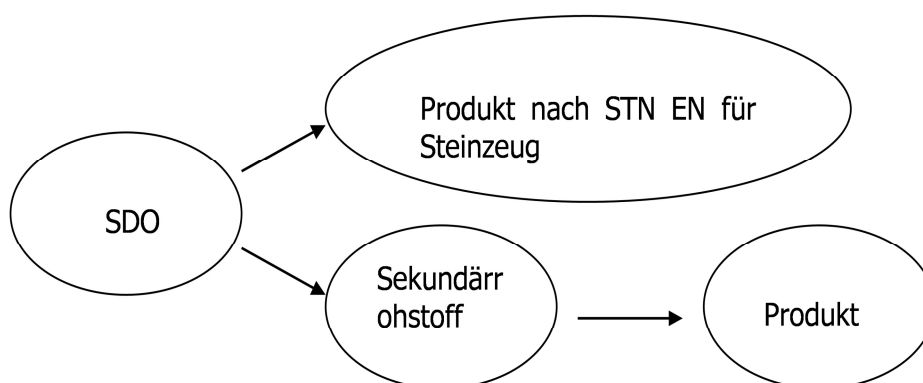


Abb.2



Der Betonbruch stellt einen soliden Steinzeugumfang dar, der die Umwelt beeinflusst, einerseits durch Abschaffen der Ablagerungsstellen von solchem Stoffumfang und zugleich durch Beschränkung der Natursteinförderung. Bei den Abbrucharbeiten und bei der Absonderung des gewonnenen Betons ist es wichtig, dass die Betonreste durch Vermischen mit anderem beim Abbruch entstandenen Abfall nicht entwertet werden.

Eine der einzuhaltenden Grundbedingungen ist die Gewährleistung der höchsten Gleichmäßigkeit und der Qualität des Rohstoffes. Auch bei der Betonherstellung ist es wichtig, sich mit dem Ersetzen des Natursteinzeugs durch Recyclingsteinzeug bzw. durch das beim Bergbauabfall gewonnenen Steinzeug zu beschäftigen. Bei der Berücksichtigung einiger negativen Eigenschaften des Recyclingmaterials müssen wir bei der Ausnutzung den Weg dort suchen, wo diese Eigenschaften nicht entscheidend sind. [2]

Physikalisch - mechanische Eigenschaften des Recyclingmaterials müssen auf die gleiche Art und Weise wie beim Natursteingut kontrolliert werden, am meisten müssen seine chemische Eigenschaften überprüft werden, die sich aus der Erstanwendung bzw. Beseitigung ergeben.

Das in dem Recyclingbetrieb hergestellte Recyclingmaterial ist ein Produkt, das auf den Markt gebracht wird. Laut Gesetz über Bauprodukte Numm. 90/1998 Samml. und den folgenden Veränderungen muss solches Material beim Einbringen auf den Markt die Erklärung über die Übereinstimmung mit den entsprechenden Normen abgeben.

Das Recyclingmaterial aus dem Bauabfall ist eigentlich körniges Material – Steinzeug, für welches bei uns die gültigen europäischen Normen festgesetzt sind. Nach diesen Normen werden auf das Recyclingsteinzeug solche Anforderungen wie auf das Natursteinzeug gestellt, mit Hinblick auf das Ziel der Endausnutzung. Dazu müssen für das Recyclingsteinzeug weitere Eigenschaften überprüft werden, die die Umwelt beeinflussen können. Die Erklärung der Übereinstimmung für das Recyclingsteinzeug im System 2+ ist nur dann möglich, falls dem Herstellungsbetrieb das Zertifikat des Systems der innerbetrieblichen Qualitätskontrolle erteilt ist. Ohne dieses Zertifikat darf der Hersteller das Recyclingsteinzeug nicht auf den Markt bringen. Für das Recyclingsteinzeug im System 4 (in nicht verkittetes Material) reicht die Erklärung der Übereinstimmung. [3,4]

## **5. Schlussfolgerung**

Infolge der strategischen Lage des Bauwesens in der Wirtschaft des Landes, seiner bedeutenden Anteilnahme an der Entstehung mehrerer Abfälle in den Bedingungen der SR und auch der Europäischen Union, Einordnung des Baumaterials zu den kontrollierten und strategischen Materialströmen, zum umfangreichen energetischen und Materialienverbrauch, der verbunden ist mit der Verwirklichung und Lebensdauer der Bauten und mit immer akuterem Bedürfnis die Mineralrohstoffquellen zu schonen, ist es nötig die erhöhte Aufmerksamkeit der Problematik der Behandlung mit dem Bau – und Abbruchabfall zu widmen.

Die Stufe der gesamten Abfallausnutzung (z.B. aus dem Recyclingsteinzeug, Bergbauabfall) ist es trotz dem erhöhten Bewußtsein beim Umweltschutz und bei der Ausnutzung der Sekundärrohstoffe sehr niedrig. Der Betonbruch stellt einen soliden Steinzeugumfang dar, der die Umwelt beeinflusst, einerseits durch Abschaffen der Ablagerungsstellen von solchem Stoffumfang und zugleich durch Beschränkung der Natursteinförderung. Bei den Abbrucharbeiten und bei der Absonderung des gewonnenen Betons ist es wichtig, dass die Betonreste durch vermischen mit anderem beim Abbruch entstandenen Abfall nicht entwertet werden.

Eine der einzuhaltenden Grundbedingungen ist die Gewährleistung der höchsten Gleichmäßigkeit und der Qualität des Rohstoffes. Auch bei der Betonherstellung ist es wichtig, sich mit dem Ersetzen des Natursteinzeugs durch Recyclingsteinzeug bzw. durch das beim Bergbauabfall gewonnenen Steinzeug zu beschäftigen. Bei der Berücksichtigung einiger negativen Eigenschaften des Recyclingmaterials müssen wir bei der Ausnutzung den Weg dort suchen, wo diese Eigenschaften nicht entscheidend sind.

## **5. LITERATUR**

- [1] Grunner, K: Problémy pri nakladaní so stavebným odpadom, VEGA, 2011
- [2] STN EN 12620+A1 Kamenivo do betónu.
- [3] STN EN 13043 Kamenivo do bitúmenových zmesí a na nátery ciest, letísk a iných dopravných plôch, 2004

- [4] STN EN 13242 Kamenivo do nestmelených a hydraulicky stmelených materiálov používaných v inžinierskom staviteľstve a pri výstavbe ciest, 2004
- [5] Prokopčáková, K: Optimálny spôsob recyklácie stavebného odpadu, OF 2013.

## **Kontakt**

Ing. MIRIAM LEDEREROVA, PhD., tel: +421 2 59274521, e-mail: miriam.ledererova@stuba.sk, Katedra materiálového inžinierstva, STU Stavebná fakulta Bratislava, Radlinského 11, 813 68 Bratislava.

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

## MERANIE DEFORMÁCIÍ POLOTUHÉHO PRÍPOJA METÓDOU KONVERGENTNEJ FOTOGRAMETRIE

### CONVERGENT PHOTOGRAMMETRY IN DEFORMATION MEASUREMENT OF A SEMI-RIGID JOINT

**Marián Marčíš, Marek Fraštia**

Katedra geodézie, Stavebná fakulta,  
Slovenská technická univerzita v Bratislave

***Anotace:***

*V rámci príspevku boli pomocou viacsnímkovej konvergentnej fotogrametrie určované priestorové posuny vybraných bodov ocelového nosníka s polotuhým prípojom. Vďaka vysokej dosiahnuteľnej presnosti, bezkontaktnej povahe merania a relatívne krátkej časovej náročnosti sa táto metóda ukázala ako veľmi vhodná pre riešenie podobných situácií.*

***Annotation:***

*In this contribution the spatial displacements of selected points on a steel column with semi-rigid joint were determined using convergent multiphoto photogrammetry. Concerning the sufficient accuracy, non-contact measurement and its relatively short time requirements this method is certainly a good solution for similar situations.*

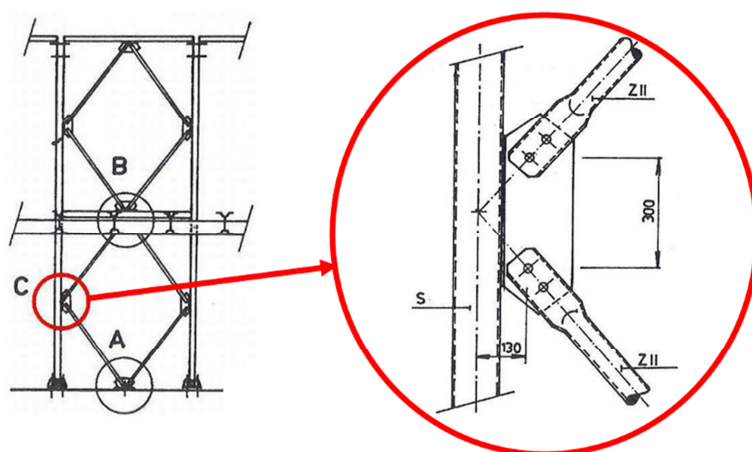
***Klíčová slova:*** *viacsnímková fotogrametria, deformácie, vysoká presnosť*

***Keywords:*** *multiphoto photogrammetry, deformations, high precision*

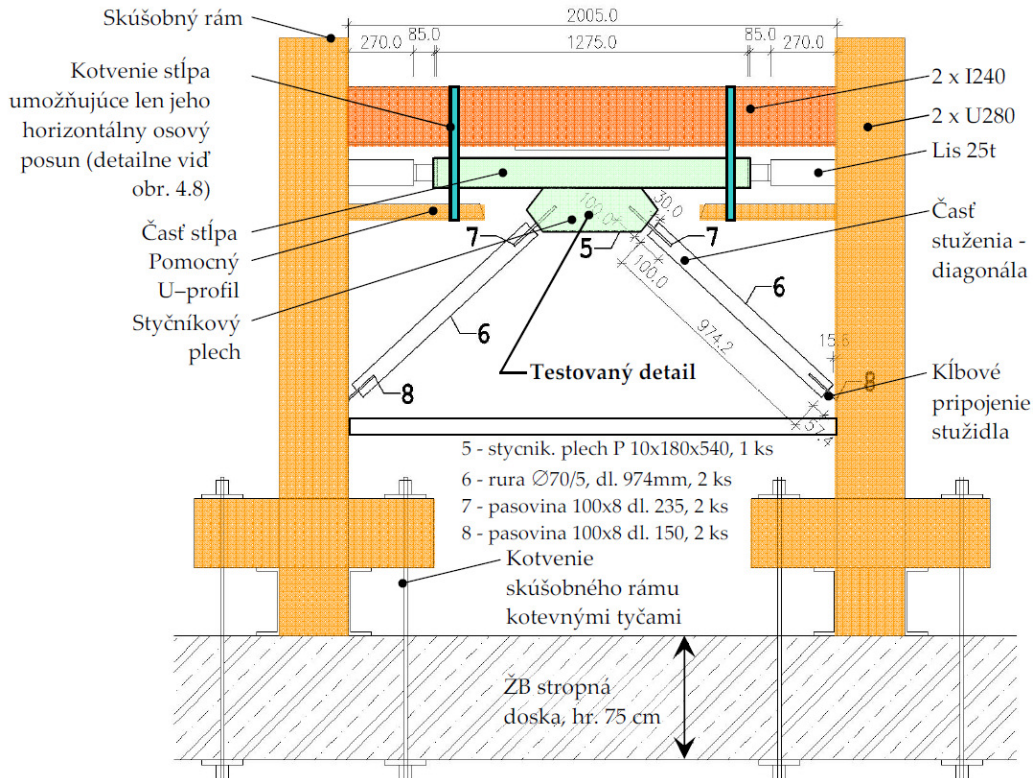
## 1. Úvod

Využívanie polotuhých uzlov pri návrhu ocelových rámových konštrukcií je vo svete bežnou praxou. Pre posúdenie odolnosti konštrukcií na seizmické účinky je veľmi dôležité vo výpočte uvažovať s nelineárnymi materiálovými charakteristikami použitých elementov, aby bolo možné sledovať postupný rozvoj plastických zón a vznik plastických kĺbov. Vďaka tomu je možné stanoviť limitný stav konštrukcie tesne pred jej zlyhaním [1].

V tomto príspevku sa zaoberáme fotogrametrickým meraním deformácií špeciálneho typu polotuhého prípoja (systém BAUMS, obr. 1), ktorý môže pri prenose veľkých vnútorných síl (spôsobených napr. seizmickou udalosťou) nepriaznivo ovplyvniť stabilitu konštrukcie. Hlavnými dôvodmi monitorovania deformácií stĺpu bolo porovnanie experimentu s teoretickými výpočtami, stanovenie metodiky skúšania (nakolko výsledky experimentu môžu napomôcť s úpravou metodiky skúšania) a kalibrácia výpočtového modelu. Fotogrametrická metóda bola použitá pre svoje možnosti dosiahnuť presnosť vyššiu ako 0,1 mm (pre konkrétnu predmetovú vzdialenosť 1,5 m) a zároveň pre svoju časovú operabilitu pri experimente a bezkontaktný charakter merania. Okrem deformácií samotného polotuhého prípoja a deformácií pásnice stĺpa boli merané aj možné deformácie celkovej konštrukcie skúšobného ocelového rámu s lismi a kotvenia stĺpa (obr. 2), ktoré mali ostať nedeformované počas všetkých etáp zaťaženia.



Obrázok 1.: Rombická stužujúca sústava (vľavo) a detail kritickej oblasti "C" (vpravo) [1].



Obrázok 2.: Schematické znázornenie usporiadania experimentu [1].

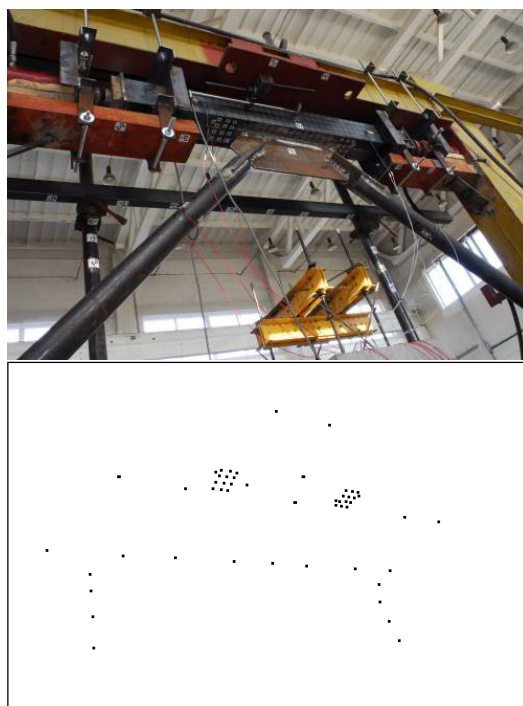
## 2. Prípravné práce

Na pozorovaný objekt boli na miesta pozorovania nalepené kruhové a kódové terče, ktoré umožnili čiastočnú automatizáciu spracovania a zároveň dosiahnutie presnejších výsledkov a to meraním so subpixelovou presnosťou 0,1 pixela.

V pozadí pozorovanej konštrukcie bola umiestnená sieť nezávislých vzťažných bodov, ktorých poloha ostala nemenná počas celej zaťažovacej skúšky a tieto body slúžili pre transformáciu jednotlivých zaťažovacích etáp merania do súradnicového systému základnej etapy. Mierka fotogrametrického vyhodnotenia bola definovaná odmeraním vzdialenosti medzi dvomi kódovými terčmi vzťažnej sústavy pomocou posuvného meradla s presnosťou 0,1 mm.

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví



*Obrázok 3.: Objekt experimentu (vľavo) a rozloženie fotogrametricky pozorovaných bodov (vpravo, rovnaký pohľad kamery ako na snímke vľavo).*



*Obrázok 4.: Vzťažné pevné body mimo pozorovaného objektu.*

**Apriórnu presnosť** fotogrametrického merania je možné za dodržania optimálnych podmienok konvergentného snímkovania určiť podľa vzťahu [2]:

$$\sigma = M_s \cdot P \cdot \sigma' = \frac{h}{f} \cdot P \cdot \sigma' = GSD \cdot \sigma' \quad (1)$$



kde  $M_s$  je mierkové číslo snímky,  $P$  je veľkosť pixelu na CCD senzore,  $h$  je vzdialenosť snímkovania,  $f$  je ohnisková vzdialenosť objektívu, GSD je veľkosť pixela na objekte a  $\sigma'$  je presnosť určenia obrazových súradníc, ktorá sa pri automatickom meraní pohybuje v rozmedzí 0,1 – 0,3 pixela.

Použité fotografické vybavenie (kap. 2.1) a predmetová vzdialenosť 1,5 m nám dáva apriórne hodnoty presnosti 0,04 - 0,13mm, čo vyhovovalo kladeným požiadavkám.

Samotná **zaťažovacia skúška** sa skladala z dvoch častí:

- 1. časť pozostávala z postupného jednostranného zaťaženia do úrovne 240 kN/m<sup>2</sup> a potom späť na 0kN/m<sup>2</sup> v 6 etapách, pričom tlak bol vyvíjaný iba z pravej strany stĺpa,
- 2. časť pozostávala opäť z postupného jednostranného zaťaženia až do tlaku 240kN/m<sup>2</sup> a späť na 0kN/m<sup>2</sup>, avšak s rozdelením na 16 etáp, pričom už po prvej časti pozorované body vykazovali viditeľné nevratné deformácie.

### 3. Fotogrametrické meranie a spracovanie snímok

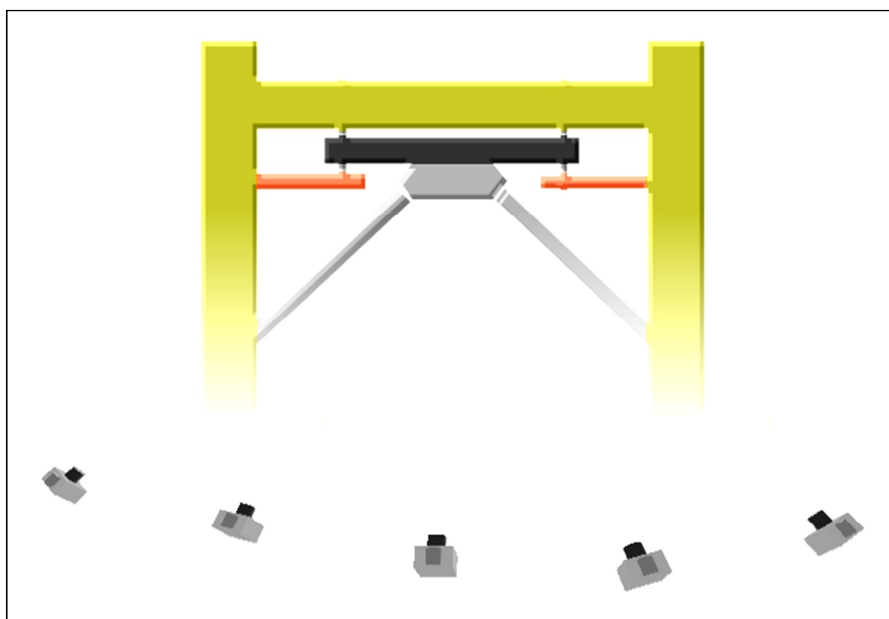
Ako už bolo spomenuté vyššie, pre snímkovanie bola zvolená metóda konvergentnej fotogrametrie, ktorá okrem vysokej dosiahnuteľnej presnosti prináša aj výhody ako sú relatívna voľnosť umiestnenia a orientácie kamery, čím sa urýchlil zber obrazových dát bez akéhokoľvek dopadu na presnosť nasledovného fotogrametrického spracovania.

#### 2.1. Snímkovanie

Poloha stanovísk kamery voči objektu počas snímkovania bola volená tak, aby bol každý určený bod viditeľný minimálne na 4 snímkach (obr. 5). Pri každej etape zaťaženia bol k dispozícii cca 1-2-minútový interval, počas ktorého bolo možné vykonať snímkovanie, aby sa mohlo ďalej pokračovať v skúške bez väčšieho zdržania. Pri snímkovaní bola používaná časová spúšť a statív pre minimalizáciu otrasov a prípadné pohybové rozmazanie snímok. Tak je možné pomocou fotogrametrických metód zaznamenať polohu veľkého množstva bodov v krátkom čase.

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví



Obrázok 5.: Poloha stanovísk kamery voči pozorovaným bodom.

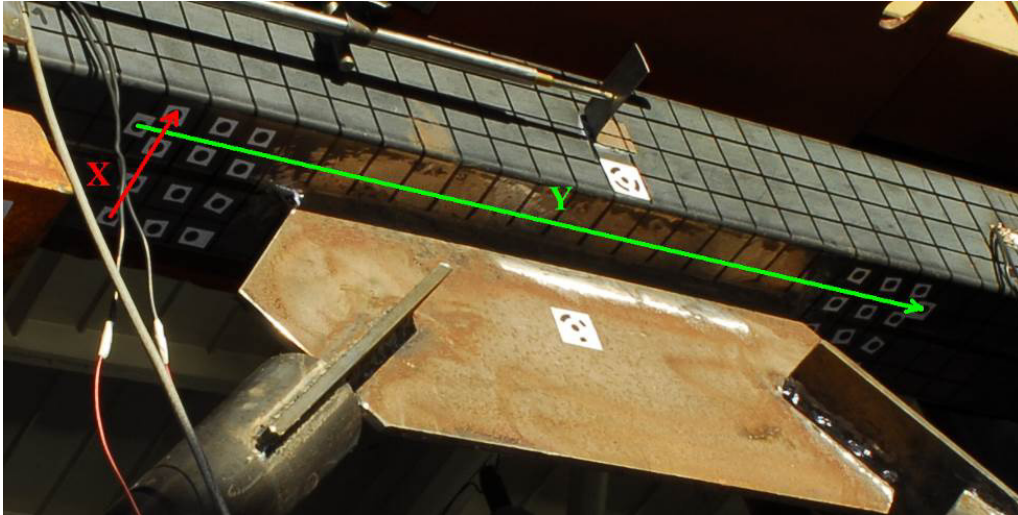
Na snímokovanie bola zvolená digitálna zrkadlovka Nikon D200 (tab. 1) s fotostatívom.

Tabulka 1.: Technické parametre digitálnej zrkadlovky Nikon D200.

Počet pixelov	10 miliónov
Rozmery CCD senzora	24,00 x 16,07 mm <sup>2</sup>
Objektív	Nikkor 20 mm
Max. formát snímky	3872 x 2592 pix
Veľkosť pixla	6,2 μm

## 2.2. Spracovanie

Fotogrametrické spracovanie prebiehalo v softvérovom prostredí Photomodeler Scanner, ktorý je určený na spracovanie konvergentných snímok. Dostatočné preurčenie meraných parametrov a kvalitné uhly prieseku zabezpečili požadovanú presnosť každého bodu. Referenčný súradnicový systém bol volený tak, aby boli jednoducho interpretované deformácie v pozdĺžnom a priečnom smere nosníka (obr. 6).



Obrázok 6.: Voľba referenčného súradnicového systému

Výsledkom fotogrametrického spracovania sú referenčné súradnice každého pozorovaného bodu v každej zaťažovacej etape. Ukážka výsledkov z vyrovnania zväzku lúčov v základnej etape je uvedená v tab. 2.

Tabulka 2.: Prehľad číselných charakteristík z fotogrametrického spracovania.

Počet snímok v každej epoche	5
Počet bodov v každej fáze epochy 1	34
Počet bodov v každej fáze epochy 2	38
Priemerný počet určujúcich lúčov na bod	4
Celková stredná chyba	0,127 pix
Maximálne rezíduum	0,404 pix
Maximálna dĺžka vektora strednej chyby	0,231 mm
Maximálna stredná chyba v X	$m_x < 0,148$ mm
Maximálna stredná chyba v Y	$m_y < 0,089$ mm
Maximálna stredná chyba v Z	$m_z < 0,154$ mm
Celková dĺžka vektora strednej chyby	0,101 mm

### 3. Interpretácia meraní

Oceľový rám konštrukcie bol zostavený tak, aby zabezpečil stabilitu pozorovaného stĺpu a prípoja v smere osi X, čiže nesmeli vybočiť mimo osi. Splnenie tejto podmienky bolo overené fotogrametrickým meraním, z ktorého vyplynulo, že súbor pozorovaných bodov sa v tomto smere vychýlil v priemere iba o 0,3mm vplyvom vysokých tlakov, ktoré prebiehali v celej konštrukcii.

Zároveň však z meraní vyplýva, že oceľový rám a kotvenie stĺpa neboli stabilné v smere osi Y a došlo k postupnému posunu opornej konštrukcie o 10 - 12mm (obr. 7).



*Obrázok 7.: Body ocelového rámu vykazujúce posun 10-12mm v smere osi Y.*

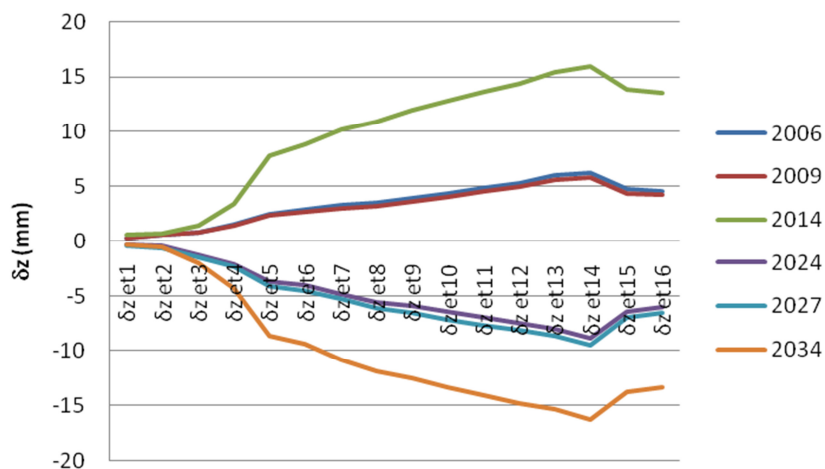
Z uvedeného vyplýva, že pre ďalšie návrhy konštrukcie na skúšobné testy bude potrebné venovať zvýšenú pozornosť pevnejšej stabilizácii ocelového rámu. Toto nebolo možné zistiť z tezometrických meraní, ktoré boli takisto realizované na pozorovanom objekte.

Najväčšie deformácie podrobných bodov stĺpa a polotuhého prípoja, vykazovali body v mieste zvaru, kde bol predpoklad, že styčnickový plech sa bude zatláčať do relatívne mäkkej pásnice stĺpa na jednej strane a vyťahovať na strane druhej [1]. Tento predpoklad bol potvrdený najväčšími posunmi bodov v smere osi Z v tesnej blízkosti zvaru (obr. 8).



Obrázok 8.: Body s najvyššou mierou deformácie v oblasti styčnického plechu.

Priebeh deformácií bodov znázornených na obr. 8 je viditeľný na grafe 1. Viditeľne najväčšiu zmenu zaznamenali body 2014 a 2034 signalizované priamo na styčnickom plechu (obr. 9).



Obrázok 8.: Zmena polohy pozorovaných bodov v smere osi Z.

V spodnej časti stípa po oboch stranách styčnického plechu bola rozmiestnená sieť kruhových terčov pre možnosť zistenia plošnej deformácie pásnice stípa, ktorá môže byť neskôr porovnaná s výsledkami z výpočtového modelu.

Celkovo bolo pozorovaných 34 bodov, pričom v druhej epoche boli po dodatočnej konzultácii pridané 4 doplnkové body, takže spolu narástol počet vyhodnocovaných bodov na 38.

#### **4. Závěr**

Uvedený příspěvek dokumentuje výhodnost' použítia fotogrametrických metod pre monitoring stavu objektov pri zaťažovacích skúškach. Pri uvedenom type zaťažovacích skúšok často dochádza k deformácii "pevného" rámu, v ktorom je zaťažovaný objekt upevnený a pritom sa s týmito deformáciami nepočíta. Tie však môžu mať významný vplyv na výsledky pokiaľ je tento rám použitý napr. na umiestnenie výchylkomerov. Hlavné výhody fotogrametrie spočívajú v bezkontaktnosti meraní (bezpečnosť, inerciálnosť), množstve pozorovaných bodov (náklady sa zvyšujú len nepatrne), celkových nízkych nákladoch, vysokej presnosti, krátkom záznamovom čase a možnosti automatizovaného spracovania. Polohu bodov pritom môžeme monitorovať tak v 2D ako aj 3D súradnicovom systéme. Obzvlášť je fotogrametria vhodná pre objekty menších rozmerov, kde pri snímkaní z predmetových vzdialeností do 5 m je možné dosahovať presností desiatín mm a do vzdialenosti snímkovania 1m až stotín mm.

#### **Literatúra**

- [1] LANG, Tibor. *Analysis of cyclic loaded diagonal-to-column joint*. In Juniorstav 2011: 13. Odborná konferencia doktorského studia. Brno, VUT, 4.2.2011. Brno: Vysoké učení technické v Brně - Fakulta stavební, 2011, ISBN 978-80-214-4232-0.
- [2] FRAŠTIA, Marek. *Kalibrácia a testovanie digitálnych kamier pre aplikácie blízkej fotogrametrie: Edícia vedeckých prác. Zošit č.52*. Bratislava: STU v Bratislave Sv. 2008. 114s. ISBN 978-80-2272812-6.

#### **Kontakt**

Ing. MARIÁN MARČIŠ, e-mail: marian.marcis@stuba.sk, STU v Bratislave, Stavebná fakulta, Katedra geodézie, Radlinského 11, 813 68 Bratislava.  
Ing. MAREK FRAŠTIA, PhD., e-mail: marek.frastia@stuba.sk, STU v Bratislave, Stavebná fakulta, Katedra geodézie, Radlinského 11, 813 68 Bratislava.

## **SLEDOVÁNÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ HISTORICKÝCH CIHEL A VLIV POVRCHOVÝCH ÚPRAV NA JEJICH DIFUZNÍ VLASTNOSTI**

### **MONITORING MECHANICAL PROPERTIES OF HISTORIC BRICKS AND IMPACT OF SURFACE FINISHING ON THEIR DIFFUSION PROPERTIES**

**Šárka Nenadálová, Lukáš Balík**

Kloknerův ústav, ČVUT

***Anotace:***

*Ze stavební praxe a zkušeností po opakujících se povodních je zřejmé, že přirozené vysychání zdiva je proces dlouhodobý a závislý na mnoha faktorech. Základními faktory ovlivňujícími rychlost vysychání jsou typ a vlastnosti zdiva a parametry prostředí, ve kterém se zdivo nachází. Předmětem našeho výzkumu byly historické CPP.*

***Annotation:***

*From a building praxis and experiences after repetitive floods it is obvious that natural drying of masonry is a lengthy process and depends on many factors. The basic factors affecting speed of drying are a type and properties of the material and parameters of surroundings. The project has dealt with monitoring of historic burnt full bricks.*

***Klíčová slova:*** *historická cihla plná pálená, mechanické vlastnosti, přirozené vysychání, nasákavost, povrchové úpravy, vlhkost, povodně*

***Keywords:*** *Historic Burnt Full Brick, Mechanical Properties, Natural Drying, Water Absorption, Surface Finishing, Moisture, Floods*

## 1. Úvod

V laboratořích Kloknerova ústavu byly provedeny zkoušky historických cihel plných pálených pro představu o rozptylu vlastností tohoto materiálu a pro následné použití těchto hodnot v dalším výzkumu vlivu povrchových úprav historických cihel plných pálených na jejich difuzní vlastnosti.

## 2. Experimentální část

### 2.1. Přehled zkoušek

Zkoušky byly provedeny na vzorcích historických plných pálených cihel odebraných přímo z konstrukce požadovaného stáří, aby byla zachována autentičnost. Rozměry cihel se sice pohybovaly okolo běžného rozměru 290 x 140 x 65 mm, ale pouze přibližně, jelikož následkem času došlo k větší či menší degradaci cihel. Byly provedeny následující zkoušky:

- Objemová hmotnost
- Nasákavost přirozená
- Nasákavost varem
- Pórovitost
- Pevnost v ohybu na cihle normální vlhkosti
- Pevnost v ohybu na cihle saturované
- Pevnost v ohybu na vysušené cihle
- Destruktivní pevnost v tlaku na cihle normální vlhkosti
- Destruktivní pevnost v tlaku na cihle saturované
- Destruktivní pevnost v tlaku na vysušené cihle
- Nedestruktivní pevnost v tlaku na cihle normální vlhkosti
- Nedestruktivní pevnost v tlaku na cihle saturované
- Nedestruktivní pevnost v tlaku na vysušené cihle
- Rychlost vysoušení cihly

### 2.2. Vlastnosti cihelného střepe

Jednou z klíčových zkoušek byla zkouška nasákavosti varem, jejíž vyhodnocení vidíme v Tabulce 1. V následující tabulce (Tabulka 2.) vidíme shrnutí výsledků zkoušek objemové hmotnosti, nasákavosti a pórovitosti vzorků historických cihel plných pálených odebraných z autentické stavby.



Tabulka 1.: Stanovení nasákavosti varem

Saturované	Ozn.	L [mm]	b [mm]	h [mm]	V [m <sup>3</sup> ]	md' [g]	mw' [g]	$\rho_v$ [kg/m <sup>3</sup> ]	N [g]	N [%]
	S1	285,66	131,64	66,11	0,002486	3861,26	4690,50	1720,10	829,24	21,48
	S2	284,26	131,64	66,11	0,002474	3834,25	4726,13	1730,31	891,88	23,26
	S3	261,54	133,75	64,91	0,002270	3735,04	4435,85	1799,47	700,81	18,76
	S4	284,68	133,17	64,50	0,002445	4061,24	4849,08	1822,11	787,84	19,40
	S5	282,51	130,91	64,52	0,002386	3648,50	4407,22	1688,00	758,72	20,80
Průměrná objemová hmotnost $\rho_v$ [kg/m <sup>3</sup> ]									1752	
Směrodatná odchylka $\rho_v$ [kg/m <sup>3</sup> ]									56,46	
Průměrná nasákavost N [%]									20,74	
Směrodatná odchylka N [%]									1,78	

Tabulka 2.: Shrnutí vlastností cihelného střepeču

VLASTNOSTI CIHELNÉHO STŘEPEU		
Objemová hmotnost	1752	kg/m <sup>3</sup>
Průměrná nasákavost varem	20,74	%
Pórovitost	7,22	%

### 2.3. Vlastnosti prostředí, nasákavost a rychlost vysoušení

Zkoušky byly provedeny vždy za konstantních podmínek prostředí na dvou typech cihel, které se lišily svou propustností, již bylo bráněno pomocí nepropustného nátěru. První typ cihly, tzv. vazáková cihla, měla umožněnu propustnost pouze na ploše 140 x 65 mm. Druhý typ, tzv. běhounová cihla, měla umožněnu propustnost na ploše 290 x 65 mm. Vlastnosti vzorků jsou uvedeny v Tabulce 3.

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

Tabulka 3.: Vlastnosti cihel a prostředí

VLASTNOSTI PROSTŘEDÍ A CIHEL		
Teplota okolního prostředí	24,8	° C
Vlhkost okolního prostředí	58,1	%
Nasákavost cihly běhounové přirozená	13,4	%
Nasákavost cihly vazákové přirozená	13,9	%
Rychlost vysoušení cihly běhounové	0,641	g/hod
Rychlost vysoušení cihly vazákové	0,567	g/hod

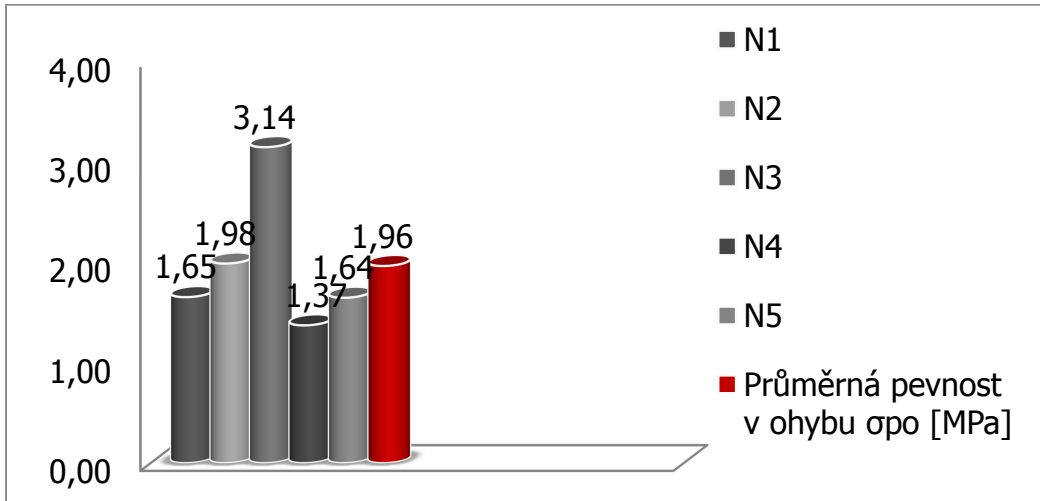
#### 2.4. Zkouška pevnosti v ohybu

V následujících tabulkách jsou uvedeny výsledky zkoušky 3 - bodového ohybu na cihle o normální vlhkosti (Tabulka 4., Graf 1.), cihle saturované (Tabulka 5., Graf 2.) a cihle vysušené (Tabulka 6., Graf 3.). Vzdálenost podpor při této zkoušce byla 230 mm.

Tabulka 4.: Pevnost v ohybu na cihle o normální vlhkosti

	Ozn.	L [mm]		b [mm]		h [mm]		F <sub>max</sub> [N]	σ <sub>po</sub> [MPa]
	Normální	N1	278,91	278,66	135,44	135,30	66,41	65,56	2780,00
278,40			135,15		64,71				
N2		284,77	285,94	132,80	134,20	66,02	63,73	3130,00	1,98
		287,10		135,60		61,44			
N3		282,72	283,45	133,95	134,31	63,86	64,78	5130,00	3,14
		284,17		134,67		65,69			
N4		278,24	278,97	134,86	134,57	62,02	61,02	1990,00	1,37
		279,69		134,27		60,01			
N5		282,61	283,16	135,71	135,44	63,85	64,35	2670,00	1,64
		283,70		135,17		64,84			
Průměrná pevnost v ohybu σ <sub>po</sub> [MPa]									1,96
Směrodatná odchylka σ <sub>po</sub> [MPa]									0,70

Graf 1.: Pevnost v ohybu na cihle o normální vlhkosti



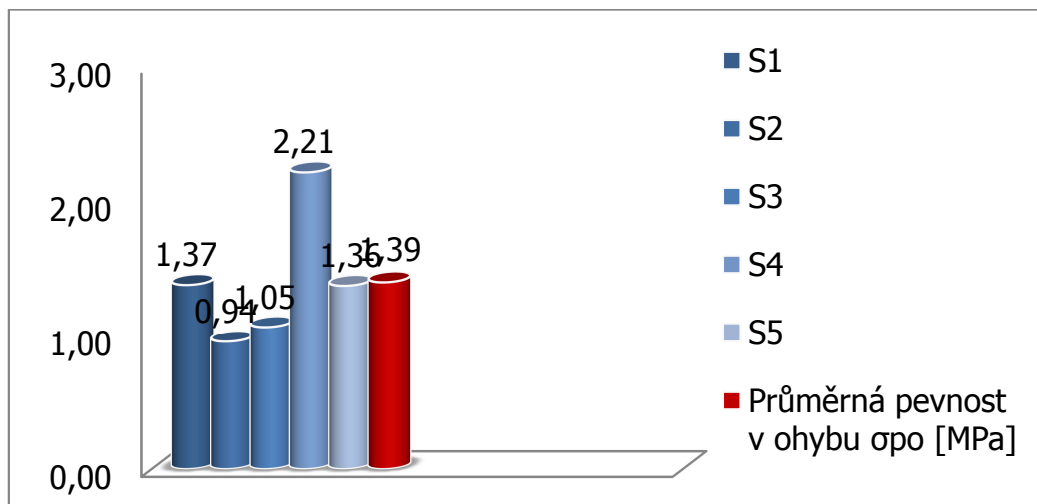
Tabulka 5.: Pevnost v ohybu na saturované cihle

	Ozn.	L [mm]		b [mm]		h [mm]		$F_{max}$ [N]	$\sigma_{po}$ [MPa]
saturované	S1	285,32	285,66	132,51	131,64	65,32	66,11	2280,00	1,37
		286,00		130,77		66,89			
	S2	284,31	284,26	133,52	132,90	67,71	68,16	1690,00	0,94
		284,21		132,28		68,61			
	S3	258,42	261,54	133,67	133,75	65,88	64,91	1720,00	1,05
		264,66		133,82		63,93			
	S4	283,69	284,68	133,12	133,17	64,32	64,50	3550,00	2,21
		285,67		133,22		64,67			
	S5	283,49	282,51	130,96	130,91	64,77	64,52	2150,00	1,36
		281,53		130,86		64,27			
Průměrná pevnost v ohybu $\sigma_{po}$ [MPa]									1,39
Směrodatná odchylka $\sigma_{po}$ [MPa]									0,50

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

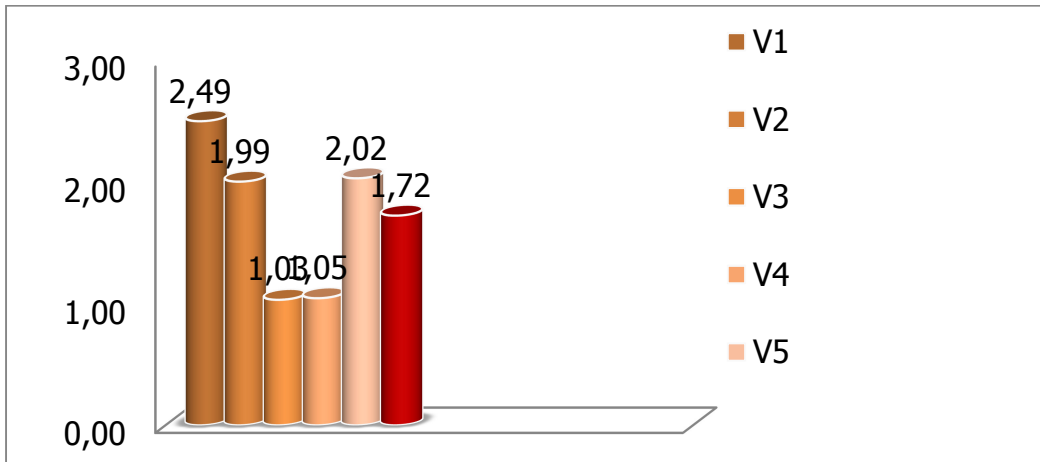
Graf 2.: Pevnost v ohybu na saturované cihle



Tabulka 6.: Pevnost v ohybu na vysušené cihle

	Ozn.	L [mm]		b [mm]		h [mm]		$F_{max}$ [N]	$\sigma_{po}$ [MPa]
Vysušené	V1	282,14	281,65	134,01	133,65	64,43	63,78	3930,00	2,49
		281,15		133,29		63,13			
	V2	281,52	281,39	133,90	133,79	61,90	62,60	3030,00	1,99
		281,25		133,67		63,29			
	V3	282,41	283,22	131,04	132,61	65,11	65,04	1680,00	1,03
		284,03		134,17		64,96			
	V4	283,63	283,54	136,56	136,43	63,76	62,97	1640,00	1,05
		283,44		136,29		62,17			
	V5	278,36	277,81	130,80	130,93	64,65	64,39	3180,00	2,02
		277,26		131,05		64,12			
Průměrná pevnost v ohybu $\sigma_{po}$ [MPa]									1,72
Směrodatná odchylka $\sigma_{po}$ [MPa]									0,65

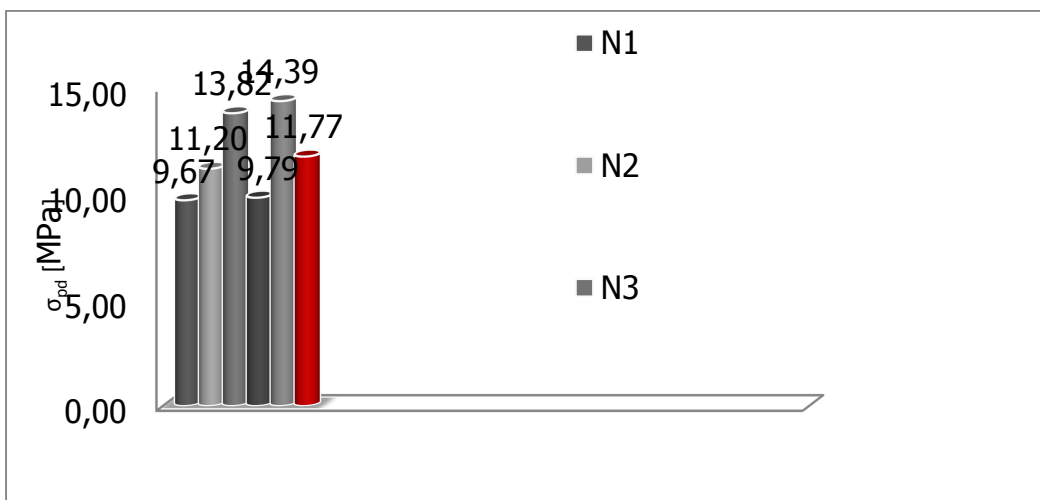
*Graf 3.: Pevnost v ohybu na vysušené cihle*



## 2.5. Zkouška pevnosti v tlaku

Zkouška pevnosti v tlaku byla provedena destruktivní i nedestruktivní metodou. Zkouška pevnosti v tlaku destruktivní metodou byla opět provedena na cihle s normální vlhkostí (Graf 4.) cihle saturované (Graf 5.) a cihle vysušené (Graf 6.) a stejně tak tomu bylo i u zkoušky pevnosti v tlaku nedestruktivní metodou. Spolu se zkouškou pevnosti v tlaku nedestruktivní metodou (Tabulka 7., 8., 9.), tedy pomocí Schmidtova tvrdoměru, byl stanoven také převodní součinitel.

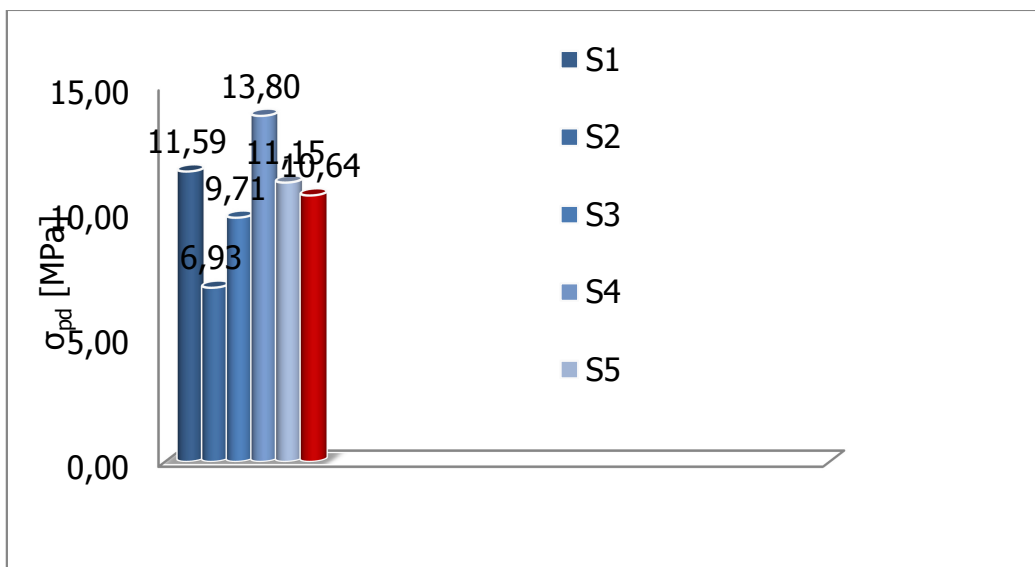
*Graf 4.: Zkouška pevnosti v tlaku destruktivní metodou na cihle s normální vlhkostí*



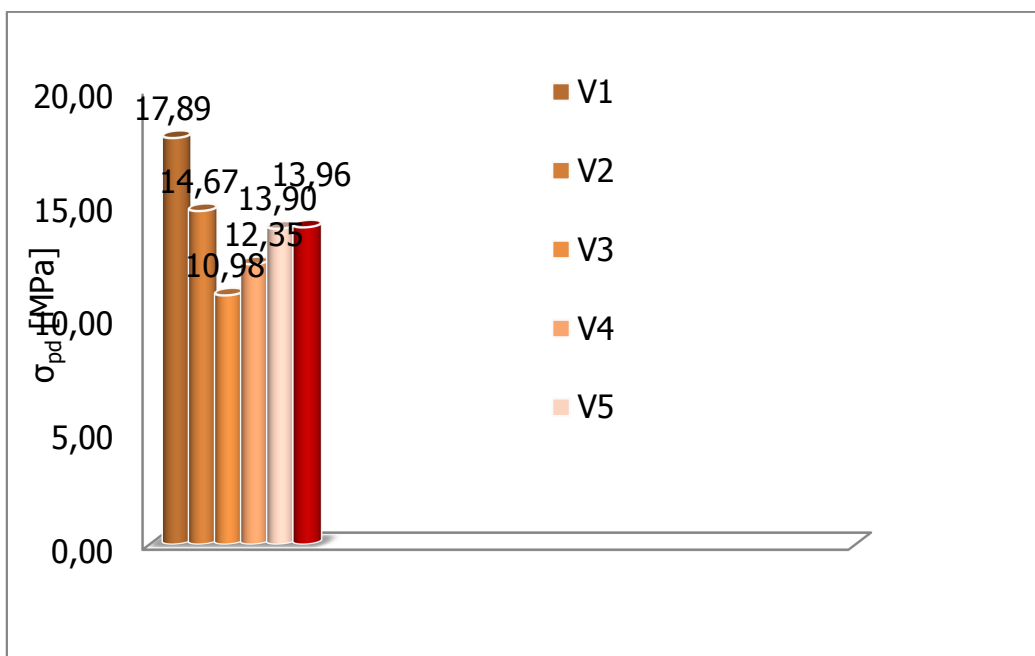
1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

*Graf 5.: Zkouška pevnosti v tlaku destruktivní metodou na saturované cihle*



*Graf 6.: Zkouška pevnosti v tlaku destruktivní metodou na vysušené cihle*



Tabulka 7.: Zkouška pevnosti v tlaku nedestruktivně na cihle s normální vlhkostí

	cihla	Odskok tvrdoměru							Průměr	$f_{be}$ [MPa]	Pevnost v tlaku $f_c$ [MPa]
		1	2	3	4	5	6	7			
Normální	N1	40	38	36	40	39	40	41	39	39	10,7
	N2	38	40	36	40	41	40	38	39	39	10,7
	N3	46	40	42	45	40	43	44	43	46	12,6
	N4	40	42	44	40	39	40	41	41	42	11,5
	N5	42	46	44	48	43	45	46	45	50	13,7

Tabulka 8.: Zkouška pevnosti v tlaku nedestruktivně na saturované cihle

	cihla	Odskok tvrdoměru							Průměr	$f_{be}$ [MPa]	Pevnost v tlaku $f_c$ [MPa]
		1	2	3	4	5	6	7			
Saturované	S1	40	42	43	40	43	45	40	42	44	12,1
	S2	34	36	35	34	36	38	32	35	32	8,8
	S3	34	36	34	36	36	35	38	36	33	9,0
	S4	46	42	44	46	46	42	43	44	48	13,2
	S5	38	42	44	40	42	44	40	41	42	11,5

Tabulka 9.: Zkouška pevnosti v tlaku nedestruktivně na vysušené cihle

	cihla	Odskok tvrdoměru							Průměr	$f_{be}$ [MPa]	Pevnost v tlaku $f_c$ [MPa]
		1	2	3	4	5	6	7			
Vysušené	V1	46	48	46	50	50	48	49	48	55	15,1
	V2	46	48	46	46	45	44	45	46	52	14,2
	V3	40	42	42	40	41	43	40	41	42	11,5
	V4	42	44	46	44	42	43	42	43	46	12,6
	V5	44	46	46	44	45	43	42	44	48	13,2

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

### **3. Závěr**

Z uvedených výsledků vyplývá, že rozptyl výsledků u všech parametrů historických cihel je velký a bude třeba brát zvýšené opatrnosti při vyhodnocování difuzních vlastností cihel právě na tomto rozptylu vlastností mechanických. Klíčovým bodem dalšího výzkumu bude porovnání povrchových vrstev těchto historických CPP z hlediska jejich difuzních vlastností, tedy stanovení rychlosti přirozeného vysušování a faktor difuzního odporu. Dále budou provedeny i upřesňující zkoušky nasákavosti a jejich průběhu, rtuťová porozimetrie a mikroskopie vzorků.

### **Poděkování**

Výsledky uvedené v článku byly získány v rámci řešení projektu SGS13/103/OHK1/1T/31, za jehož podporu děkujeme.

### **Literatura**

- [1] ČSN EN ISO 12572 Tepelně vlhkostní chování stavebních materiálů a výrobků – Stanovení prostupu vodní páry, 2002  
[2] ČSN 72 2603 Skúšanie tehliarskych výrobkov. Stanovenie hmotnosti, objemovej hmotnosti a nasiakavosti

### **Kontakt**

Ing. ŠÁRKA NENADÁLOVÁ, tel: 00420 224 353 547, e-mail: sarka.nenadalova@klok.cvut.cz, Kloknerův ústav, Šolínova 7, Praha 6, 166 07.

Ing. LUKÁŠ BALÍK, Ph.D., tel: 00420 224 353 509, e-mail: lukas.balikklok.cvut.cz, Kloknerův ústav, Šolínova 7, Praha 6, 166 07.



## VPLYV CYKlickÉHO ZMRAZOVANIA NA MECHANICKÉ VLASTNOSTI CEMENTOVÝCH KOMPOZITOV S OBSAHOM PLASTOVEJ DRVINY

### INFLUENCE OF CYCLIC FREEZING ON MECHANICAL PROPERTIES OF CEMENT COMPOSITES WITH CONTENT OF PLASTIC BRASH

**Jaromír Petržala, Martin Križma, Peter Mihálka**

Ústav stavebníctva a architektúry SAV

***Anotace:***

*Príspevok prezentuje výsledky dlhodobých meraní vplyvu premenlivých vonkajších podmienok na deformácie stropných panelov vyrobených s využitím kompozitu s obsahom plastovej drviny a skúšok mrazuvzdornosti materiálu tohoto typu rozšírených o stanovenie vplyvu cyklického zmrazovania na modul pružnosti.*

***Annotation:***

*The contribution presents results of long-term measurements of an influence of variable outdoor conditions on deformations of floor panels constructed with usage of a composite with content of plastic brash and results of frost resistance tests of such material broaden by determination of an influence of cyclic freezing on its elasticity modulus.*

***Klíčová slova:*** kompozit s plastovým kamenivom, stropné panely, mrazuvzdornosť

***Keywords:*** composite with plastic aggregate, floor panels, frost resistance

## 1. Introduction

A rational liquidation of municipal waste constitutes a relevant all-society problem - environmental and also economic, of course - at the present time. The portion of plastics in solid municipal waste still increases and it reaches circa 10 % by weight or (12 – 20) % by volume nowadays. The building industry is in practice one of the manufacturing industries where mixed plastic waste can be applied in a major amount. This waste makes a relevant potential for the production of lightweight aggregates or, for improving of thermal insulation parameters of concrete products as well as building constructions themselves.

Simultaneously, decrescent resources of the mined aggregate in Slovakia involve that the building industry in SR is already now forced to accommodate to the given situation and at least partially to switch-over to the production and utilization of alternative aggregate kinds like the crushed aggregate or aggregates from waste. Also environmental aspects like the soil and water sources protection clearly promote a growth of the alternative aggregates utilization at the expense of the industrial mining of gravel sands.

A disadvantage of the plastic aggregate (PA) is its price which is obviously higher in comparison with the mined aggregate. However, the price of the plastic aggregate shall probably gradually decrease for the expected growth of its production and also consumption. As the greatest disadvantage of the plastic aggregate, which in present days decelerates its wider usage at the production of the composites with plastic aggregate (CPA), can be regarded the fact that there does not exist any special norm, directive or prescription, which would specified the crushed plastic waste as an aggregate to concrete. We tried to respond to the described problems of the PA application in the building industry in the project of the European Economic Area (EEA) - project No. SK 0081 - „Development of cement composites from electric and electronic plastic waste for application in building industry” - which was solved in ICA SAS between years 2009 and 2011 [1].

In this paper we will focus on results of experiments examining an influence of variable outdoor conditions on deformations of floor panels constructed with usage of CPA as well as consequential frost resistance tests of CPA.

## 2. Experimental program

### 2.1. Mixtures with plastic aggregate

Within the mentioned EEA project, there were proposed and tested overall 20 mixtures, their prescriptions can be found in [1]. We will focus here on two of them denoted as F and C. These mixtures contain a plastic brush from PC and TV monitors. Their mechanical characteristics are presented in Table 1. There is also introduced a mixture RC - reference concrete with the classic mined aggregate - which was comparative.

*Table 1.: Average values of the bulk density  $\rho$ , cube strength  $f_{cc}$ , prism strength  $f_{cp}$ , Young's modulus of elasticity  $E$ , flexural strength  $f_{tf}$ , tensile strength  $f_t$ , aggregate share of plastic PA/A.*

mixtures	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$f_{cc}$ (MPa)	$f_{cp}$ (MPa)	$E$ (GPa)	$f_{tf}$ (MPa)	$f_t$ (MPa)	PA/A (%)
RC	2430	48.67	47.50	41.07	6.43	4.18	0
F	1689	22.18	20.09	11.65	3.50	2.28	55
C	1896	12.85	10.17	9.26	2.44	1.43	60

The composite F was on basis of rheological tests and tests of bond strength between CPA and reinforcement chosen for usage at a floor panels design [2]. The composite C was subjected to the frost resistance tests.

### 2.2. Tests of floor panels

On basis of short-term tests (see [2]), the following design of the floor panels was selected - asymmetrically reinforced sandwich type panel with the theoretical span 3.6 m, the width 0.75 m and the height 0.15 m; the lower layer with the height 0.1 m consists from the CPA, the upper layer with the height 0.05 m is from the RC. Such the panels have been subjected to the long-term tests consisting of the following loading states:

- two panels unloaded in a laboratory environment,
- two panels loaded in a laboratory environment,
- two panels unloaded in a protected outdoor environment (influence of temperature and humidity),

- two panels loaded in a protected outdoor environment (influence of temperature and humidity).

We will focus on the last state here. The panels have been loaded by a pair of loading forces  $2F_S$  which should simulate a uniform load by a snow layer (a snow load is greater than a typical load of floors). The snow layer height 0.65 m was taken into account as the average decennial maximum from the meteorological station of Poprad [3], what gives, including roof layers, a surface load  $q = 2.18 \text{ kN.m}^{-2}$ . The service load is then  $F_S = 3.25 \text{ kN}$ .

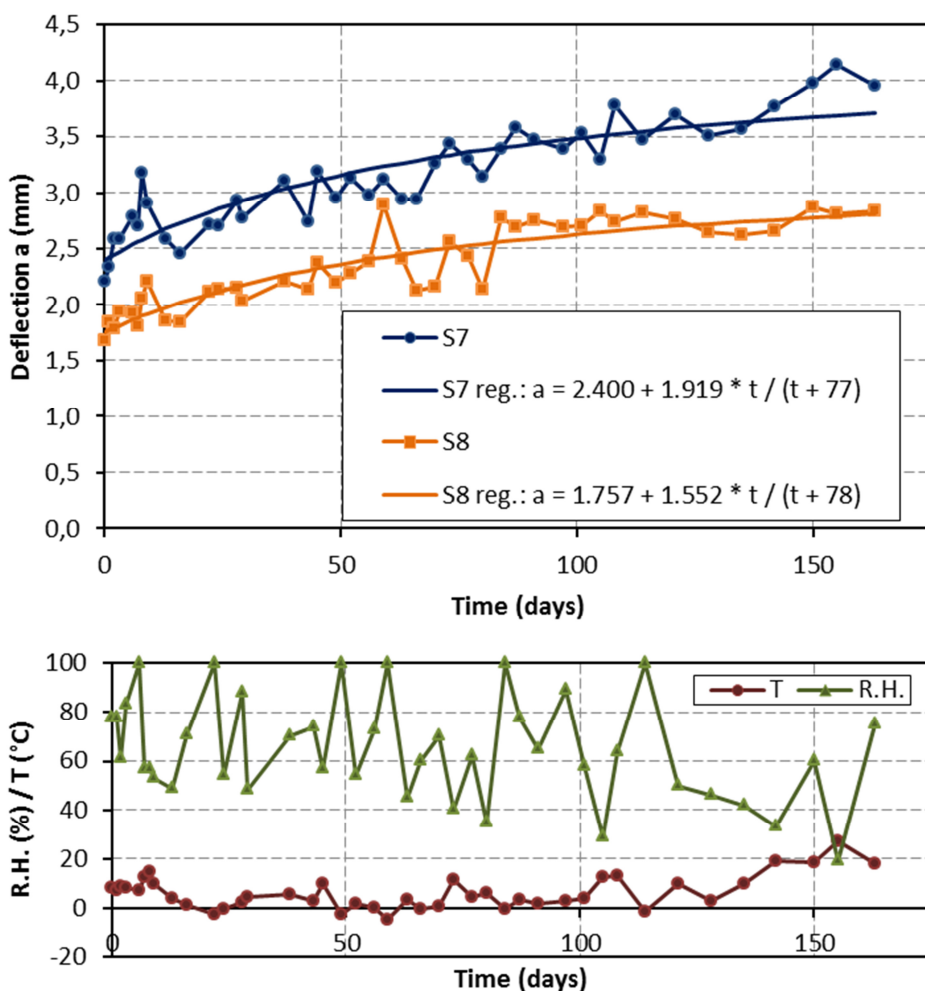


Figure 1.: Time evolution of - a) central deflections of the floor panels, b) air temperature and relative humidity.

The time evolution of central deflections of the panels in dependence of an air temperature and relative humidity is depicted in Figure 1. There are also regression time curves of the deflections.

We see that the deflections are still increasing in the long term with limit values resulting from the regression curves  $a_{lim}(S7) = 4.3$  mm and  $a_{lim}(S8) = 3.3$  mm. These values are markedly on the side of safety against the normative ones.

### 2.3. Frost resistance tests

In relationship to the previous long-term tests of the floor panels, the frost resistance tests of CPA were performed according to [4]. These tests have been planned for two mixtures - C and F. The mixture C has significantly lower mechanical properties than the mixture F, so it was preferred in the testing order. Simultaneously, problems with delivery of some plastic brush fractions and with testing background appeared. The F mixture tests are in progress.

For freezing of specimens, a climatic chamber Discovery DY 600C from Angelantoni Company was used. The chamber allows temperature tests in the range  $-75^{\circ}\text{C}$  to  $+180^{\circ}\text{C}$ . An integrated ventilator ensures the temperature homogeneity  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  with the time fluctuation of temperature  $\pm(0.1 - 0.3)^{\circ}\text{C}$ . An inner space of the chamber has the volume 559 l, which was sufficient for testing of a necessary number of the specimens.



*Figure 2.: Apparatus for cyclic freezing and thawing of specimens.*

Prisms with diameters (100x100x400) mm served as the trial specimens. They had been water saturated and consequently subjected to the cyclic freezing and thawing with the time of freezing 1.5 hours at the temperature  $-20^{\circ}\text{C}$  and the time of thawing 0.5 hour in water with the temperature  $20^{\circ}\text{C}$ . These times were determined by measurements according to [4]. 25 cycles formed one stage after which a flexural strength of the specimens was measured and compared with a flexural strength of non-frozen reference specimens. A ratio of an average flexural strength after every stage an average flexural strength of the comparative prisms defines a frost resistance coefficient. Also a compressive strength of the ends of the prisms and a mass loss of the prisms were measured. The corresponding average values are presented in Table 2.

*Table 2.: Average values of the relative mass loss  $\delta m$ , compressive strength  $f_{cc}$ , and flexural strength  $f_{tf}$  of the specimens, and the frost resistance coefficient  $k_{fr}$ .*

number of cycles	$\delta m$ (%)	$f_{cc}$ (MPa)	$f_{tf}$ (MPa)	$k_{fr}$
0 (compar.)	0	12.01	2.00	-
25	-0.1	10.65	1.71	0.85
50	-0.1	10.85	1.55	0.77

We see, that the frost resistance coefficient is even after 50 cycles slightly greater than 0.75, what is the normative criterion for the frost resistance of concrete. It means, that the composite C is frost resistant on 50 freezing/thawing cycles.

Except the frost resistance examination of the CPA, also an influence of the cyclic freezing and thawing on Young's modulus of the CPA was tested. It was measured on three groups of the prisms made from the composite C - dry prisms, water saturated prisms and water saturated prisms exposed to the 25 freezing/thawing cycles. The results are presented in Table 3.

*Table 3.: Average values of prism compressive strength  $f_{cp}$  and Young's modulus  $E$ .*

prisms	$f_{cp}$ (MPa)	$E$ (GPa)
dry	10.17	9.26
water saturated	8.17	8.00
cyclically frozen	7.60	5.52

It can be seen, that the cyclic freezing causes the considerable decreasing of Young's modulus of the tested CPA. After the 25 cycles, its value decreased about 31%.

### **3. Conclusions**

The results of the long-term tests of the loaded floor panels containing the composite with plastic aggregate are on the side of safety against the normative criterions.

The frost resistance tests of the similar composite demonstrate that it is resistant at least on the 50 cycles. Simultaneously, the considerable influence of the cyclic freezing on the CPA's modulus of elasticity, its decreasing, was shown.

### **Acknowledgements**

The authors would like to thank to the Slovak Grant Agency VEGA for its support towards this work (Grants No. 2/0143/12).

### **References**

- [1] MATIAŠOVSKÝ, P.: Evaluation of the Implementation Process and Results of Individual Project SK 0081, Conference of the Workshop: The use of crushed plastics from the electric and electronic waste for an aggregate in concrete – project SK 0081 (EEA grants), ICA SAS Bratislava, Slovakia, 2011, (CD).
- [2] KRÍŽMA, M., PETRŽALA, J.: Influence of time factor on strains and deflections of composite elements with content of crushed plastic aggregates, Building Research Journal, Vol. 59, No. 1-2, 2011.
- [3] PECHO, J., LAPIN, M., FAŠKO, P., MIKULOVÁ, K.: Long-term changes of snow cover characteristics regime in Slovakia, In Proceedings of Abstracts of the International Conference, Vienna, Austria, 2009.
- [4] STN 73 1325 Determination of frost resistance of concrete by accelerated tests, 1971.

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

## **Contact**

Mgr. JAROMÍR PETRŽALA, Ph.D., tel: 00421 02 59309-227, e-mail: j.petrzala@savba.sk, Institute of Construction and Architecture SAS, Dúbravská cesta 9, 845 03 Bratislava, Slovakia.



## **SLEDOVÁNÍ POKUSNÉHO PŘEDEPNUTÉHO ZDĚNÉHO OBJEKTU PO DOBU 16 LET**

### **MONITORING OF EXPERIMENTAL PRESTRESSED MASONRY OBJECT FOR A PERIOD OF 16 YEARS**

**Pavel Šulák, Zdeněk Bažant**

VUT v Brně, Fakulta stavební,  
Ústav betonových a zděných konstrukcí

***Anotace:***

*Příspěvek popisuje po dobu 16 let měřeného, horizontálně lany - monostrandy předeprnutého pokusného zděného objektu. Zabývá se specifickými problémy tohoto způsobu zesilování.*

***Annotation:***

*The article describes measuring for a period of 16 years of an experimental masonry object, horizontally prestressed using cables - monostrands. Specific problems of this method of strengthening are mentioned.*

***Klíčová slova:*** Zdivo, přepínání, měření, období 16 let

***Keywords:*** Masonry, prestressing, measuring, period of 16 years

## 1. Úvod

Při zesilování zděných objektů se používá mnoho metod. Jednou z nich je zpevňování konstrukce dodatečným předpětím pomocí opláštěných předpínacích lan (monostrandů), která se u běžných objektů pozemních staveb vedou převážně rovnoběžně s ložnými spárami. Kromě pevnostních charakteristik je důležité určení materiálových vlastností konstrukce (pevnost, přetvárnost).

Zesilování konstrukcí pozemních a inženýrských staveb přepínacími lany a kabely studuje a realizuje již po 20 roků v poměrně velkém rozsahu pracovní skupina Ústavu betonových a zděných konstrukcí FAST VUT v Brně. Počátky její práce v tomto oboru spadají do období před 30 – 35 léty, kdy zesilování staveb pomocí předpínání bylo používáno na tehdejších PVÚ VUT v Brně.

Dosud provedené rekonstrukce přesvědčivě dokazují, že zesilování konstrukcí předpínáním je šetrné, neboť vyžaduje minimální úpravy konstrukcí (osazení lan, desek, deviátorů, vyřezání kabelových drážek a vrtání náhradních kabelových kanálků atd.). Zásahy do konstrukcí nejsou po ukončení prací vidět, tvary konstrukcí se nemění a architektonický vzhled stavby není dotčen. Vždy je třeba spolupracovat s pracovníky památkové péče, s inženýrskými geology a s odborníky na zkoumání stavebních hmot.

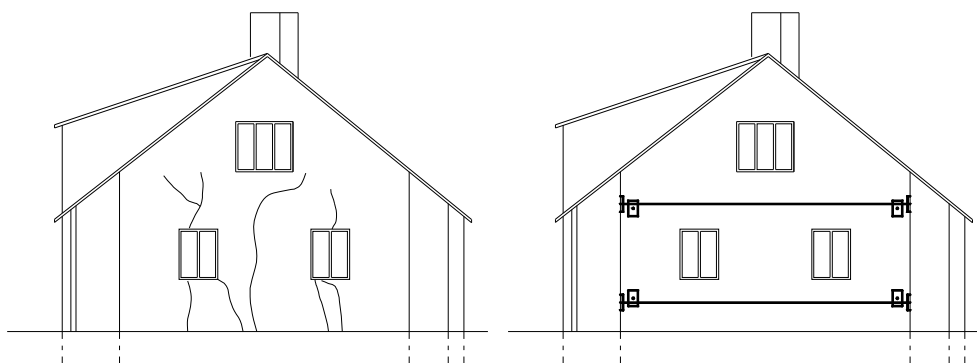
Dodatečné předpínání konstrukcí je dobře účinné. Návrh musí být veden statickými důvody a je třeba ho ověřit statickým výpočtem. Současně se zajišťují dva výpočetní postupy, tj. modelování konstrukce na počítači i běžný ruční výpočet. Vždy je nutné tak dlouho hledat konstrukční uspořádání předpětí a jemu odpovídající výpočetní model, až se dosáhne shoda. Lze konstatovat, že kritika metody vychází obvykle z nepochopení principu předpínání, z neznalosti pracovních postupů a současných možností specializovaných firem.

Výzkum, zejména otázky pevnosti a přetvárnosti zdiva, byl řešen v souvislosti s rekonstrukcemi především historických staveb. Na základě tohoto výzkumu byly pak určovány pevnosti zdiva, namáhaného rovnoběžně s ložnou spárou.

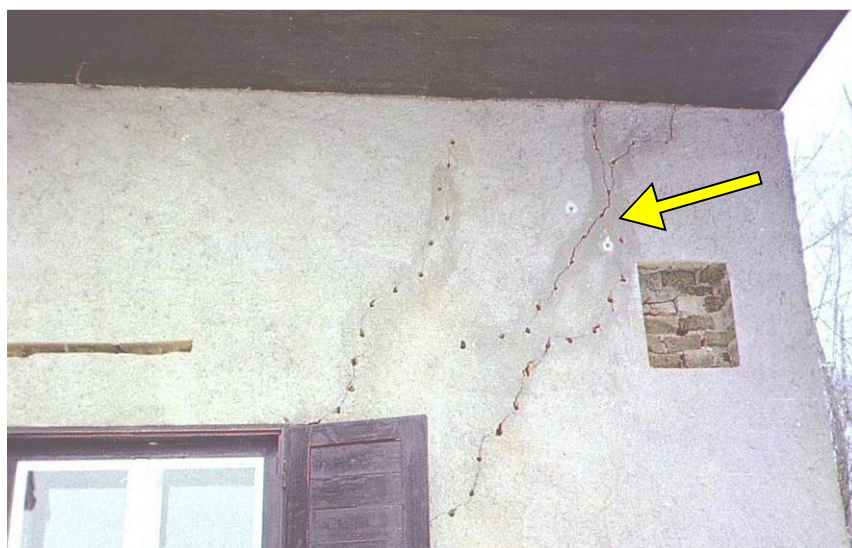
Pro objasnění problémů spojených s předpínáním byl po dobu 16 let monitorován pokusný objekt (2 roky před opravou, 14 roků po předepnutí), u něhož bylo zkoumáno přetváření zdiva namáhaného rovnoběžně s ložnými spárami a úbytek přepínací síly v průběhu času.

## 2. Pokusný objekt

Jednalo se o stavbu o rozměrech 9,0 x 12,0 m. Půdorysně se skládala ze dvou obdélníkových částí, tvořících jeden funkční i konstrukční celek. Starší a menší část objektu o půdorysných rozměrech 6,0 x 7,1 m byla hojně potrhána trhlinami – Obr. 1, 2.



*Obrázek 1.: Poruchy stavby, vedení lan na štítu*



*Obrázek 2.: Hlavní trhlina na levé fasádě před injektáží (měřící základna – šipka), kotevní sklípek a drážka pro předeprnutí*

Objekt byl postaven těsně po první světové válce jako součást tehdejší cihelny. Pro stavbu byly použity na místě vyrobené a vypálené cihly, jejichž kvalita byla velice rozdílná (od CP 2,5 do CP 10). Malta byla všeobecně nekvalitní, vápenná, zhruba M0 až M0,4. Dům nebyl opatřen

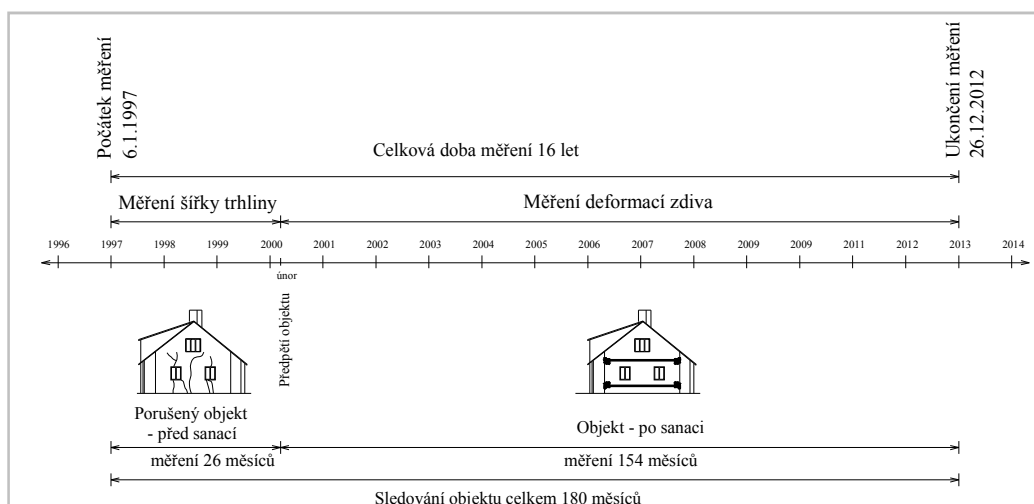
1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

věnci, stropy byly dřevěné, trámové, základy byly uloženy relativně mělce – 0,6 až 0,8 m pod úroveň terénu, na podloží z vlhkých sprašovo-jílovitých zemin. V roce 1965 byl dům přestavěn na rekreační stavbu, tj. byl rozšířen a bylo využito podkroví. Již dříve se ukázaly na obvodových zdech výrazné trhliny, které svědčily o malé tuhosti stavby ve vodorovných rovinách, vodorovné posuvy byly zhruba 5 x větší, než posuvy svislé.

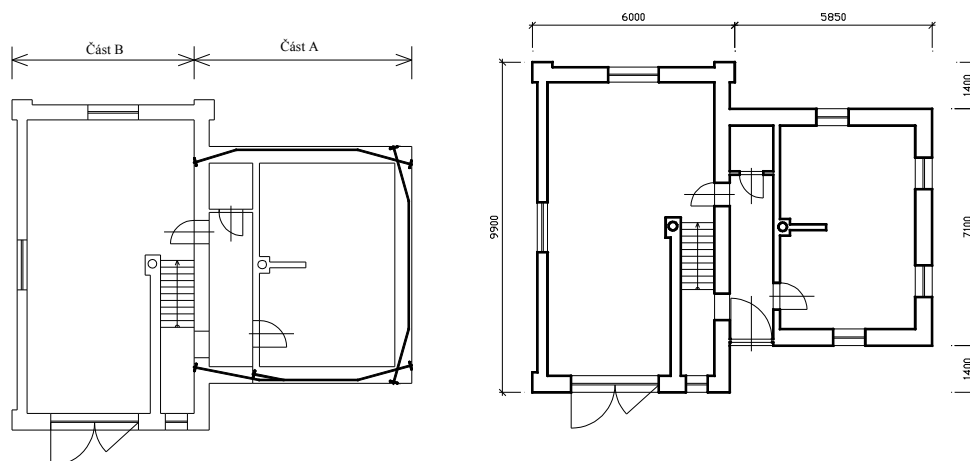


Obrázek 3.: Předpínání, vlevo čelní fasáda, vpravo štít

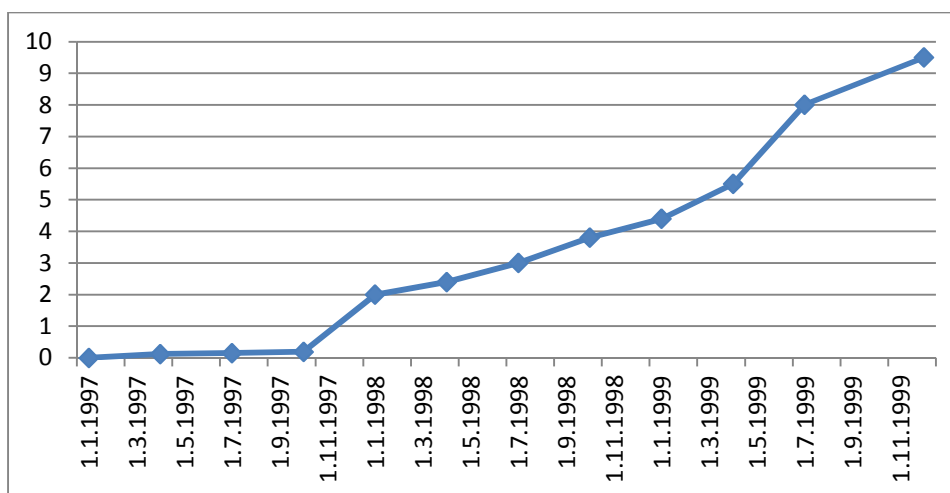


Obrázek 4.: Schéma časového průběhu měření

V lednu 1997 bylo zahájeno za pomoci pracovníků ÚSZ FAST VUT v Brně měření trhlin objektu pomocí Hollanových deformetrů (ke konci devět měřících základen a dva etalony). Bylo prováděno každý měsíc po dobu dvou roků. Vyplynulo z něj, že objekt byl stále v pohybu – trhliny se rozevíraly – viz rozšíření hlavní trhliny na rohu stavby – Obr. 2, 6. Proto byl na objekt v roce 1998 zpracován projekt statického zajištění [6] – Obr. 1, 3, 5.



Obrázek 5.: Vedení lan (vlevo), půdorys stavby (vpravo)



Obrázek 6.: Rozevírání hlavní trhliny – viz Obrázek 2

Zvláště důležité bylo měření v době těsně před rekonstrukcí stavby při přípravě napínání (1 x denně), dále během rekonstrukce v únoru 1999 (nepřetržitě) a po ukončení opravy v období cca 1/2 roku po vnesení tlakových sil do stavby, kdy docházelo k vyrovnání napětí ve stěnách (1 x týdně).

Následně byl vliv horizontálního předpětí na zdivo sledován s časovým krokem několika měsíců (průměrný interval byl 6 měsíců) po dobu 14 let. Ukončeno bylo k 31.12.2012, kdy došlo ke změně majitele stavby a bylo nutno měření uzavřít. Po předepnutí objektu již další trhliny nevznikly, stavba se dokonale stabilizovala.

### **3. Návrh předpínání**

Hlavní myšlenkou předpínání bylo vnést vhodné vnější přepínací síly (směru, velikosti, trasování lana) do konstrukce, vyvolávající příznivé ovlivnění rozložení napětí v průřezech. Konstrukce se po předepnutí chovala tak, jak ji to bylo předpětím vnuceno, nečekala na jiný sanační zásah, který by ji uvedl do působení (např. novým zatížením, další deformací apod.), ale byla aktivována téměř ihned.

Všeobecně řečeno, předpětí je nutné aplikovat do konstrukcí staticky a konstrukčně uvážlivě. Statické působení předpětí při sanaci budovy má zvážit kromě příznivého vlivu přepínací síly na samotný objekt i vedlejší vlivy předpětí tak, aby nedocházelo k nežádoucímu přetváření konstrukce vlivem předpětí a tím i k nechtěným, dodatečně vyvolaným škodám. Před opravou se existující trhliny vyplní (injektují) cementovou maltou. Samozřejmě se zajistí, aby vnější síly v konstrukci působily přes tuhé existující stavební celky (např. obvodové zdi stavby).

Konstrukčně zvládnutá aplikace předpětí bezpečně řeší detaily, na nichž je funkce předpětí založena a to z hlediska napětí v materiálech, proveditelnosti, šetrnosti vůči sanované konstrukci, dlouhodobé funkčnosti předpětí a ochrany proti korozi.

Nezvládnuté konstrukční detaily a technologické postupy by totiž mohly negovat i staticky dobře zvládnutý návrh. Obecně nelze totiž říci, že každou konstrukci je možné sanovat pouze předepnutím – vždy je třeba postupovat podle okolností, zjištěných na místě samém a vybrat ten postup, který se jeví jako nejlepší.

### **4. Princip chování zdiva**

Pro lepší pochopení chování zdiva je vhodné připomenout proces porušení (spolupůsobení) zdiva. Zdivo se skládá ze dvou složek – zdících prvků a pojiva, které spolu vzájemně spolupůsobí. Výsledná pevnost zdiva je většinou menší než pevnost cihel, na druhé straně větší než

pevnost malty. To je způsobeno tím, že sekundární tahová napětí, která vznikají v pojivu v důsledku jeho rovnoběžným stlačování se směrem zatížení, zároveň způsobují jeho roztažení ve směru vodorovném. Tato roztažnost vyvolává tahové trhliny ve zdících prvcích.

Poněvadž spára nebývá vždy dokonale vyplněna maltou, nejsou zdící prvky rovnoměrně zatíženy a chovají se částečně jako nosníky na elastoplastickém podkladě; k tomu přispívá ještě vliv ohybového namáhání cihel.

Faktory, které nejvíce ovlivňují pevnost zdiva stavby jsou:

- Pevnost v tlaku a tahu cihly a malty.
- Velikost (především výška) a tvar cihly.
- Výška a provedení ložných a styčných spár.
- Složení, zejména velikost zrna kameniva malty.
- Zpracovatelnost a přídržnost malty.
- Nasákavost cihel.
- Vazba zdiva.

Zatížení obvykle působí kolmo na ložnou spáru cihly. Tento druh namáhání je podrobně popsán jak v normách, tak i v jiné odborné literatuře, zabývající se pevností zdiva; totéž platí i pro jeho přetvárné vlastnosti.

Jak bylo uvedeno výše, u zesilování zděných objektů předpínacími lany je nezbytné znát charakteristiky zdiva namáhaného rovnoběžně s ložnou spárou. Tento druh namáhání je podstatně méně propracovaný; přesto je možné najít mnoho autorů, kteří se jím zabývali [1, 2, 3, 4].

## 5. Pevnost zdiva rovnoběžná s ložnou spárou

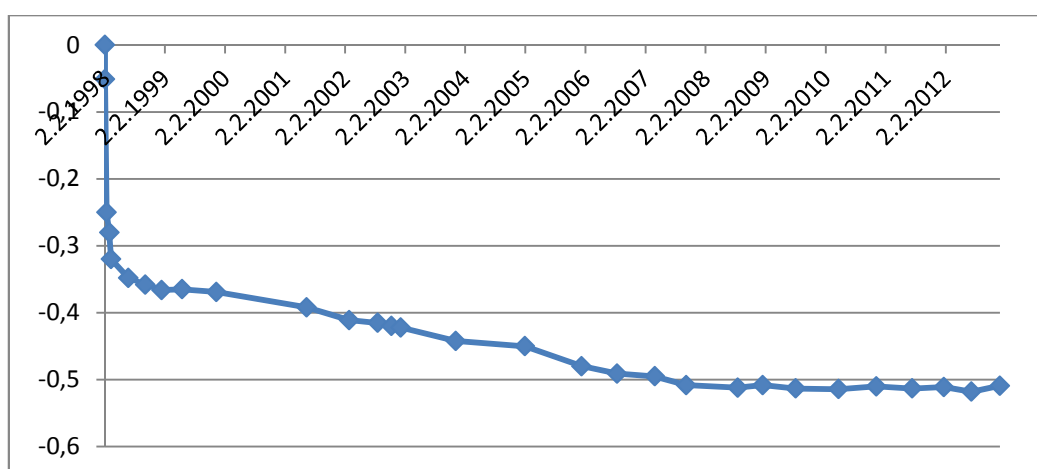
V Německu [2] a také na FAST VUT v Brně [9] byl prováděn rozsáhlý experiment se zdivem s monitorováním pevnosti zdiva rovnoběžně s ložnými spárami. Z pokusů vyplynulo, že u pálených cihel se vyskytuje zcela zřejmé odstupňování středních poměrných hodnot pevností mezi plnými cihlami, příčně děrovanými cihlami a lehkými příčně děrovanými cihlami. Přitom mohou být jednotlivé hodnoty (jak to ukazují výsledky vyhodnocení) velmi nízké a v extrémních případech mohou obnášet  $f_h = 0,1 - 0,2 f_d$ .

Je třeba poznamenat, že u historických objektů, pro které je zesilování lany obzvláště vhodné, byly velikosti pevnosti  $f_h$  vždy stanoveny pečlivým studiem stavu zdiva opravovaného objektu, zejména bylo zkoumáno vyplnění svislých spár zdiva maltou. Je totiž třeba říci, že kvalita vyplnění svislých spár maltou je pro pevnost zdiva rozhodující – nejsou-li spáry

dobře vyplněny, pak lze očekávat nízké hodnoty  $f_{hr}$  u zdiva se zcela zaplněnými spárami hodnoty  $f_h$  vyšší [1, 2, 6, 7, 10].

Stanovení hodnoty  $f_d$  se většinou zajišťuje nedestruktivními zkouškami, tj. pomocí Schmidta tvrdoměru u cihel a Kučerovou vrtačkou u malty. Spolupráce s odborníky, např. z ÚSZ FAST VUT v Brně, je přitom vždy na místě.

## 6. Výsledky měření



Obrázek 7.: Průběh deformace zdiva štítové zdi

Na Obr. 7 je znázorněna deformace zdiva měnícího se s časem po dobu měření. Je patrné, že i po skončení předpínání se základny dále podélně deformovaly (dotvarovaly). Z časového pohledu můžeme velikost dotvarování rozdělit do čtyř intervalů:

- Okamžik vnesení předpětí.
- Doba kolem 9 dnů po vnesení předpětí.
- Doba mezi 9 – 40 dny od vnesení předpětí.
- Doba nad 40 dnů po vnesení předpětí.

Po dokončení předpínání vzrostly deformace takto:

- Do 9 dnů cca na 5-násobek okamžité deformace.
- Do 40 dnů cca na 6-násobek okamžité deformace.
- Nad 40 dnů cca na 7-násobek okamžité deformace.

Z měření je zřejmé, že po 14 letech od předepnutí stavby stále dochází k mírnému zklidňování deformací. Okolní vlivy, především změny teploty, změny vlhkosti v podloží apod. nemají již podstatný vliv.



## 7. Závěr

Pokusný objekt byl dlouhodobě pozorován a jeho deformace měřeny. **V dostupné literatuře nebylo nalezeno podobné vyhodnocení deformací předepjatého objektu. Bylo to zřejmě poprvé, kdy byl po tak dlouhou dobu pokusný, horizontálním předpětím stabilizovaný zděný objekt měřen.** Výsledky ukázaly; že se velikost ztrát je potom závislá na velikosti protažení použité předpínací výztuže.

V popisovaném případě bylo lano (monostrand) v dolním pásu zdiva napnuto na 160 kN (relativní protažení hodnoty 0,00593, velikost ztráty 16%). V horním pásu bylo lano napnuto na hodnotu 100 kN (relativní protažení 0,0037, velikost ztráty 12%). Z uvedeného plyne, že ztráty po 14tiletém dotvarování zdiva souhlasí s původně předpokládanou rezervou velikosti 20% původní předpínací síly.

Ze srovnání změřeného stlačení zdiva předpínáním a výsledného stlačení na pokusném objektu vychází, že dotvarování je v tomto případě až 6,5 násobek pružného stlačení.

Trvalé předpětí lze v horizontálně zesílené konstrukci dosáhnout pouze při použití vysoce tažných předpínacích ocelí. Průřezy předpínacích lan (monostrandů nebo spletců) je nutno přizpůsobit navrženým předpínacím silám. Hlavní deformace u sledovaného objektu proběhly (a je tomu i u jiných předepnutých objektu) do 1/2 roku po ukončení vnesení sil do stavby.

## Poděkování

Tento výsledek byl získán za finančního přispění MŠMT ČR, v rámci výzkumného záměru MSM 0021630519 „Progresivní spolehlivé a trvanlivé nosné stavební konstrukce“.

## Literatura

- [1] Bažant, Z.; Klusáček, L.: Statika při rekonstrukcích objektů. 5. doplněné vydání, CERM Brno, 8/2010, ISBN 978-80-7204-692-8
- [2] Schubert, P.; Hoffmann, G.: Druckfestigkeit von Mauerwerk parallel zu den Lagerfugen. Mauerwerk-Kalender 1994, Ernst & Sohn Berlin

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

[3] Košatka, P.; Broukalová, I.: Navrhování zděných konstrukcí – příručka k ČSN EN 1996-1-1, Informační centrum ČKAIT Praha 2010, ISBN 978-80-87438-02-2

[4] Klusáček, L.; Šulák, P.; Bažant, Z.: Short-term and Long-term Strain Behaviour of Masonry Structure Post-tensioned horizontally. Sborník příspěvků 12<sup>th</sup> International Conference and Exhibition „Structural and Repair 2008“ Edinburgh 13<sup>th</sup> – 15<sup>th</sup> June 2006, SD ROM

[5] Klusáček, L.; Bažant, Z.: Strain Behaviour of Masonry Structures stabilised using horizontal Post-tensioning. Sborník příspěvků „12<sup>th</sup> International Scientific Conference“, April 20 – 22, 2009 Brno, Czech Republic

[6] Šulák, P.: Dlouhodobé sledování chování předpjaté konstrukce. Seminář „Zpevnování, těsnění a kotvení horninového masívu a stavebních konstrukcí 2008“, ISBN 978-80-248-1715-6

[7] Šulák, P.: Problematika měření předepnutých zděných objektů. Konference „Zkoušení a jakost ve stavebnictví, říjen 2011 Brno“, ISBN 978-80-248-1715-6

[8] Klusáček, L.: Statické zajištění rekreačního objektu. KL – projekt, 1998

[9] Terzijski, I., Klusáček, L., Bažant, Z., Strnad, J., Ducháč, P., Kratochvíl, M., Volf, M., Požár, M.: Stanovení deformačních charakteristik zdiva. Stavební obzor 1/2012, , ISSN 1210-4027

[10] Zich, M., Bažant, Z.: Manuál a metodika navrhování a provádění dodatečného předpínání stavebních konstrukcí. ÚBZK FAST v Brně, 11/2011

## **Kontakt**

Ing. PAVEL ŠULÁK, Ph.D., tel: 00420 541 147 866, e-mail: sulak.p@fce.vutbr.cz, Ústav betonových a zděných konstrukcí, FAST VUT v Brně, Veverí 95, 602 00 Brno

Doc. Ing. ZDENĚK BAŽANT, CSc., tel: 00420 541 147 862, e-mail: bazant.z@fce.vutbr.cz, Ústav betonových a zděných konstrukcí, FAST VUT v Brně, Veverí 95, 602 00 Brno

## STANOVENIE MRAZUVZDORNOSTI PÁLENEJ KRYTINY PODĽA MAAGEHO

## DETERMINATION OF FROST RESISTANCE OF CLAY ROOFING TILE ACCORDING TO MAAGE

Mikuláš Šveda<sup>1</sup>, Matej Kerestúr<sup>1</sup>,  
Lenka Nevřivová<sup>2</sup>, Radomír Sokolář<sup>2</sup>

<sup>1</sup>) Stavebná fakulta STU v Bratislave

<sup>2</sup>) Fakulta stavební VUT v Brně

**Anotácia:**

*Stanovenie mrazuvzdornosti pálenej krytiny na základe jej pórovej štruktúry nie je doteraz jednoznačné. Existuje niekoľko odporúčaní alebo matematických vzťahov, pomocou ktorých sa predikuje mrazuvzdornosť tehliarskeho črepu. Medzi najčastejšie používaný patrí matematický vzťah podľa Maageho.*

**Annotation:**

*Determination of frost resistance of roofing tile on the basis of its pore structure is so far not sufficiently clear. There is a number of recommendations or mathematical formulas by means of which we can predict the frost resistance of a brick body. Among the most frequently used is the mathematical relationship according to Maage.*

**Kľúčové slová:** Tehliarsky črep, pálená krytina, pórová štruktúra, zmrazovanie a rozmrazovanie,

**Keywords:** Brick body, roofing tile, pore structure, freezing and thawing

## 1. Úvod

Vysoká mrazuvzdornost' pálenej krytiny patří ku znakom dobrej kvality tehliarskeho výrobku. Pod pojmom „mrazuvzdornost' pálenej krytiny“ rozumieme aj schopnosť pálenej krytiny odolávať za predpísaných podmienok stanovenému počtu cyklov zmrazovania a rozmrazovania bez následného vzniku porúch na črepe alebo glazúre.

Jednotlivé fyzikálne vlastnosti tehliarskeho črepu, ako napr. objemová hmotnosť, pevnosť v tlaku a tepelná vodivosť sú ovplyvnené jej pórovou štruktúrou do takej miery, že vzájomné vzťahy medzi nimi môžu byť vyjadrené matematickými vzťahmi, ako je uvedené v lit. [1]. Aj v oblasti mrazuvzdornosti tehliarskych výrobkov, ale predovšetkým v oblasti pálenej krytiny sa už veľa rokov hľadá presný korelačný vzťah medzi vlastnosťami pórovej štruktúry a mrazuvzdornosťou [2-8].

Väčšina autorov uvažuje pri hodnotení mrazuvzdornosti až s niekoľkými faktormi súčasne, ako sú napr. objem pórov, podiel objemu pórov nad konkrétnym priemerom, vzlínavosť, medián polomeru pórov atď.). Z mnohých prác je tiež ťažko určiť, ktorý z uvedených faktorov hrá primárnu a ktorý sekundárnu úlohu. Vo väčšine prípadov môžeme vydedukovať, že objem pórov je tým hlavným faktorom, ktorý má najväčší vplyv na mrazuvzdornosť tehliarskeho črepu. Až v lit. [9] sa prvýkrát uvádzajú zaujímavé poznatky o súčasnom vplyve objemu a mediánu polomeru pórov na mrazuvzdornosť tehliarskeho črepu. Tu sa uvádza, že pri takmer rovnakom objeme pórov sa dosiahla rôzna mrazuvzdornosť. V tomto prípade sa konštatuje, že hlavnou príčinou bola práve rôzna hodnota mediánu polomeru pórov. Podobné výsledky sa dosiahli aj v práci [10]. Tieto poznatky poukazujú na skutočnosť, že pri hodnotení mrazuvzdornosti objem pórov zohráva sekundárnu a medián polomeru pórov primárnu úlohu. Toto tvrdenie bolo potvrdené aj v prácach [5,9,10], kde so zvyšovaním hodnoty mediánu polomeru pórov mrazuvzdornosť rástla.

Autori sa v tomto príspevku bližšie venujú matematickému vzťahu podľa Maageho (1), ktorý patrí v oblasti posudzovania mrazuvzdornosti pálenej krytiny medzi najviac analyzovaný vzťah [3]:

$$F = 3,2/PV + (2,4 \times P3) \quad (1)$$

F – faktor mrazuvzdornosti,  
 PV – celkový objem pórov v  $\text{cm}^3/\text{g}$ ,  
 P3 – objem pórov v percentách pre póry s priemerom  $> 3 \mu\text{m}$ .

Podľa vypočítanej hodnoty F je možné stanoviť mrazuvzdornosť tehliarskych výrobkov takto:

F > 70            výrobok je mrazuvzdorný,  
 F = 55 – 70      mrazuvzdornosť je neistá,  
 F < 55            výrobok je nemrazuvzdorný.

V práci Raimonda a kol. [11], ktorí posudzovali aj tento vzťah na 13-tich tehliarskych výrobkoch, len v jednom prípade vypočítaná hodnota F zodpovedala stanovenej skutočnosti. Z tohto dôvodu sa autori v predkladanom príspevku pokúšajú overiť platnosť tohto vzťahu na postupnej zmene pórovej štruktúry piatimi rôznymi prísadami na báze zeolitov a bentonitov.

## 2. Vstupné suroviny

Pri výrobe skúšobných vzoriek bola ako základná surovina použitá granulometricky a mineralogicky upravená (90 % Šlapanice + 10 % Dolní Jirčany) tehliarska zemina z tehelne Šlapanice. K tejto upravenej surovine (max. zrno 1 mm) sme pridávali päť prísad (v dávkach 1 až 10 %). Ich názov a základné charakteristiky sú uvedené v tab. 1.

*Tabuľka 1.: Základné charakteristiky aplikovaných prísad*

Ozn.	Názov prísady	Dôležitá charakteristika
B	bentonitový odpad, ENVIGEO, s.r.o., Banská Bystrica	98,5 % zrn $< 0,5 \text{ mm}$ a 1,5 % nad 1,5 mm
BV	bentonitový kal, VILLA VINO Rača, a.s., Bratislava	frakcia: 0 – 0,05 mm a vysoký podiel vyhorievajúcich látok
Z	zeolitové odprašky, Zeocem, a.s. Bystré	75 až 85 % zrn $< 0,05 \text{ mm}$ a zrn nad 0,2 mm $< 1 \%$ .
ZAN	Zeolitový produkt Klinopur-Mn (nepomletý)	monofrakcia: 0,5 – 1,0 mm
ZAP	Zeolitový produkt Klinopur-Mn (pomletý)	97,5 % zrn $< 0,045 \text{ mm}$

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

### **3. Skúšobné vzorky**

Z pripravených surovín sa vypracovalo cesto konštantnej plasticity (Pfefferkorn =  $33 \pm 0,5$  mm) podľa STN 72 1074. Takto pripravené cestá odležali 24 hodín vo vlhkom prostredí. Po odležaní sa vyrobili skúšobné vzorky rozmerov 100x50x20 mm, ktoré sa potom uložili na perforované rošty, kde sa počas 48 hodín zisťovali hodnoty pre stanovenie Bigotovej krivky. Vzorky pred uložením do pece sa ešte vysušili v laboratórnej sušiarňi do ustálenia hmotnosti. Výpal sa uskutočnil v elektrickej laboratórnej peci s regulovaným režimom pálenia. V peci bolo stabilné oxidačné prostredie. Pre výpal sa použila páliaca krivka, ktorá sa používa v tehelni Šlapanice s max. teplotou výpalu 1055 °C.

### **4. Stanovenie vybraných vlastností**

#### **4.1. Stanovenie pracovnej vlhkosti**

Pracovná vlhkosť sa stanovila podľa normy STN (ČSN) 72 1074 pri konštantnej plasticite cesta podľa Pfefferkorna  $30 \pm 0,5$  mm.

#### **4.2. Stanovenie dĺžkovej zmeny celkovej**

Dĺžková zmena celková sa stanovila po vypálení skúšobných vzoriek podľa normy STN (ČSN) 72 1565, časť 5 s presnosťou merania na 0,01 mm.

#### **4.3. Stanovenie objemu a mediánu polomeru pórov**

Pórová štruktúra tehliarskeho črepu bola stanovená vysokotlakovým ortuťovým porozimetrom Thermo Finnigan Pascal 240 firmy Thermo Scientific na Ústave technologickej stavebných hmôt a dílců, FAST VUT v Brně. Vzorky pre stanovenie pórovej štruktúry boli odrezávané pred zmrazovacími cyklami špeciálnym rezným kotúčom.

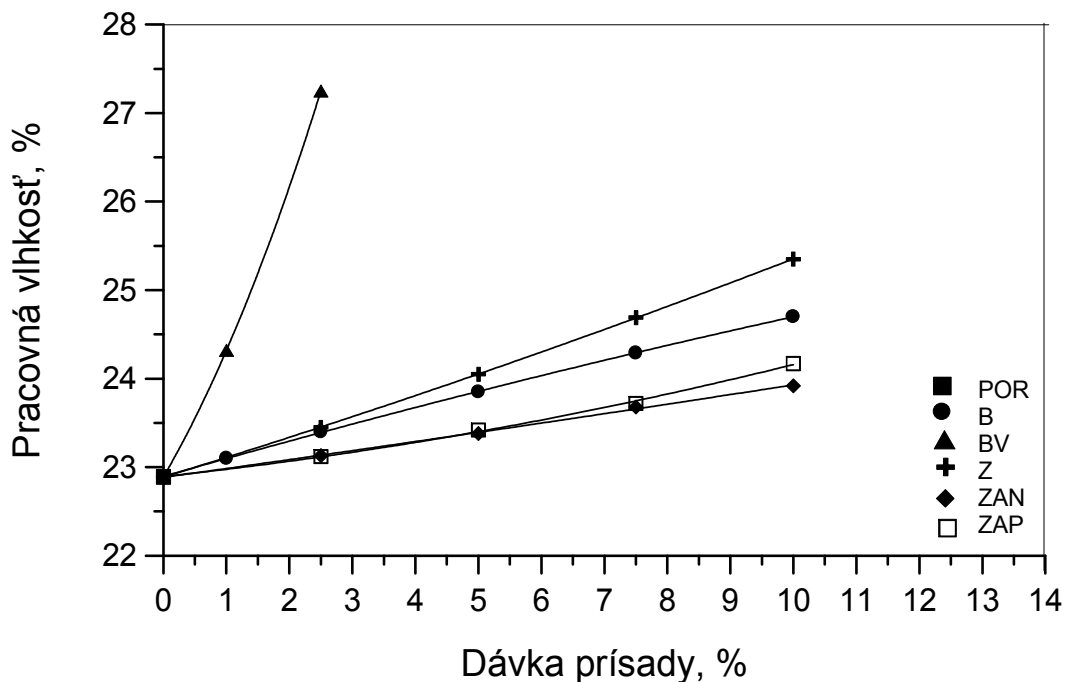
#### **4.4. Stanovenie mrazuvzdornosti**

Mrazuvzdornosť vodou nasýtených vzoriek bola stanovená v súlade s normou STN (ČSN) 72 20606 použitím klasického cyklovania voda – mráz 16 h pri teplote vzduchu  $-18 \pm 2$  °C a 2 h vo vode pri teplote

18 ± 2 °C). Vizually pozorovanie skúšobných vzoriek, pri ktorých sa sledoval vznik prvej trhliny, bolo vykonané po každých piatich zmrazovacích cykloch.

## 5. Dosiahnuté výsledky

So zvyšovaním dávky aplikovaných prísad sledujeme ich rôzny účinok na pracovnú vlhkosť pri jej konštantnej plasticite, pozri obr. 1. Je to jeden z dôležitých faktorov, ktorý ovplyvňuje pórovú štruktúru tehliarskeho črepu, t.j. objem a medián polomeru pórov, pozri obrázky 2 a 3.



Obrázok 1.: Vplyv dávky prísady na pracovnú vlhkosť cesta

Ďalším dôležitým faktorom, ktorý ovplyvňuje pórovú štruktúru tehliarskeho črepu je dĺžková zmena celková, pozri obr. 4 a 5.

Pri zobrazení vzájomného vzťahu medzi objemom pórov a mediánom polomeru pórov vidíme zaujímavý priebeh, pozri obr. 6. Pri klesajúcom objeme pórov (spôsobené prítomnosťou prísad B, Z a ZAP) je prírastok mediánu polomeru oveľa menší ako v prípade rastúceho objemu pórov (spôsobené prítomnosťou prísad BV a ZAN). Tento zaujímavý pomer

medzi objemom pórov a mediánom polomeru pórov zohráva dôležitú úlohu v dosiahnutom počte zmrazovacích cyklov, pozri obr. 7 a 8.

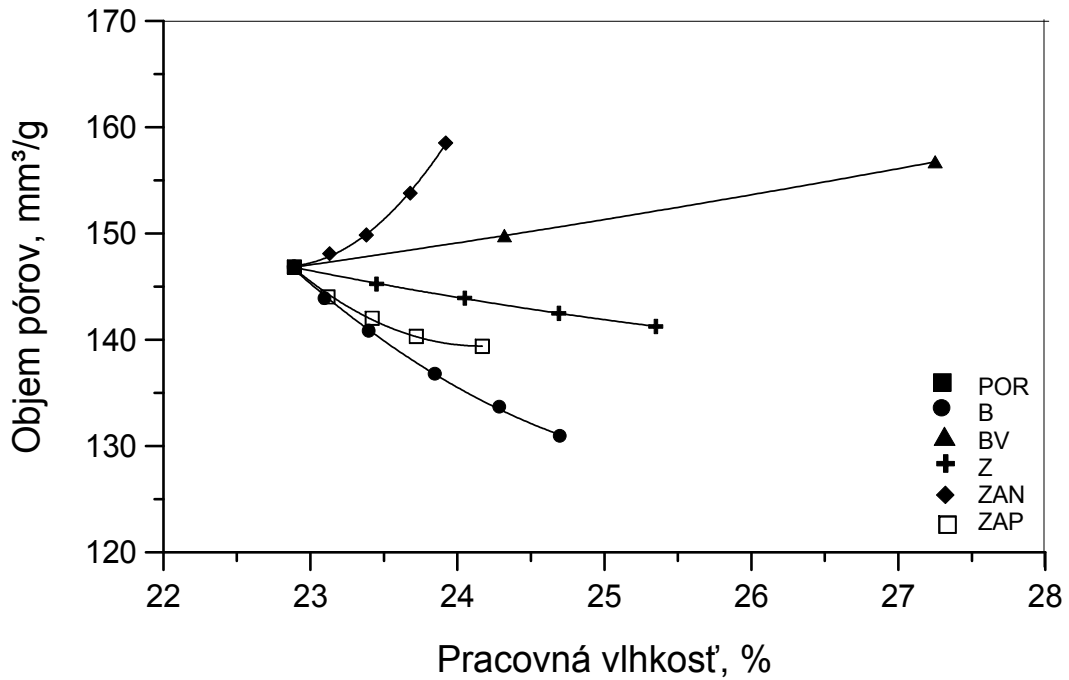
Obrázok 7 zobrazuje vplyv objemu pórov na mrazuvzdornosť tehliarskeho črepu pri aplikácii jednotlivých prísad. Počet zmrazovacích cyklov rastie nielen pri klesajúcom objeme pórov, ale aj v prípade ich rastu. Nárast počtu zmrazovacích cyklov je však oveľa intenzívnejší v prípade poklesu objemu pórov ako v prípade ich rastu. V prípade vplyvu mediánu pomeru pórov na počet zmrazovacích cyklov sledujeme vo všetkých prípadoch ich nárast, pozri obr. 8. Pri aplikácii prísad B, Z a ZAP ide o intenzívnejší nárast ako pri prísadách BV a ZAN.

Na záver sme vybrané vlastnosti pórovej štruktúry tehliarskeho črepu získané s jednotlivými prísadami použili pri vyhodnotení faktora mrazuvzdornosti podľa vzťahu (1). Graficky sú tieto výsledky zobrazené na obr. 9. Na tomto obrázku môžeme vidieť pomerne veľký rozptyl medzi vypočítaným faktorom mrazuvzdornosti  $F$  a počtom zmrazovacích cyklov. Bohužiaľ ani v jednom prípade nemôžeme konštatovať, že ide o mrazuvzdorný tehliarsky črep, nakoľko ich faktory mrazuvzdornosti sú menšie ako 70.

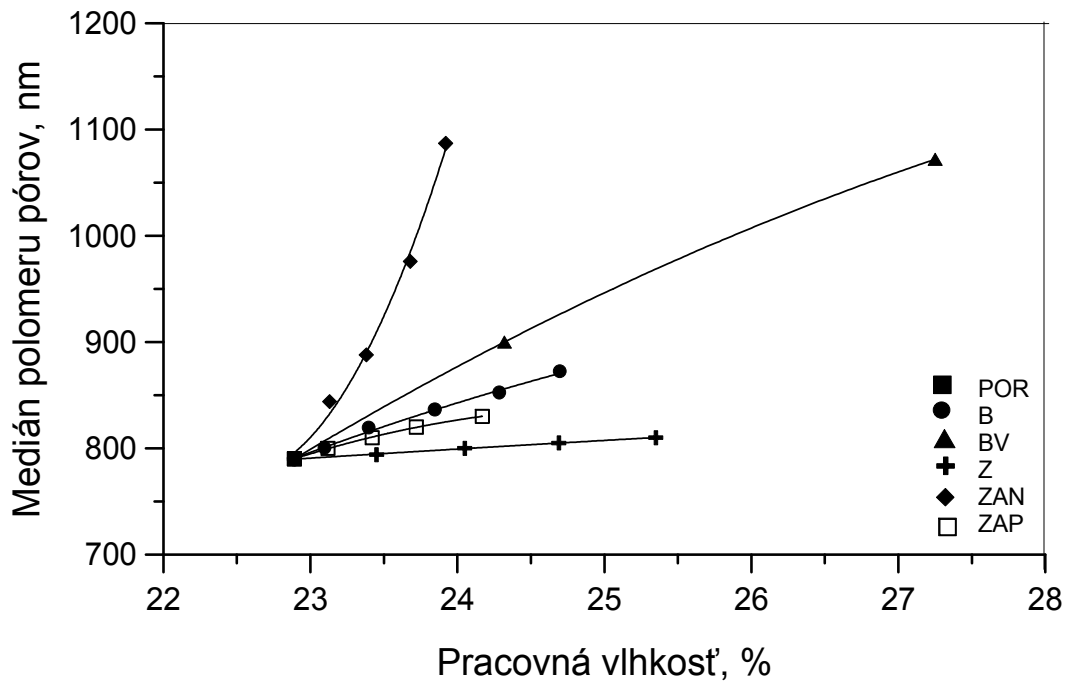
Z hľadiska rozptylu môžeme na obr. 9 vidieť tri skupiny dosiahnutých výsledkov. Prvá skupina je zastúpená tehliarskym črepom, kde faktor mrazuvzdornosti  $F$  dokonca klesá. Tento tehliarsky črep vznikol prítomnosťou prísady BV, ktorá je charakterizovaná vysokým podielom zŕn pod 0,05 mm, ale aj s vysokým podielom vyhorievajúcich látok. Druhú skupinu predstavuje tehliarsky črep pripravený na báze prísad B, Z a ZAP, ktoré sú charakterizované len vysokým podielom zŕn pod 0,5 mm. Tretiu skupinu predstavuje črep, kde faktor mrazuvzdornosti  $F$  rastie veľmi rýchle v porovnaní s počtom zmrazovacích cyklov. Tento črep bol pripravený prítomnosťou prísady ZAN, ktorá je charakterizovaná ako monofrakcia 0,5 – 1 mm.

Pozrime sa späť na obr. 2 a 3, a to konkrétne na dosiahnuté výsledky s prísadami BV a ZAN, ktoré predstavujú zástupcov z prvej a tretej skupiny. Prítomnosť obidvoch prísad v tehliarskom črepe spôsobila nárast objemu pórov a súčasne aj nárast mediánu polomeru pórov. V prípade prísady BV to spôsobil vysoký podiel vyhorievajúcich látok a v prípade prísady ZAN bola stanovená najmenšia dĺžková zmena celková, pozri obr. 4. Na tomto obrázku máme možnosť vidieť tiež dôležitý vplyv zmeny granulometrie (prísady ZAN a ZAP) na objem pórov, prípadne na obr. 5 aj na medián polomeru pórov.

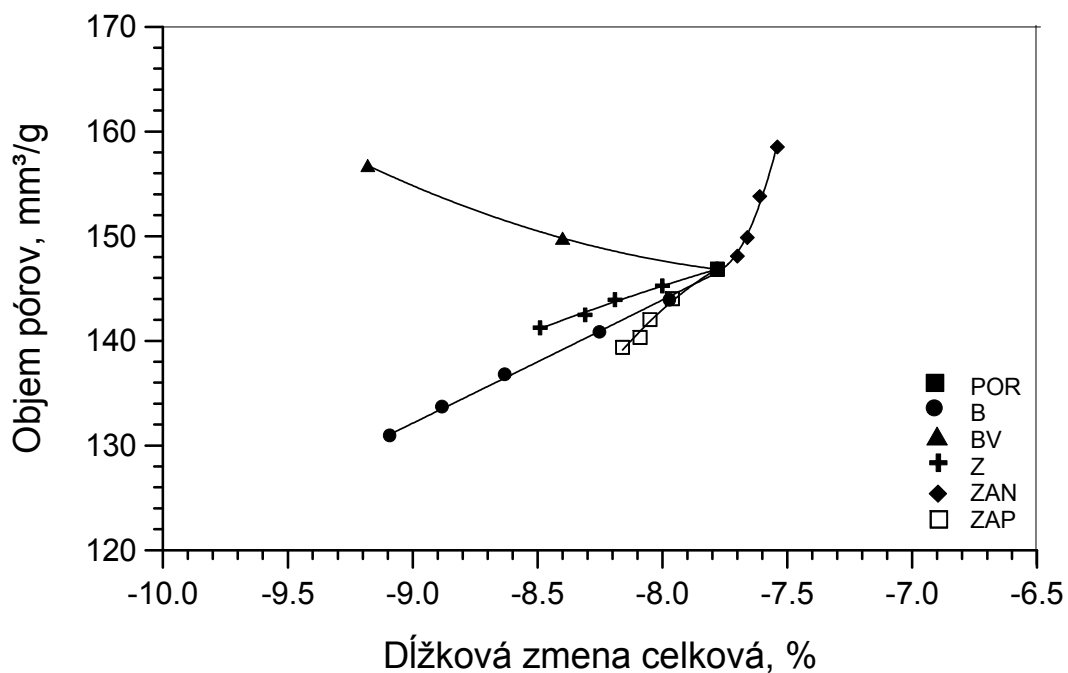




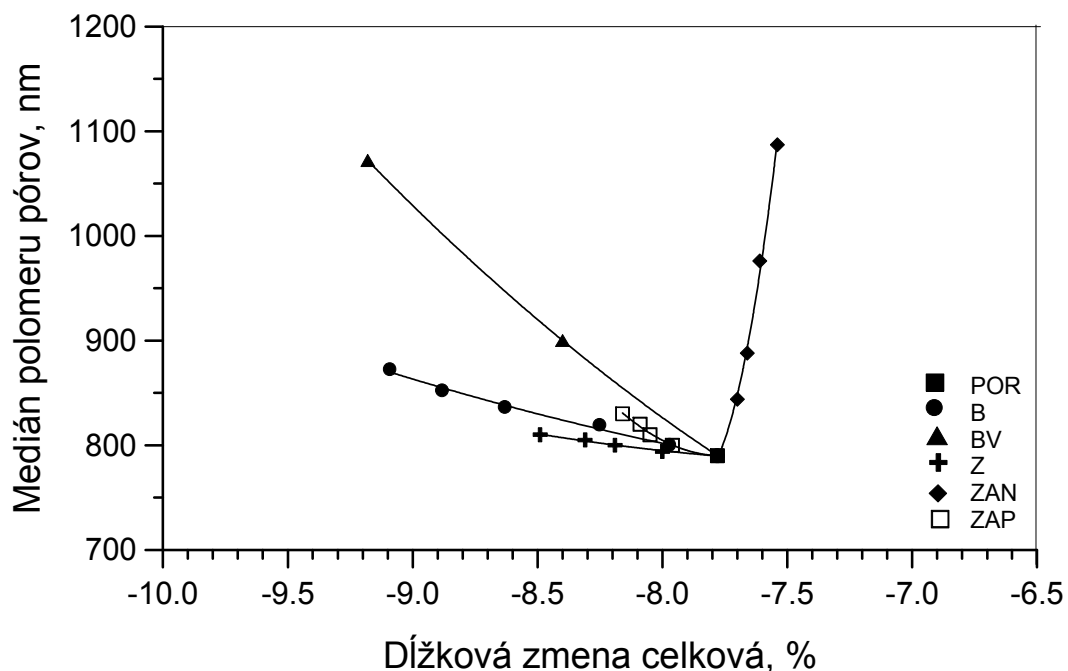
Obrázok 2.: Vplyv pracovnej vlhkosti cesta na objem pórov



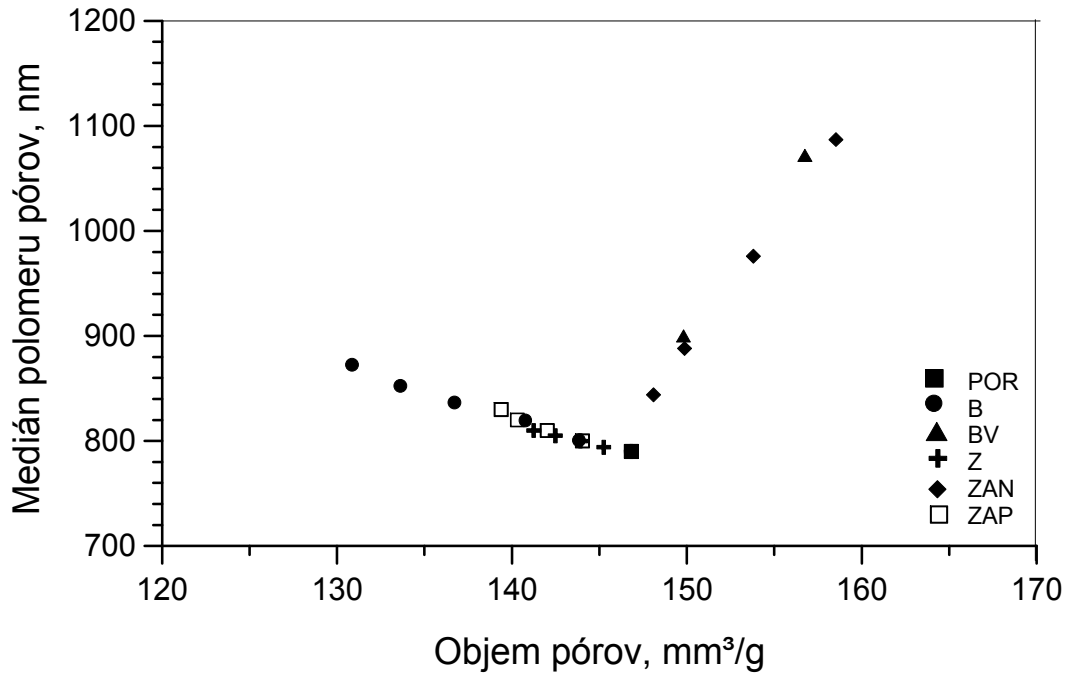
Obrázok 3.: Vplyv pracovnej vlhkosti cesta na medián polomeru pórov



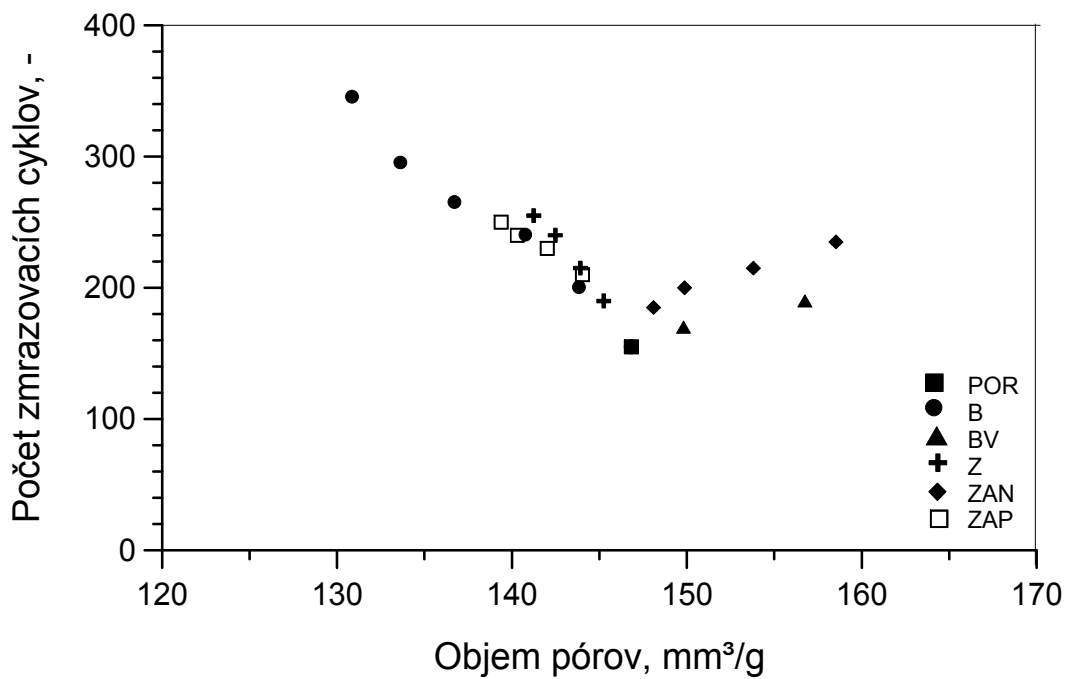
Obrázok 4.: Vplyv dížkovej zmeny celkovej na objem pórů



Obrázok 5.: Vplyv dížkovej zmeny celkovej na medián polomeru pórů



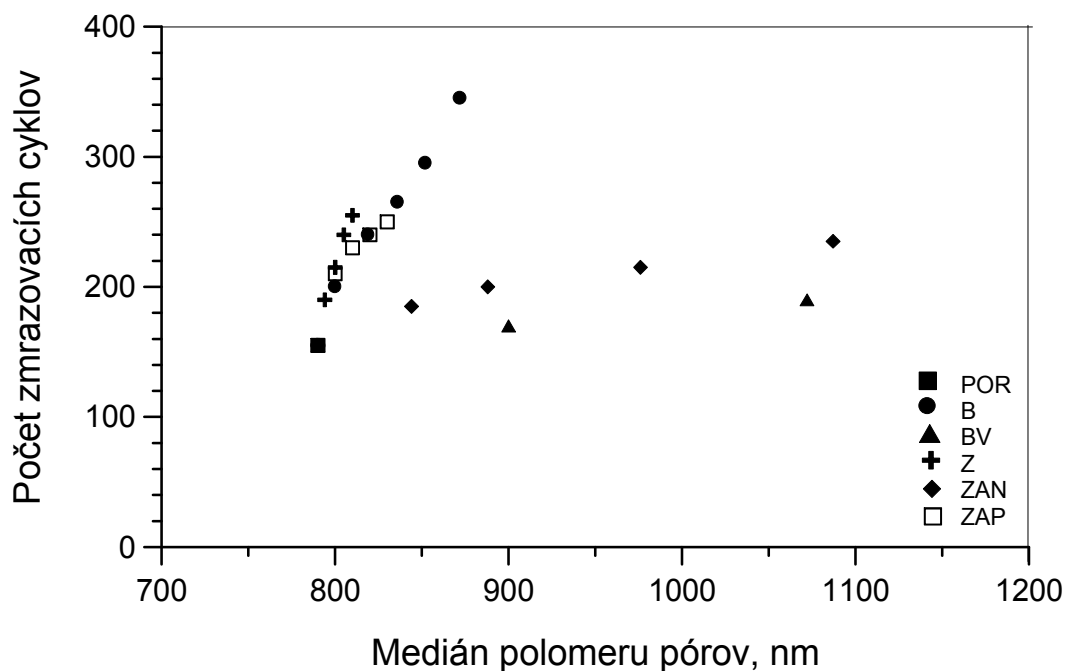
Obrázok 6.: Vzájomná závislosť medzi objemom pórov a mediánom polomeru pórov



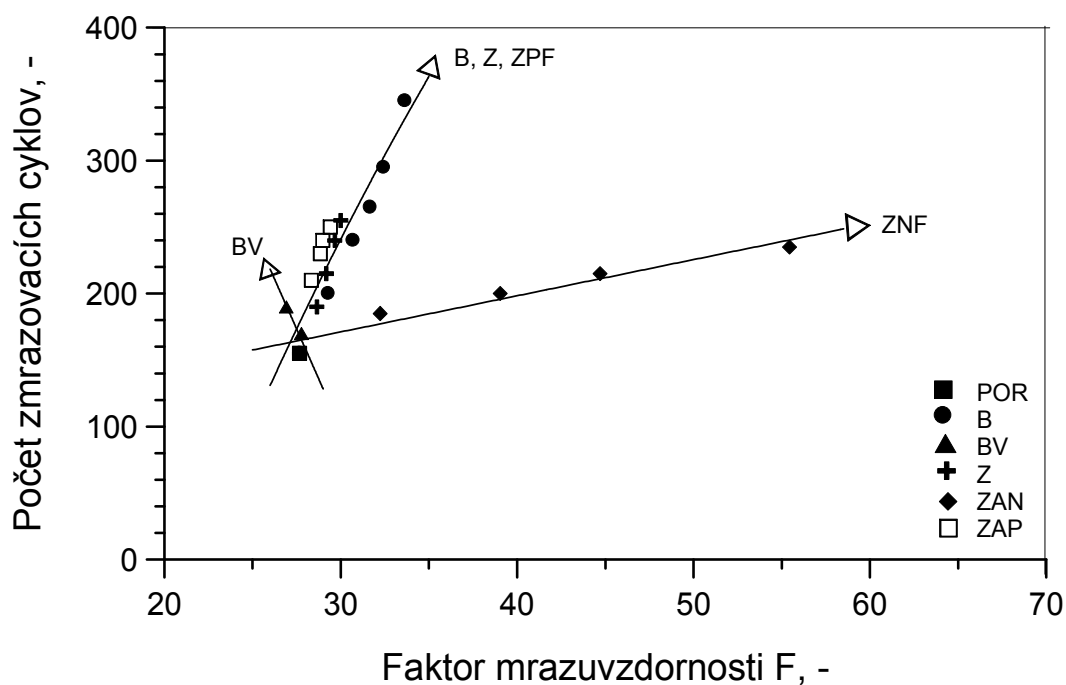
Obrázok 7.: Vplyv objemu pórov na počet zmrazovacích cyklov

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví



Obrázok 8.: Vplyv mediánu polomeru pórov na počet zmrazovacích cyklů



Obrázok 9.: Vzťah medzi faktorom mrazuvzdornosti podľa Maageho a počtom zmrazovacích cyklů

## 6. Zhodnotenie a záver

Na základe aplikácie piatich rôznych prísad, ktoré boli pridávané v dávkach 1 až 10 % k tehliarskej hline, boli po vypálení získané skúšobné vzorky s rôznou pórovou štruktúrou. Naša pozornosť bola v prvej časti výskumu sústredená na zmenu pórovej štruktúry (objem pórov a medián polomeru pórov) v závislosti od vplyvu pracovnej vlhkosti cesta a od dĺžkovej zmeny celkovej vypáleného črepu.

Prvá časť výsledkov poukazuje na skutočnosť, že mrazuvzdornosť tehliarskeho črepu závisí od objemu a mediánu polomeru pórov. Zistili sme zaujímavú skutočnosť, že aj pri miernom zvyšovaní objemu pórov nedochádzalo k poklesu mrazuvzdornosti, ak hodnoty mediánu polomeru pórov súčasne výrazne rástli.

V druhej časti sme vybrané vlastnosti pórovej štruktúry tehliarskeho črepu získané s jednotlivými prísadami použili pri posúdení mrazuvzdornosti podľa Maageho. Získali sme pomerne veľký rozptyl medzi faktorom mrazuvzdornosti  $F$  a počtom zmrazovacích cyklov.

Záverom môžeme konštatovať, že matematický vzťah podľa Maageho pri posudzovaní faktora mrazuvzdornosti  $F$  nevyhovel ani v jednom z posudzovaných prípadov. Súčasne hodnota tohto faktora je veľmi ovplyvniteľná podielom vyhorievajúcich látok vo vstupnej surovine a samotnou jej granulometriou.

## Pod'akovanie

Tento príspevok bol pripravený v rámci projektu VEGA č. 1/0517/11 – Modifikovanie pórovej štruktúry pálenej krytiny aplikáciou surovín na báze zeolitov a bentonitov.

## Literatúra

[1] ŠVEDA, M.: New look at mathematical relationships among physical properties of brick products. *British Ceramic Transactions*, Vol. 99, No. 3, 2000, pp. 181-186.

[2] LACH, V.; VOBORSKÝ, Z.: About the problem of frost-resistance of roof tiles. *Loggie*, Vol. 1<sup>o</sup>, No. 2, 1991, pp. 73-81.

- [3] MAAGE, M.: Frost resistance and pore size distribution in bricks. Part 1. *Ziegelindustrie Int.*, Vol. 43, No. 9, 1990, pp. 472–481, No. 10, 1990, pp. 582–588..
- [4] ARNOTT, M.: Investigation of freeze-thaw durability, *In NRC-IRC Report N. CR 5680.1*, Nat. Res. Council of Canada, Ottawa, Canada, 1990.
- [5] FRANKE, L. AND BENTRUP, H.: Evaluation of the frost resistance of bricks in regard to long service life. Part 1. *Ziegelindustrie Int.*, Vol. 46, No. 7-8, 1993, pp. 483–492, Part 2, No. 9, 1993, pp. 528–536.
- [6] KOROTH, R., FAZIO, P. AND FEDMAN, D., Development of new durability index for clay bricks. *Journal of Architectural Engineering*, Vol. 4, No. 1, 1998, pp. 26-34, No.3, 1998, pp. 87-93.
- [7] ROBINSON, G. C., Relation between physical properties and durability of commercial marketed bricks. *Am. Ceram. Soc. Bull.*, Vol. 78, No. 12, 1995, pp. 1071–1075.
- [8] VINCENZINI, P., Le prove di laboratorio nella previsione del comportamento al gelo dei materiali ceramici per l'edilizia. *Ceramurgia*, Vol 4, No. 3, 1974, pp. 176–188.
- [9] ŠVEDA, M.: Effect of water absorption on frost resistance of clay roofing tiles. *British Ceramic Transactions*, Vol. 102, No. 1, 2003, pp. 43-45
- [10] ŠVEDA, M.: Einfluß der Porenstruktur auf die Frostbeständigkeit von Ziegelprodukten. *Ziegelindustrie Int.*, Vol. 52, No. 7, 1999, pp. 80-85
- [11] RAIMONDO. M. a kol.: Durability of clay roofing tiles: the influence of microstructural and compositional variables. *Journal of the European Ceramic Society*, Vol. 29, 2009, pp. 3121-3128.

## Kontakt

Prof. Ing. MIKULÁŠ ŠVEDA, PhD., tel: 00421 259 274 684, e-mail: mikulas.sveda@stuba.sk, Katedra materiálového inžinierstva, Stavebná fakulta STU v Bratislave, Radlinského 11, 813 68 Bratislava  
Ing. MATEJ KERESTÚR, tel: 00421 259 274 684, e-mail: matej.kerestur@stuba.sk, Katedra materiálového inžinierstva, Stavebná fakulta STU v Bratislave, Radlinského 11, 813 68 Bratislava  
Ing. LENKA NEVRÍVOVÁ, PhD., tel: 00420 541 147 510, e-mail: nevrivova.l@fce.vutbr.cz, Ústav technologie stavebních hmot a dílců, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.  
Doc. Ing. RADOMÍR SOKOLÁŘ, PhD., tel: 00420 541 147 510, e-mail: sokolar.r@fce.vutbr.cz, Ústav technologie stavebních hmot a dílců, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

**LABORATORNÍ PROVĚŘENÍ VHODNOSTI  
NEUTRALIZAČNÍHO KALU K  
SOLIDIFIKACI/STABILIZACI S CÍLEM VYUŽITÍ  
V PROCESU REKULTIVACÍ A VE STAVEBNICTVÍ**

**LABORATORY VERIFICATION  
OF NEUTRALIZATION SLUDGE SUITABILITY  
FOR SOLIDIFICATION/STABILIZATION  
WITH THE AIM OF USE IN THE RECLAMATION  
PROCESS AND BUILDING INDUSTRY**

**Božena Vacenovská, Rostislav Drochytka,  
Vít Černý**

Ústav technologie stavebních hmot a dílců,  
Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně

***Anotace:***

*Úkolem laboratorního prověření v rozsahu tohoto příspěvku bylo z vybraných neutralizačních kalů vybrat ty odpady, které se budou na základě laboratorního prověření jevit jako nejvhodnější pro další fázi ověření možnosti jejich využití pro přípravu solidifikátů na vyvinuté technologické lince.*

***Annotation:***

*The task of the laboratory verification in the scope of this paper was to choose from selected neutralization sludge those wastes, which based on laboratory testing will appear to be the most suitable for the next stage of the verification of the possibility of their use for the solidification product preparation on the developed technological line.*

***Klíčová slova:*** *solidifikace/stabilizace, neutralizační kal, odpad*

***Keywords:*** *solidification/stabilization, neutralization sludge, waste*

## 1. Úvod

Tento příspěvek shrnuje výsledky základního laboratorního testování možností solidifikace vybraných neutralizačních kalů – nebezpečných odpadů z aktivních průmyslových zdrojů – s cílem dalšího využití solidifikátů ve stavebnictví. Úkolem laboratorního prověření v rozsahu tohoto příspěvku bylo z vybraných neutralizačních kalů od různých průmyslových původců vybrat ty odpady, které se budou na základě laboratorního prověření jevit jako nejvhodnější pro další fázi ověření možnosti jejich využití pro přípravu solidifikátů na vyvinuté technologické lince s jejich cílovým využitím v procesu rekultivací a ve stavebnictví tak, aby splňovaly platné legislativní požadavky.

Výzkumné práce provedené v rámci rozsahu tohoto příspěvku jsou součástí řešení projektu TA01021418 „Technologie využití neutralizačních kalů v procesu rekultivací a ve stavebnictví“. Tento projekt hledá nové možnosti pro využití neutralizačních kalů, které tvoří významnou skupinu průmyslových odpadů, produkovaných hojně v současnosti i v minulosti (staré ekologické zátěže). Stručně lze náplň projektu shrnout, že na základě teoreticky sestavených a laboratorně prověřených receptur budou tyto neutralizační kaly na nově vyvinuté technologické lince upravovány do podoby, jež umožní jejich využití v procesu rekultivací a ve stavebnictví tak, aby splňovaly platné legislativní požadavky. Celý proces musí probíhat s ohledem na jeho ekonomickou udržitelnost.

Předmětem řešení jsou tedy různými průmyslovými zástupci aktivně produkované neutralizační kaly, které lze charakterizovat jako odpad vznikající po neutralizaci odpadních kyselin z různých průmyslových výroby s obsahem nebezpečných látek.

## 2. Volba vstupních surovin

Do skupiny neutralizačních kalů lze zařadit odpadní kaly různých katalogových čísel, běžně se jedná o kaly z průmyslové výroby vznikající při procesu neutralizace (např. kaly z opracování kovů a povrchových úprav kovů, galvanické kaly).

Prvním krokem bylo vytipování možných aktivních zdrojů neutralizačních kalů na území České republiky. Jelikož informace o konkrétních původcích nebezpečných odpadů nejsou volně k dispozici, byla za tímto účelem vyžita databáze původců nebezpečných odpadů, která byla vytvořena Českou informační agenturou pro životní prostředí (CENIA). Následovala



volba kritérií, jejichž úkolem bylo zúžit a optimalizovat seznam vhodných původců neutralizačních kalů. Mezi tato kritéria patřila např. celková roční produkce daného odpadu, aby byla zaručena ekonomická efektivita procesu solidifikace, vhodnost odpadu k solidifikaci atd. Celkem tak bylo vybráno 7 neutralizačních kalů pocházejících od různých průmyslových původců.

Z hlediska volby vhodných solidifikačních činidel bylo přihlédnuto především k využití druhotných surovin, konkrétně využití vedlejších energetických produktů (VEP). Důležitým faktorem při volbě vhodných solidifikačních činidel z řady VEP bylo především chemické složení, mineralogické a fyzikální vlastnosti a neměnná kvalita VEP. Jako optimální kandidát ze zástupců VEP produktů se jevil fluidní popílek, a to především díky vyššímu podílu volného CaO a neuspořádané struktuře popílku z fluidního nízkoteplotního spalování. Konkrétně se jednalo o fluidní popílek z elektrárny Hodonín. Jako další zástupce VEP díky svým vlastnostem byl zvolen také zástupce úletových popílků z vysokoteplotního spalování, a to klasický popílek z elektrárny Chvaletice. Jako solidifikační přísada byl vybrán také cement CEM II B-L 32,5. Volba OPC měla několik důvodů, především jeho běžná dostupnost a jeho výhodné vlastnosti, které vedou k jeho rozšířenému využití v procese fixace toxických odpadů. Zejména se jedná o jeho nehořlavost a stálost v životním prostředí a především, že může být použit jako aktivátor pro ostatní potenciálně pojivové materiály, jako např. elektrárenské popílků. Tyto druhotná pojiva se nakonec stanou nedílnou součástí cementové matrice, která využije jeden druh odpadu (popílek) k zafixování jiných nebezpečnějších odpadů [1, 2].

### **3. Návrh solidifikačních receptur**

S cílem možnosti dobrého vzájemného porovnání účinnosti provedené solidifikace vybraných odpadů, byly pro všechny prověřované neutralizační kaly navrženy stejné solidifikační receptury. Celkem byly navrženy čtyři základní receptury, tyto receptury obsahovaly stejné procentuální množství neutralizačního kalu a lišily se v obsahu klasického a fluidního popílku. Receptury 1 až 3 navíc obsahovaly 5 % hm. Portlandského směsného cementu. Čtyři základní receptury byly namíchané pro všech 7 vybraných neutralizačních kalů.

Odpady byly zamíchané se solidifikačními činidly dle navržených receptur a s dostatečným množstvím záměsové vody. Následně proběhl proces stabilizace a solidifikace, kdy odpady byly zakomponovány do matrice z

popílků a cementu. Při využití cementu pro solidifikaci obvykle vstupující odpad reaguje s vodou a cementem za vzniku určitého množství hydroxidů kovů nebo uhličitánů, které jsou obvykle méně rozpustné než původní sloučeniny kovů v odpadu.

## 4. Laboratorní prověření

V rámci řešení projektu byla navržena metodik zkoušení solidifikátu, kdy v prvním kroku laboratorního prověření byly jako základní zkoušky pro prvotní posouzení účinnosti solidifikačních receptur zvoleny zkoušky pevnosti v tlaku prostém a částečné testy vyluhovatelnosti.

### 4.1. Zkouška pevnosti v tlaku prostém

Zkouška pevnosti v tlaku prostém byla zvolena jako prvotní indikátor solidifikační účinnosti receptury a dostatečné mechanické odolnosti solidifikátu [3]. Finální produkt solidifikace musí vykazovat určité minimální pevnosti, jelikož v místě využití solidifikátu bude docházet k různým mechanickým interakcím (např. zatížení od dalších vrstev), při kterých by mohlo dojít k porušení solidifikátu a k případnému uvolnění kontaminantů do okolí. Dále se také obecně předpokládá, že vyšší pevnosti poskytují i lepší fyzikální bariéry, čímž se riziko vyluhování nebezpečných látek do okolí snižuje.

Obvykle při použití cementu po 28 dnech tvrdnutí jsou zhydratovány přibližně dvě třetiny cementu a hydratace pak dále pokračuje i po 28 dnech s tím, že zhruba po 1 roce je zhydratováno asi 95 až 98 % cementu, kdy dvěma hlavními produkty hydratace jsou  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  a C-S-H. [1]. Z tohoto důvodu a z důvodu možné retardace tvrdnutí, které může být způsobeno obsahem různorodých látek v původním odpadu byla, pevnost v tlaku prostém ověřována nejen po 28 dnech, ale také po 60 dnech zrání solidifikátů.

Zkouška pevnosti v tlaku prostém byla prováděna z důvodů absence příslušné legislativy pro zkoušení solidifikátu dle normy ČSN EN 12390-3: Zkoušení ztvrdlého betonu – část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles. Zkušební tělesa byla zatěžována ve zkušebním lisu, který vyhovuje EN 12390-4. Maximální zatížení při rozdrčení tělesa se zaznamenalo a následně byla vypočtena se pevnost v tlaku. V souladu s ČSN EN 12390-1: Část 1 – Tvary, rozměry a jiné požadavky na zkušební tělesa a formy byly zkušebními tělesy krychle o rozměrech (100x100x100) mm.

## **4.2. Zkouška vyluhovatelnosti**

Z hlediska budoucí využitelnosti solidifikátu ve stavebnictví je důležitým aspektem posouzení mobility, tedy vyluhovatelnosti kontaminantů z matrice solidifikátu. Požadavky na vyluhovatelnost odpadů a třídy vyluhovatelnosti udává vyhláška č. 294/2005 Sb. včetně příloh. Při úpravě vzorku a následné přípravě vodného výluhu se postupuje podle ČSN EN 12457-4 (83 8005). Předběžná úprava vzorku odpadů upravených stabilizací je uvedena v příloze č. 7 vyhlášky č. 294/2005 Sb. K chemickým rozborům byly použity technické normy pro analytická stanovení uvedená v příloze č. 12 vyhlášky č. 294/2005 Sb. Jako základní posouzení vyluhovatelnosti na velkém počtu solidifikátů připravených dle základních receptur bylo zvoleno stanovení konduktivity výluhu, pH a množství rozpuštěných látek. Konduktivita určuje množství ionizovaných látek ve vodném prostředí výluhu – většinou se jedná o rozpuštěné anorganické soli. Tyto rozpouštěné soli způsobují zvýšení osmotického tlaku a výluh pak vykazuje toxicitu způsobenou vysokou koncentrací těchto iontů (např. Na, K, Ca, Cl<sup>-</sup>, atd.). Z hlediska konduktivity tak odpovídá I. výluhové třídě max. hodnota 250 mS.m<sup>-1</sup>, II. výluhové třídě max. hodnota 600 mS.m<sup>-1</sup> a III. výluhové třídě max. hodnota 2000 mS.m<sup>-1</sup>. Rovněž zde existuje souvislost mezi konduktivitou a množstvím rozpuštěných látek ve výluhu. Sledování hodnoty pH je důležité také z důvodu, že ovlivňuje rozpustnost kovů, tedy i jejich vyluhovatelnost z matrice solidifikátu.

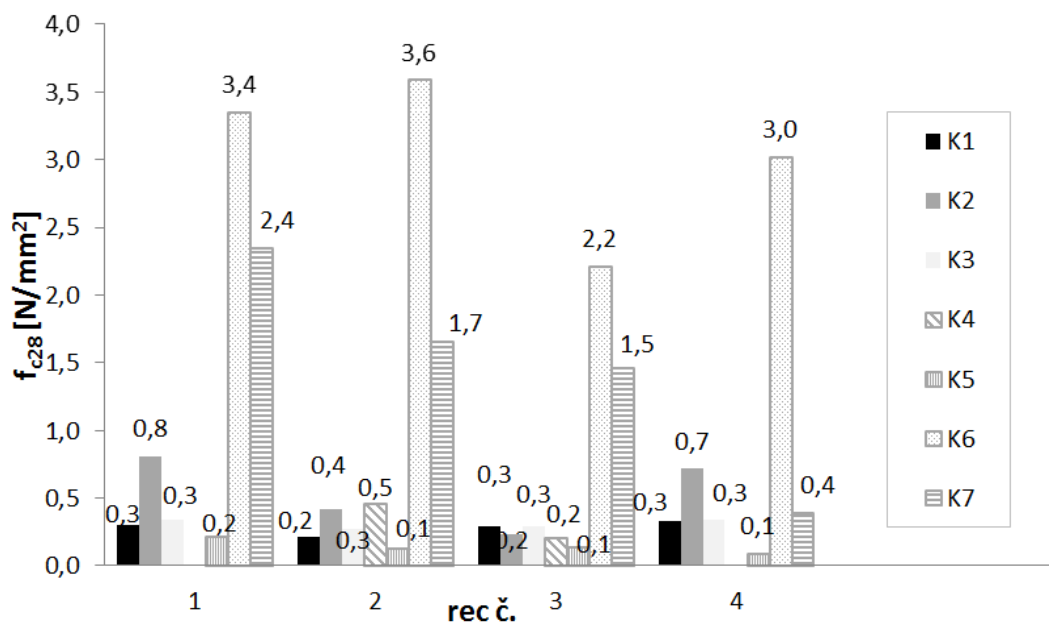
## **5. Zhodnocení výsledků provedených zkoušek**

### **5.1. Porovnání pevností v tlaku prostém**

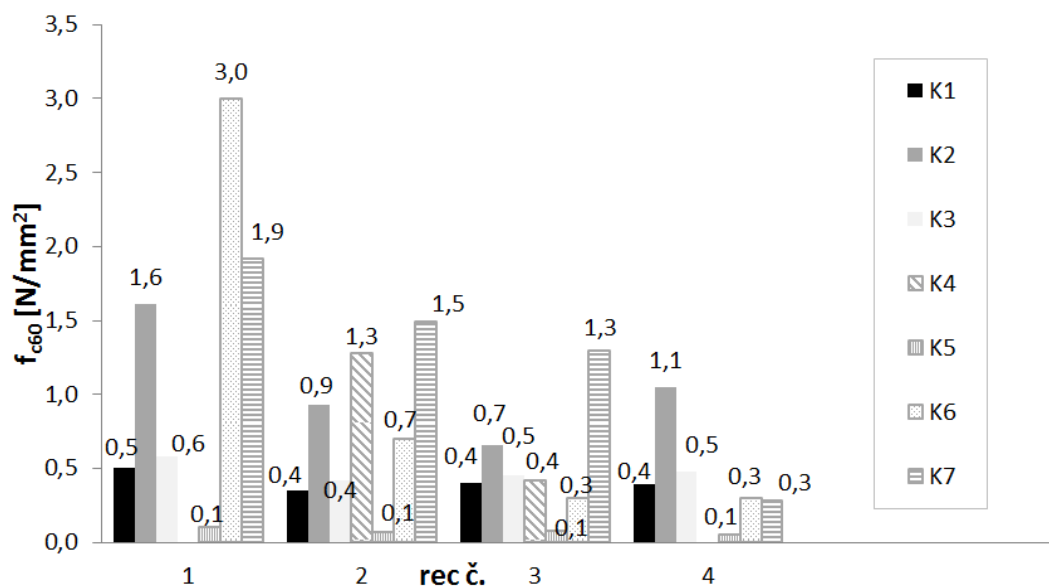
Při zhodnocení výsledků zkoušky pevnosti v tlaku prostém po 28 dnech zrání solidifikátu je z výsledků patrné, že nejvyšší pevnosti v tlaku byly dosaženy u solidifikačních receptur kalu K6, s tím, že nejvyšší pevnosti bylo dosaženo u receptury č. 2 s 5-ti % obsahu cementu, nízkým obsahem klasického popílku a s vyšším podílem popílku fluidního. Vyšších pevností bylo dosaženo také u solidifikátů kalu K7. Nejnižších pevností po 28 dnech zrání dosahovaly solidifikáty kalu K5.

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví



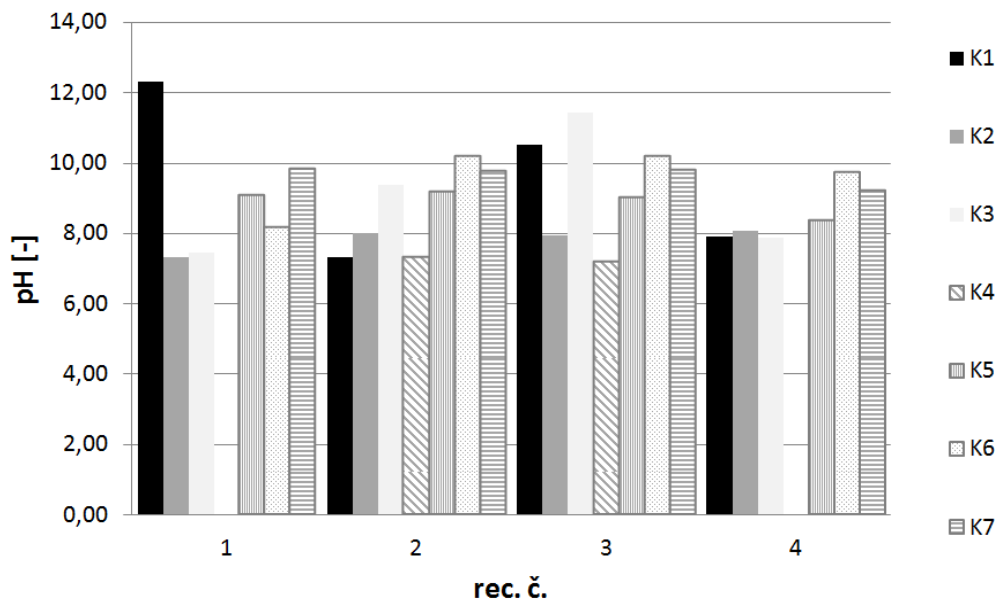
Obrázek 1.: Porovnání pevností v tlaku prostém po 28 dnech zrání jednotlivých receptur a solidifikovaných neutralizačních kalů.



Obrázek 2.: Porovnání pevností v tlaku prostém po 60 dnech zrání jednotlivých receptur a solidifikovaných neutralizačních kalů

Při pohledu na graf shrnující výsledky pevnosti po 60 dnech zrání solidifikátu můžeme pozorovat, že u některých solidifikátů došlo k významným změnám vůči pevnostem zjištěným po 28 dnech zrání solidifikátu. Především u solidifikátů K6 došlo téměř u všech receptur k poklesu pevnosti v tlaku prostém, přesto tyto solidifikáty dosahovaly stále dostatečně vysoké pevnosti, nicméně pokles pevnosti v tlaku může být znakem nedostatečné účinnosti receptury a předzvěstí degradace solidifikátu. Stejný trend byl pozorován také o solidifikátů odpadů K5 a K7. Naopak u solidifikátů odpadu K2, K3 a K4 byl pozorován opačný efekt, kdy po 60 dnech zrání solidifikátu došlo k navýšení pevností solidifikátu.

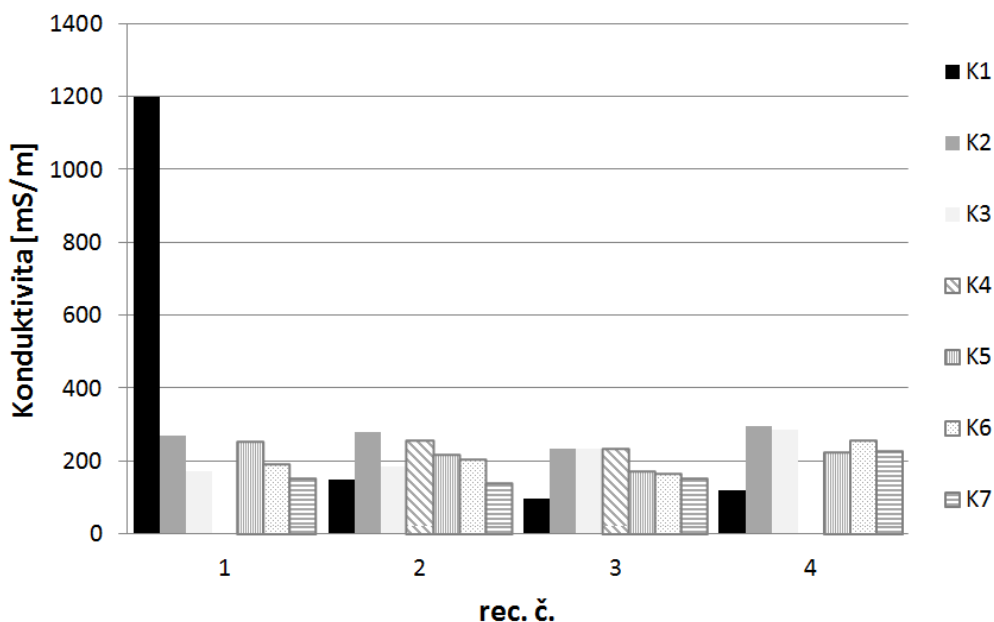
## 5.2. Porovnání výsledků testů vyluhovatelnosti



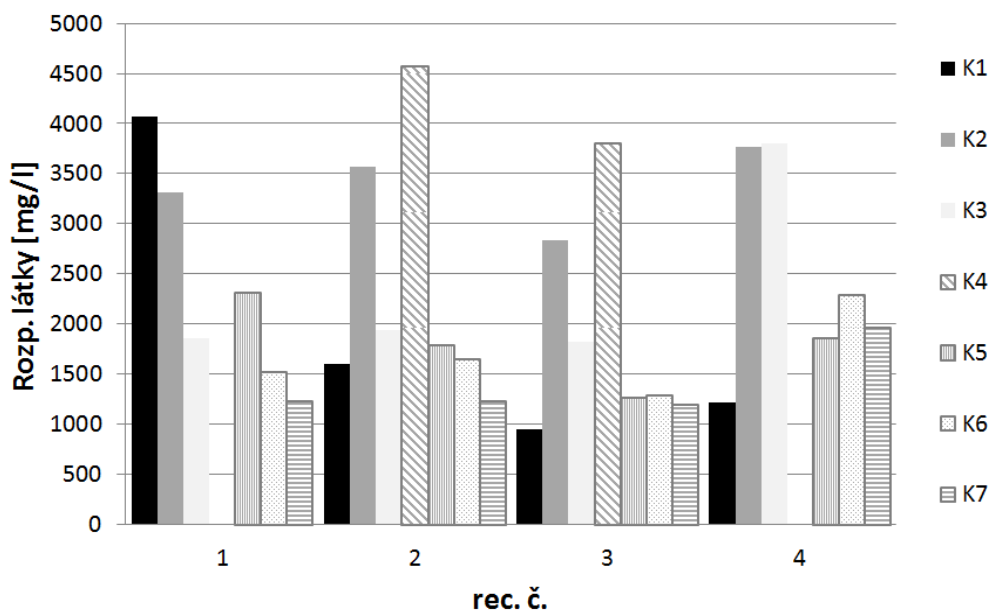
Obrázek 3.: Porovnání pH výluhů jednotlivých receptur a solidifikovaných odpadů

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví



Obrázek 4.: Porovnání konduktivity výluhů jednotlivých receptur a solidifikovaných odpadů



Obrázek 5.: Porovnání obsahu rozp. látek výluhů jednotlivých receptur a solidifikovaných odpadů

Z hlediska zhodnocení výsledků základní zjednodušené zkoušky vyluhovatelnosti bylo zjištěno, že nejnižší hodnoty konduktivity byly zjištěny u solidifikátů odpadu K7, dále nízké hodnoty dosahovaly také solidifikáty odpadu K6, ale také některé receptury kalu K1. Orientační limitní hodnotě pro I. výluhovou třídu – 250 mS/m vyhověl relativně vysoký počet solidifikátů. Při hodnocení obsahu rozpuštěných látek ve vodném výluhu solidifikátu lze konstatovat, že závěry jsou podobné jako při hodnocení konduktivity, tedy tyto veličiny spolu určitým způsobem souvisí. Limit pro I. výluhovou třídu je zde dle vyhl. č. 294/2005 Sb. 400 mg/l, lze tedy konstatovat, že hranice I. výluhové třídy byla překročena u všech receptur. Hraniční hodnotou II. výluhové třídy je hodnota 3000 mg/l, která nebyla překročena u solidifikátů kalů K5, K6 a K7 a u některých receptur solidifikace kalů K1 a K3 a jedné receptury kalu K2.

## 6. Závěr

Z výsledků provedených zkoušek lze říci, že jako nevhodný pro solidifikaci se jeví kaly K5, při jejichž solidifikaci bylo dosaženo velmi nízkých pevností v tlaku s tím, že s narůstajícím stářím vzorků docházelo ještě k dalšímu poklesu pevnosti. K poklesu pevností a tedy k potenciální degradaci a možnému budoucímu rozpadu vzorku docházelo u solidifikátů odpadu K6 a K7, u těchto vzorků bude nutné pro prověření jejich vhodnosti prověřit stálost vlastnosti solidifikátů z hlediska delšího časového intervalu. Kaly K6 a K7 dosáhly relativně dobrých výsledků i v testech vyluhovatelnosti, stejně tak jako kaly K2 a částečně také K3, jejichž pevnost po 60 dnech vzrostla a výsledky vyluhovatelnosti dosahovaly relativně dobrých výsledků. Tyto lze považovat jako vhodné k dalšímu pokročilemu laboratornímu prověření. Následně, po finalizaci laboratorního testování úspěšnosti solidifikace bude účinnost receptur prověřena na nově vyvinuté solidifikační lince, kde vybraný, prověřený neutralizační kal modifikován do formy umožňující jeho využití v rekultivačním procesu a ve stavebnictví v souladu s požadavky platné legislativy.

## Poděkování

Tento článek byl vytvořen za finanční podpory projektu TA01021418 „Technologie využití neutralizačních kalů v procesu rekultivací a ve stavebnictví“.

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

## Literatura

- [1] SPENCE, R. D., 2000. Book-Chemistry and microstructure of solidified waste forms, ISBN: 0873717481, p. 288.
- [2] CHINDAPRASIT, P., JATURAPITAKKUL, C., SINSIRI, T., 2007. Effect of fly ash fineness on microstructure of blended cement paste, In Construction and Building Materials, Volume 21, Issue 7, July 2007, Pages 1534-1541, ISSN 0950-0618, 10.1016/j.conbuildmat.2005.12.024.
- [3] MALVIZA, R., CHAUDHARY, R., 2006. Factors affecting hazardous waste solidification/stabilization: A review, J. Hazard. Mater. 137 (2006), pp. 267–276.

## Kontakt

Ing. BOŽENA VACENOVSKÁ, Ph.D., tel: 00420 541 147 157, e-mail: vacenovska.b@fce.vutbr.cz, Ústav technologie stavebních hmot a dílců, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Prof. Ing. ROSTISLAV DROCHYTKA, CSc. MBA, tel: 00420 541 147 501, e-mail: drochytka.r@fce.vutbr.cz, Ústav technologie stavebních hmot a dílců, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. VÍT ČERNÝ, Ph.D., tel: 00420 541 147 463, e-mail: cerny.v@fce.vutbr.cz, Ústav technologie stavebních hmot a dílců, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.



## **ANALÝZA VLIVU ODPADU Z KAMENNÉ VLNY S OHLEDEM NA MOŽNOST MODIFIKACE SLOŽENÍ CEMENTOTŘÍSKOVÝCH DESEK**

## **ANALYSIS OF THE IMPACT OF WASTE FROM ROCK WOOL WITH REGARD TO THE POSSIBILITY OF MODIFYING THE COMPOSITION OF CEMENT-BONDED BOARDS**

**Miroslav Vacula, Martin Klvač,  
Robert Mildner, Tomáš Melichar**

CIDEM Hranice, a.s.,  
Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební,  
Ústav technologie stavebních hmot a dílců

***Anotace:***

*Příspěvek pojednává o možnosti využití odpadu z výroby kamenné vlny pro modifikaci stávajícího složení cementotřískových desek. Jako alternativa ke standardně používanému dřevěnému plnivu (třísky, piliny) byl použit odpad - vlákna z výroby kamenné vlny. Laboratorně byl odpad otestován a následně přidán do směsi pro výrobu cementotřískových desek jako náhrada dřevěného plniva. Byly sledovány fyzikálně-mechanické parametry laboratorně vyrobených desek s upravenou recepturou.*

***Annotation:***

*The contribution deals with possibilities of using waste from the production of stone wool for modification of the existing composition of cement boards . As an alternative to the standard used wooden filler (chips, sawdust) was used waste - the fibers from the production of stone wool . The waste was tested in laboratory and then added to the*

*mixture for the production of cement-bonded boards as a substitute for wood filler. The physico - mechanical properties of laboratory- made boards with a modified recipe were monitored.*

**Klíčová slova:** *cementotřísková deska, vlákna, kamenná vlna, dřevěné třísky*

**Keywords:** *cement-bonded particle board, fibre, stone wool, wooden particles*

## 1. Úvod

Cementotřískové desky patří do skupiny kompozitních materiálů se silikátovou maticí a jako zpevňující komponent se užívají dřevěné třísky. Desky jsou vhodné pro použití do exteriéru i interiéru, a to jako fasádní a podlahové systémy, podhledy, protipožární systémy, mohou také zastávat funkci ztraceného bednění a v neposlední řadě je lze využít i při opláštění stěn a podhledů. Toto široké využití je umožněno vhodnou kombinací vlastností cementu a dřeva. Vyráběné desky tak vynikají svou pevností, pružností, lze je snadno opracovávat a vyznačují se nízkou hmotností. Nevýhodou zůstává vyšší cena.

Základními surovinami jsou cement jako pojivo, třísky smrkového, či jedlového dřeva jako plnivo a přísady. Nejen z ekonomických důvodů se nabízí možnost prozkoumat náhrady dřevní hmoty vláknitým materiálem ať už organického či anorganického původu a zjistit vliv na konečné materiálové vlastnosti – pevnost v tahu za ohybu, modul pružnosti, objemovou hmotnost.

## 2. Vznik a charakteristika odpadu

Při výrobě izolačních desek vznikají velkoobjemové technologické odpady v technologii tavení a zpracování minerálních vláken v kupolové peci, z provozu před vytvrzením a z provozu po vytvrzení.

Odpad vzniká v provozu kupolové pece při následujících činnostech:

- při poruše na lince s následným krátkodobým zastavením provozu linky – vypouštění lávy do prostoru pod pecemi,
- při vypuštění obsahu vsázky kupolové pece – ukončení provozu kupolové pece při odstávce,

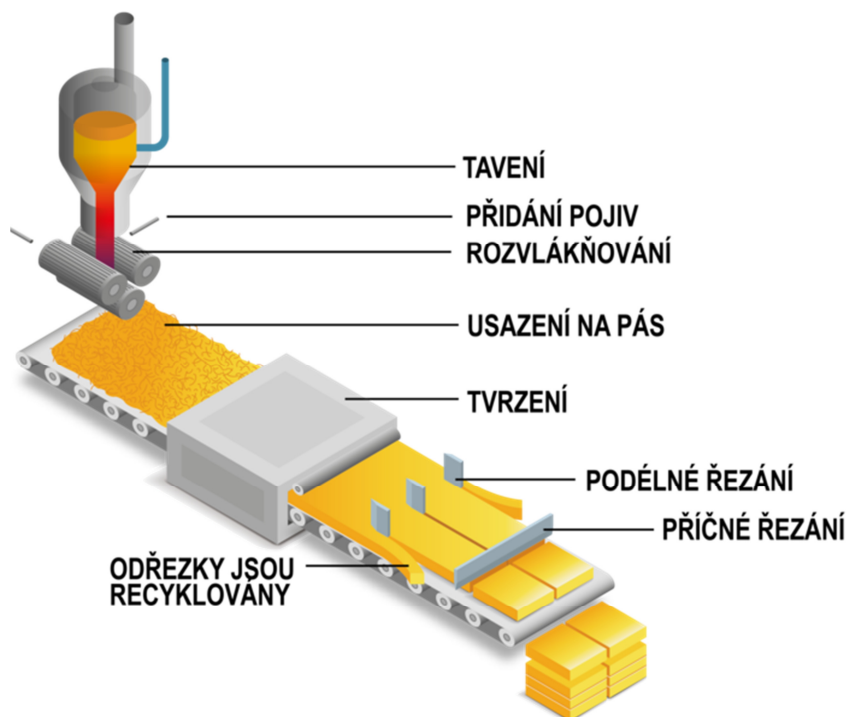
- •odpichy železa – tavením vsázky v kupolové peci se z oxidů železa, které jsou v různých koncentracích obsaženy ve výstupních surovinách, redukuje železo, které se hromadí na dně kupolové pece a je nutno jej pravidelně ze dna vypustit.

Při fázi rozvláknování před vytvrzením vznikají průběžně odpady:

- vznik granálií – nerozvlákněné částice lávy,
- shluky vláken, nasycených pojivem (především vodný roztok fenolformaldehydové pryskyřice), které nebyly přisáty na unášecí pás v usazovací komoře,
- shluky vláken oddělené při čištění unášecího pásu.

Z provozu po vytvrzení vznikají průběžně odpady:

- nekvalitní finální výrobek,
- boční ořezy – vznikají v řezací stanici, které řezou desky na požadovanou šířku a kde se kotoučovými pilami provádí řez okrajů.



Obrázek 1.: Schéma výroby izolačních desek z kamenné vlny

Samotný odpad vznikající při výrobě izolačních desek z kamenné vlny je nutné upravit. Způsoby vhodné úpravy pro jeho použití jako alternativní náhrady plniva v cementotřískových deskách jsou podrobně popsány v článku [1].

### 3. Analýzy parametrů vstupní suroviny

Další etapa výzkumu byla věnována analýze testovaného odpadu. Jmenovitě se jednalo o stanovení sypné hmotnosti a nasákavosti vláken. Vzhledem k povaze materiálů byly zvoleny tři různé experimentální metody. Jedná se o stanovení nasákavosti pomocí jemného sítko, ve filtračním papíru a v kádince. Pracovní postup je vždy shodný – je zvážena hmotnost suchého vzorku, následně je vzorek ponechán ve vodě po dobu 2 hodin a poté zvážen v nasáklém stavu. Samotná vlákna vlny jsou nenasáková, ovšem vlna jako celek obsahuje mezery mezi jednotlivými hustě uspořádanými vlákny, kde dochází k retenci vody.

*Tabulka 1 : Stanovení sypné hmotnosti a nasákavosti vláken z kamenné vlny*

Sypná hmotnost (kg/m <sup>3</sup> )	67,42
Nasákavost – sítko (% hmotnostně)	459
Nasákavost – filtry (% hmotnostně)	554
Nasákavost – kádinka (% hmotnostně)	589

Z hlediska posouzení vlivu výluhu z analyzované kamenné vlny byly vyrobeny normové trámečky pro stanovení pevnosti cementových malt. U poloviny zkušebních těles byla použita voda obsahující výluh z vláken kamenné vlny. Pro porovnání byl vyroben i vzorek referenční – s vodou.

*Tabulka 2 : Parametry normových trámečků s vodou a výluhem z kamenné vlny*

Druh výluhu	Hmotnost (kg/m <sup>3</sup> )	Pevnost v tahu za ohybu (N/mm <sup>2</sup> )	Pevnost v tlaku (N/mm <sup>2</sup> )
Referenční-voda	2210	8,06	50,0
Výluh z vláken z kamenné vlny	2200	7,55	49,4

Ze zjištěných hodnot je možné konstatovat, že došlo ke snížení pevností, které nebylo příliš výrazné, a patrnější pokles byl zaznamenán v případě pevnosti v tahu za ohybu. Přece jen ten rozdíl u pevností v tlaku není moc velký a teoreticky mohl být způsoben např. i rozdílným zhutněním, či jinými nepřesnostmi při měření.

## 4. Návrh receptur

Stávající složení směsi pro výrobu cementotřískových desek vychází z použití těchto základních surovin:

- portlandský cement CEM 42,5R (objemově cca 25%)
- dřevěné třísky, piliny - převážně smrkové dřevo (objemově cca 63%)
- voda (objemově cca 10%)
- chemické přísady - vodní sklo, síran hlinitý (objemově cca 2%)

Plnivem ve směsi jsou dřevěné třísky, které se také výrazně podílejí na zajištění pevnostních charakteristik (především pevnost v tahu za ohybu, modul pružnosti). Částečná náhrada dřevěných třísek vlákny kamenné vlny může snížit pevnost v tahu za ohybu desek, proto se přistoupilo k následujícím návrhům receptur:

a) v laboratorních podmínkách (laboratoře Vysokého učení technického, Ústav technologie stavebních hmot a dílců) byly vyrobeny laboratorně vzorky desek s podílem kamenné vlny v rozsahu:

- 25% náhrada dřevěných třísek
- 50% náhrada dřevěných třísek
- 75% náhrada dřevěných třísek
- 100% náhrada dřevěných třísek

b) na výrobní lince pro cementotřískové desky ve firmě CIDEM Hranice, a.s. byly vyrobeny cementotřískové desky s upravenou recepturou. Na základě laboratorních výsledků bylo ve složení desky 10% objemových procent dřevěných třísek nahrazeno vlákny z kamenné vlny.

## 5. Výroba vzorků cementotřískových desek

V laboratorních podmínkách probíhalo míchání směsi v plastové nádobě za pomoci ručního elektrického míchadla. Postup byl vždy shodný – do nádoby bylo vloženo odvážené množství plniva, následně zalité dávkou vody s rozpuštěným síranem hlinitým a roztokem vodního skla. Směs byla zamíchána a následně ponechána v klidu po dobu 3 minut z důvodu nasáknutí plniva vodou. Poté byla přidána navážka cementu a směs opět promíchána. Tento postup dávkování jednotlivých surovin odpovídá postupu na výrobní lince pro cementotřískové desky.

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

Směs pro výrobu zkušebních těles se ručně nanášela na předem připravené a odformovacím přípravkem ošetřené ocelové pláty. Snahou bylo vytvořit konstantní tloušťku a stejnoměrně rozptýlit pracovní směs v rámci celé desky. Na nasypanou směs byl následně přiložen ocelový plát, směs se pomocí šroubů a matic slisovala na tloušťku cca 9 mm. Celá forma se následně navezla do propařovacího zařízení, kde byly simulovány obdobné podmínky jako při strojní výrobě na lince v závodě.



*Obrázek 2.: Povrch laboratorně vyrobené desky se 100 % náhradou kamenné vlny*

Desky vyrobené z vláken kamenné vlny mají s měnícím se objemem vláken různé struktury povrchu. Receptura se 100 % náhradou má hladký a celistvý povrch s občasnými viditelnými malými shluky minerálních vláken. Se snižujícím se objemem vláken se stává povrch členitější.

Při provozním testu ve výrobním závodě bylo postupováno dle standardního výrobního postupu, pouze část stávajícího plniva (dřevěné třísky) byla nahrazena vlákny z kamenné vlny (náhrada v objemu 10%). Vlákna z kamenné vlny byly nasypány ručně do míchačky.

Poznatky z výroby desek:

Ve stávající míchačce nedojde ke stoprocentnímu rozmíchání nadávkované minerální vaty. Nerozmíchané chomáčky (shluky vláken) vystupují z navrstvených desek. Chomáčky se nezachytávají na sítích, na stěnách vrstvicích komor ani v tryskách. Zkouška ukázala, že rozcupování vlny ještě není dokonalé. Malé množství vláken z minerální izolace se v míchačce nerozvláknilo, síto ve vrstvicí komoře chomáčky hmoty srazilo na rouno a ty potom vyčnívaly z desky mírně zasypány jemnou směsí. Množství nerozvlákněných chomáčků bylo ale malé.



*Obrázek 3.: Dávka vláken z kamenné vlny v míchačce na provozní lince*

## 6. Výsledky a diskuse

Vyrobené laboratorní desky zrály po dobu 28 dní, poté byly naformátovány na zkušební tělesa a testovány. Pro posouzení vlivu podílu kamenné vlny byla vyrobena referenční deska s recepturou a složením odpovídající cementotřískové desce.

Sledovány byly tyto parametry:

- objemová hmotnost dle ČSN EN 323,
- pevnost v tahu za ohybu dle ČSN EN 310,
- modul pružnosti dle ČSN EN 310,
- pevnost v tahu kolmo na rovinu desky dle ČSN EN 319.

*Tab. 3 : Fyzikálně-mechanické parametry laboratorně vyrobených desek*

	Referenční vzorek	Vzorek s 100% náhradou vláken kamenné vlny	Vzorek s 75% náhradou vláken kamenné vlny	Vzorek s 50% náhradou vláken kamenné vlny	Vzorek s 25% náhradou vláken kamenné vlny
Objemová hmotnost (kg/m <sup>3</sup> )	1 240	1 620	1 560	1 510	1 478
Pevnost v tahu za ohybu (N/mm <sup>2</sup> )	7,88	5,02	5,65	7,10	7,29
Modul pružnosti (N/mm <sup>2</sup> )	5740	3493	4750	4710	4190
Pevnost v tahu kolmo na rovinu desky (N/mm <sup>2</sup> )	0,51	0,37	0,42	0,44	0,45

Stejným způsobem byla testována i strojně vyrobená deska při provozním testu v závodě společnosti CIDEM Hranice, a.s.. Výsledky včetně porovnání se současně vyrobenou deskou standartní receptury a celoročním průměrem jsou uvedeny v tabulce:

*Tab. 4 : Fyzikálně-mechanické parametry strojně vyráběných desek*

	2012 – průměr z výroby	Současně vyrobené desky klasickou receptura	Cementotřísková deska s vlákny z kamenné vlny
Objemová hmotnost (kg/m <sup>3</sup> )	1 329	1 334	1 390
Pevnost v tahu za ohybu (N/mm <sup>2</sup> )	11,95	12,08	12,93
Modul pružnosti (N/mm <sup>2</sup> )	6 569	6 765	7 431
Pevnost v tahu kolmo na rovinu desky (N/mm <sup>2</sup> )	0,59	0,59	0,72



Z dosažených výsledků desky z provozní linky je patrné, že náhrada dřevěného plniva vláknou z kamenné vlny (v množství 10 %) nezhoršuje fyzikálně-mechanické parametry. V případě porovnání s referenčním současně vyrobeným vzorkem klasickou recepturou došlo dokonce k mírnému zvýšení ohybové pevnosti a modulu pružnosti.

## **7. Závěr**

V České republice v současnosti působí 3 výrobci kamenné vlny, v sousedních státech (Polsko, Slovensko) další 5 producentů izolačních desek na bázi kamenné vlny. U všech při výrobě dochází k vzniku odpadu, který je dále částečně zpět využit do výroby, popřípadě následně upravován. Jednoznačně je patrný trend co nejlépe využít vzniklý odpad, nejlépe zvýšit užitnou hodnotu a vyrobit z něj další izolační produkt pro komerční použití s přidanou hodnotou. Tento trend má za následek výraznou eliminaci odpadu, popřípadě z výroby zbývá materiál nevhodný nebo obtížně zpracovatelný pro výše uvedené použití. Z tohoto důvodu byla analyzována možnost modifikace složení cementotřískových desek právě tímto odpadem.

Záměrem výzkumu prezentovaného v tomto článku bylo tedy analyzování parametrů cementotřískových desek s upraveným složením. Modifikace složení byla řešena vláknou z odpadu výroby kamenné vlny. Bylo zjištěno, že vhodnou úpravou a dávkováním odpadu z výroby kamenné vlny v množství 10 % lze dosáhnout srovnatelných parametrů jako u standardně vyráběné cementotřískové desky. S ohledem na materiálovou bázi vláken minerální vlny lze předpokládat zvýšení požární odolnosti desek.

## **Poděkování**

Tento výsledek byl realizován za finanční podpory z prostředků státního rozpočtu prostřednictvím Ministerstva průmyslu a obchodu v rámci projektu TIP č. FR-TI 3/595 „Inovace složení směsi pro výrobu cementotřískové desky“.

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

## **Literatura**

[1] VACULA, M.; MILDNER, R.; KLVÁČ, M. Využití odpadu z výroby kamenné vlny pro modifikaci vlastností cementových desek s organickým plnivem In Sanace a rekonstrukce staveb 2011, Praha, WTA Praha, p.77-83, ISBN 978-80-02-02344-9

## **Kontakt**

Ing. Miroslav VACULA, tel: 00420 581 676 293, e-mail: vacula@cetris.cz, CIDEM Hranice, a.s., Skalní 1088, 753 01 Hranice.

Ing. Martin KLVÁČ, tel: 00420 581 676 297, e-mail: klvac@cetris.cz, CIDEM Hranice, a.s., Skalní 1088, 753 01 Hranice.

Robert MILDNER, tel: 00420 581 676 304, e-mail: mildner@cetris.cz, CIDEM Hranice, a.s., Skalní 1088, 753 01 Hranice.

Ing. Tomáš MELICHAR, Ph.D., tel: 00420 541 147 463, e-mail: melichar.t@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veverí 95, 602 00 Brno.

## POZOROVÁNÍ A OVLIVNĚNÍ STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ NA MIKROÚROVNI

### OBSERVATION AND INFLUENCING OF CONSTRUCTION MATERIALS AT THE MICROLEVEL

Jaromír Wasserbauer<sup>1</sup>, Martin Zmrzlý<sup>2</sup>,  
Bernhard Pichler<sup>3</sup>

- 1) Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická,  
2) Technische Universität Wien,  
3) Fakultät für Bauingenieurwesen

**Anotace:**

*Tento článek se zabývá studiem strukturních a mechanických vlastností anorganických materiálů. Cílem je nalezení jednotlivých fází ve zkoumaném materiálu a hlavně lokalizace (mechanicky) nejslabšího místa, jeho ovlivnění a následně výroba materiálu o lepších mechanických vlastnostech.*

**Annotation:**

*This paper deals with study of structural and mechanical properties of inorganic materials. Goal is to find the weakest (mechanically) phases and interfaces of material. By affecting these structures it should be possible consequently produce a material with better mechanical properties.*

**Klíčová slova:** *geopolymerní beton, jednoosá pevnost v tlaku, nanoindentace, korelativní mikroskopie*

**Keywords:** *geopolymer concrete, uniaxial compression testing, nanoindentation testing, correlative microscopy*

## **1. Improving of strength of geopolymer concrete**

### **1.1. Outline of experiments**

Main task is to localization of the weakest points on prepared material. Next task is to influencing of the weakest phase. Final task is to compare of original and influenced material. To achieve this, following steps will be performed:

- Preparation of geopolymer concrete.
- Finding its compression strength.
- Initialization of cracks in a prepared sample at values of pressure lower than obtained in previous step.
- Localization of initial cracks on a prepared sample.
- Evaluation of causes of creation of cracks in localized weakest points.
- Influencing of the weakest points during preparation of geopolymer concrete.
- Comparison of influenced and uninfluenced geopolymer concrete using: uniaxial compression testing, ultrasonics testing a nanoindentation testing.

### **1.2. Samples preparation**

Geopolymer concrete was used because it is in the interest of research on our faculty and civil engineering. [1-3] Geopolymer concrete for the future is considered as an alternative to the standard cement concrete. Specifically, the composition of geopolymer concrete in Table 1 was taken from a research group at our faculty. This composition was invented as optimal.

Isoperibolic calorimetry of the mixture was performed in dissertation [1] so it was not revised in our original work. Result of mentioned dissertation show that setting of geopolymer concrete is finished within 24 hours after preparation and calorimetric curves show very similar shape and values as those of common Portland cements. Based on this, following experiments were carried out in intervals that are usual in testing of concrete.

The geopolymer concrete was prepared from the raw materials shown in Table 1. Of this amount there were prepared by a large blocks of dimension 100×100×400 mm. The slag and fly ash were mixed (30 second) with half of the NaOH solution due to alkali-activation. Then all the other components

were added and mixed (4 minutes). Finally, the mixture was filled into forms and vibrated on a vibrating table for 60 seconds.

From these blocks were carefully cut cubes a size of side 40 mm (Figure 2) and cube with a side of side 100 mm. The cubes were used for measurement of the uniaxial compression strength and for preparation of the samples with initial cracks (cube – 40 mm). The process of preparation of the initial cracks is described in the following chapter.

*Table 1: Raw materials used for preparation of the geopolymer concrete [3]*

Raw materials	Weight [g]
NaOH (95%)	1112
H <sub>2</sub> O	4679
Slag - Štramberk	8704
Fly ash – Počerady 5B	2923
Concrete dusts – Mokrá CKD	2069
Sand - fine	3989
Sand - medium	3989
Sand - coarse	3989
Aggregates - 4/8	10294
Aggregates - 8/16	15216

### 1.3. Initialization of cracks

For observation of the (mechanical) weakest points there is necessary to prepare and find the initial cracks. The initial cracks were prepared in the geopolymer cubes of the following process:

The uniaxial compression test was performed on the six cubes. The compression strength and the standard deviation were evaluated. Next compression tests were manually set on the previous value of compression strength minus a standard deviation. This value was approximately 70 % from the maximum value of compression strength. The literature states that the primary phase (cracking) begins at 50 % failure stress [4,5] and increased rapidly at 75 % of ultimate load [4]. The published papers deal with a study of the formation of cracks [6]. Literature that would address on localization of cracks and influencing its surrounding area was not found. As expected (based on the standard deviation of failure), usually

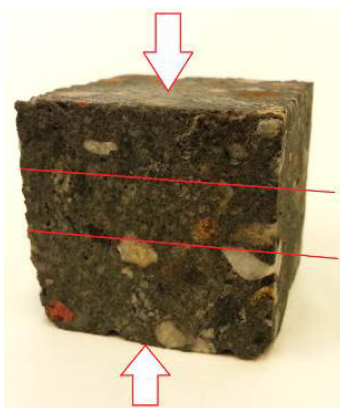
1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

four geopolymer samples endured without (by eye) visible damage and the remaining two geopolymer samples were failed.

The samples that endured the set pressure were very carefully cut. The cuts were performed perpendicular to the direction of load (see Figure 2). The new surfaces after cut were grinded (on the grinding paper – EU notation 1200) and then were prepared for structural (SEM) and mechanical (nanoindentation) characterizations.



*Figure 2: The cube with a size of side 40 mm. The arrows indicate the load and the lines indicate the cuts.*

#### **1.4. Localization of cracks**

The structural and elemental analysis was performed using a scanning electron microscope (SEM) and energy dispersive spectroscopy (EDS). The cracks were localized using a correlative microscopy. Thereafter the elemental analysis (EDS mapping) were performed. In vicinity of cracks were found increased content elements: chlorine, potassium and sodium.

##### **1.4.1. Weakest places of geopolymer concrete**

The weakest places of geopolymer concrete were found, these places can be summarized in three points:

- The first weakest place, as expected from mechanic of fracture, was a flaws, concretely: (micro)voids, cavities, cracks.
- The second weakest place was interface transition zone between matrix and aggregates. On the all tested geopolymer concretes were observed a cracks expanding on interface transition zone between matrix and aggregates or sand.
- The third weakest place was the region where was increase a content of elements that create salts (chlorine, potassium, sodium).

## **1.5. Suggestions for improvement of geopolymer concrete**

The methods which were used for improvement mechanical properties were based on before testing methods: uniaxial compression test, initialization of cracks, light microscopy, scanning electron microscopy and energy dispersive spectroscopy.

### **1.5.1. Influence of flaws**

The (micro) voids, cavities and cracks are created during a preparation and curing process in geopolymer concrete. While maintaining applicability for industrial praxis can't be influence the creation of these flaws.

### **1.5.2. Influence of interface transition zone**

The surface of aggregates was not good for creation of a firm bond with the matrix. Therefore, it was necessary to influence this interface transition zone. Experiments were performed, leading to roughening of the surface aggregate. When etching with acids (HF, HCl) were achieved very good results, but the acid would affect the curing process. This dissertation thesis emphasizes the application of results (procedures) into industrial practice; therefore, the use of acids was not recommended. For roughening a surface of aggregates was used a concentrated solution of sodium hydroxide for a period of 2 hours. This solution is also used as the alkaline activation and hence its presence does not cause problems, such as acid.

### **1.5.3. Influence of content of elements that create salts**

The first step was finding the source of elements: chlorine, potassium and sodium. The source of sodium was evident because a sodium hydroxide was used for alkaline activation. Therefore, the sodium content was not possible to reduce. As the source of chlorine and potassium was found the concrete dusts – Mokrá CKD. To reduce the content of KCl there was used decantation. Mechanism decantation was that potassium chloride was dissolved in water and a saline solution is then decanted. The solid part of concreting dusts (free lime and other components) remained settled at the bottom of the container. Then, the solid component was added to the new modified mixed for the preparation of improved geopolymer concrete. To further reduce of content of KCl would be possible to decantation repeated but it would not be appropriate for practice.

## 1.6. Influenced geopolymer concrete

From a results of previous analyzes and on the basis of previous chapter an influenced geopolymer concrete (IGC) was prepared. In this case, influenced means a higher strength - higher mechanical properties. The durability and frost resistance was not the subject of this research.

## 1.7. Comparison of mechanical properties – compression tests

The uniaxial compression tests were performed under the same conditions on a several geopolymer samples. The tests of outlier results were performed, any value was not excluded. In Figure 3 is visible, that it has improved the mechanical properties of geopolymer concrete. Unfortunately, the error bars show the overlap of values, but the increase of main values of strength is unquestionable. It should be emphasized that the error-bar is taken to be two sigma, i.e. with a reliability of 95.45 %.

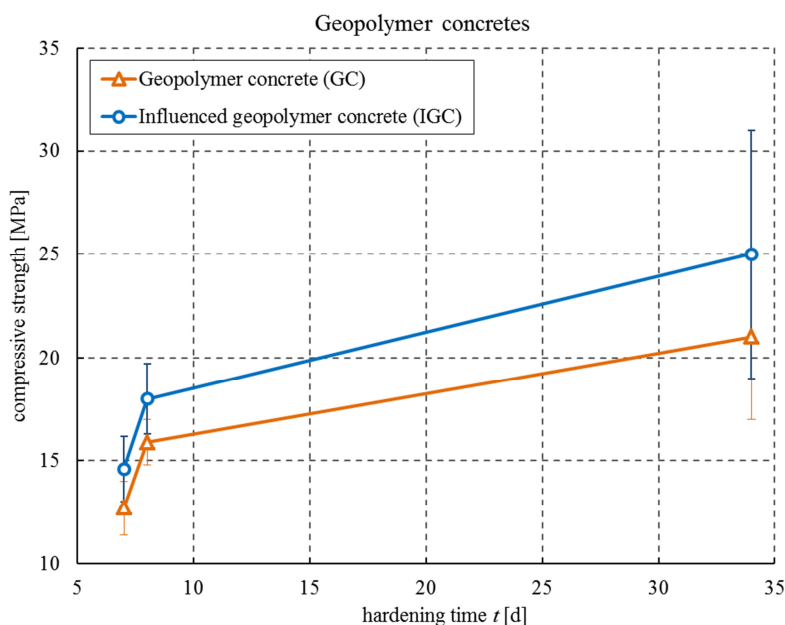


Figure 3: Dependence of compressive strength on time for geopolymer concrete (GC) and influenced geopolymer concrete (IGC) – comparison

## 1.8. Comparison using ultrasonic testing

On the geopolymer samples were performed the ultrasonic tests. Young's modulus and Poisson's ratio were calculated, see Table 2.



*Table 2: The results of ultrasonic testing for GP and IGC*

	Young's modulus [GPa]	$2\sigma$ [GPa]	Poisson's ratio [-]	$2\sigma$ [-]
Geopolymer concrete	35	10	0,27	0,09
Influenced geopolymer concrete	33	5	0,23	0,09

The resulting values ( $E$ ,  $\nu$ ) for both geopolymer are similar and the error intervals show the overlap of values. The values of Poisson's ratio are consistent with the literature [7] and values of Young's modulus are consistent with the literature [8]. It can be said that weakest places were influenced, while the matrix was not affected (in the sense of identity of the hardening reaction).

One of possible explanation of the effect of salts (KCl, NaCl) is that they were present GP as very small single crystals that did not participate in hardening reaction. A salt crystal rather prevents bonding of the individual grains (slag, fly ash, etc.). They could also bring a tensions or weakening of bonds of principal framework of GP.

### **1.9. Comparison using nanoindentation**

On each of geopolymer concrete there was performed 576 indents. Following discussion was derived with the aid of SEM pictures. For instance, this will be demonstrated in *Figure 5*. On both histograms, there are well distinguished peaks at 1.25 GPa (narrow) and at about 50–60 GPa (broad distribution). The former can be clearly ascribed to incompact, defect structures (areas A in *Figure 5*), they have naturally almost zero stiffness. The later curve corresponds to aggregate, fly ash, slag grains (B in *Figure 5*) and their various defects and interfaces. These two "phases" can be excluded of further discussions.

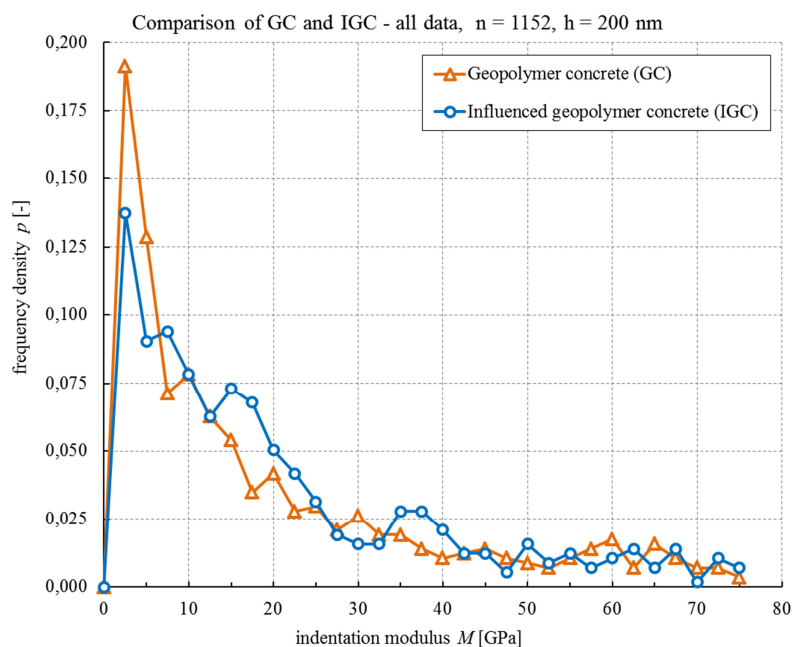
The most important are obviously phases with value of  $M$  of 35 GPa. This value corresponds well to that obtained by ultrasonic tests. This indicates that this phase forms a principal framework of the material, with structure probably approaching the ideal model. This phase (C in *Figure 5*) covers the hard particles and these coatings touch their neighbors, forming the 3-D network which bears the acoustic waves at ultrasonic testing. In *Figure 4* for GC its maximum exhibits value lowers than 35 GPa. This can be interpreted as consequence of structural defects of this phase caused by salts. The wider is the distribution, the higher is the randomness of these defects. This phenomenon moves, of course, the maximum of peak to lower values.

Last two peaks of interest lay at values approx. 7 and 15 GPa. This phases we suggest to interpret as an interstitial matter and its defective analogue (D in *Figure 5*).

Comparing the GC and IGC, we can focus on three convolution components at 8, 15 and 35 GPa. It is obvious that our improvement of sample preparation decreased the occurrence of most defective structure A in favor of interstitial phase D. The area of interstitial phase has much larger area, moreover, the fraction of its defective analogous was decreased as well. The most outstanding is a presence of very distinct peak of principal framework phase C in the histogram of IGC.

To summarize the discussion it can be concluded that partial removal of alkaline salts increased the fraction of non-defective structures. This corresponds to observed increase of compressive strength.

Comparison of indentation module of geopolymer concrete and influenced geopolymer concrete is observable in *Figure 4*. Shift of indentation module towards to higher values is observable. Specifically, in IGC is peak area of interstitial matter was increased three times with shift of maximum from 12.7 GPa to 14.0 GPa. The peak of framework phase cannot be identified in GC histogram at all (only defective distribution at 24.5 GPa) while in the case of IGC the distinct peak can be observed.



*Figure 4: Comparison of indentation modulus  $M$  for geopolymer concrete and influenced geopolymer concrete – controlled depth (200 nm); grid space (50  $\mu\text{m}$ ) – 1152 indents*

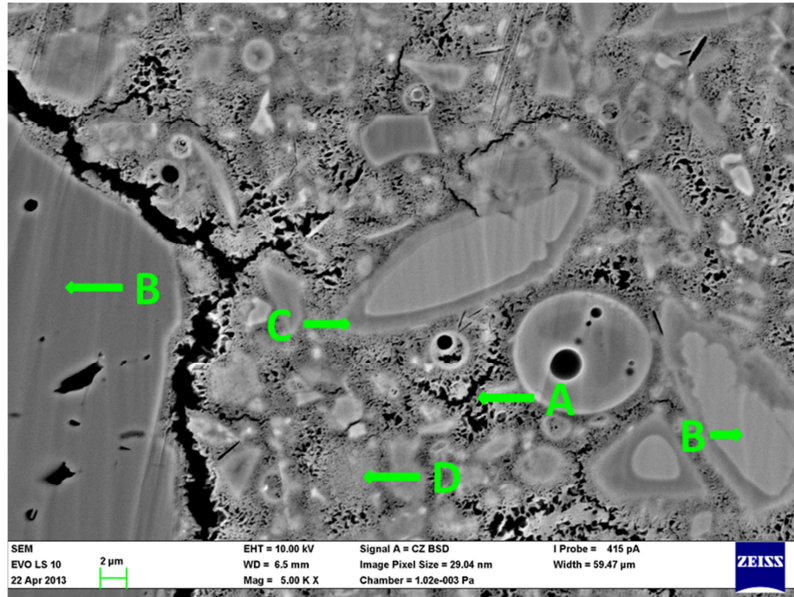


Figure 5: Phases corresponding to fitting component in Figure 4

## 2. Conclusion

On prepared geopolymer concrete a pre-failure cracks were created (using of pressure). Initial cracks were localized and characterized using a light microscope and scanning electron microscope with energy dispersive spectroscopy. Methods how to influence weakest points were suggested. Then these methods were used during preparation of influenced geopolymer concrete. Finally, comparative methods were performed to prove, whether the effects were positive.

The first comparative method was a uniaxial compressive strength. Geopolymer concrete reached compressive strength of  $21 \pm 4$  MPa after 34 days of hardening. Influenced geopolymer concrete reached compressive strength of  $25 \pm 6$  MPa after 34 days of hardening.

Young modulus was obtained using ultrasonic testing. Geopolymer concrete reached of Young modulus  $E$  of  $35 \pm 10$  GPa and influenced geopolymer concrete reached Young modulus of  $33 \pm 5$  GPa. The resulting values  $E$  for both geopolymer are similar and the error intervals show the overlap of values. This means that the curing mechanism was not violated. Comparisons using nanoindentation confirmed the improvement of mechanical properties. Crucial framework phase and interstitial matter were identified and improvement of their stiffness was confirmed.

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

## Acknowledgements

I would like to thank Centres for materials research at FCH BUT, reg. no. CZ.1.05/2.1.00/01.0012.

## Literature

- [1] KALINA, L.: *Syntéza aluminosilikátových systémů na bázi geopolymérů orientovaná na využívání sekundárních surovin*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2011. s. 106
- [2] KOPLÍK, J.: *Inhibice nebezpečných látek v alumináto-silikátových systémech*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2012. s. 98
- [3] ŠAFÁŘ, M.: *Optimalizace betonových záměsí na bázi alkalicky aktivovaných druhotných surovin*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2013. s. 65
- [4] SELL, R.: *Investigation into the strength of concrete under sustained loads*. Bulletin No. 5, Union of Testing and Research Laboratories for Material and Structures (RILEM), Sec. 1959. p. 5-13
- [5] RAO M. V. M. S.: et al.: *Pre-Failure Damage Caused by Micro-Cracks in Rock: A Laboratory Study Using Acoustic Emission*. NDE, 2009.
- [6] LIM, C. C., GOWRIPALAN, N., SIRIVIVATNANON, V.: *Microcracking and chloride permeability of concrete under uniaxial compression*. Cement & Concrete Composites, Volume 22, Issue 5, 2000. p. 353–360. ISSN 0958-9465
- [7] SOFI, M., VAN DEVENTER, J. S. J., MENDIS, P. A., LUKEY, G.C.: *Engineering properties of inorganic polymer concretes (IPCs)*. Cement and Concrete Research, Volume 37, Issue 2, 2007. p. 251-257. ISSN 0008-8846
- [8] OLIVIA, M., NIKRAZ, H.: *Properties of fly ash geopolymer concrete designed by Taguchi method*, *Materials & Design*, Volume 36, April 2012, Pages 191-198, ISSN 0261-3069

## Contact

Ing. JAROMÍR WASSERBAUER, Ph.D., tel: 00420 541 149 469, e-mail: jaromirw1@gmail.com, Centrum materiálového výzkumu, FCH VUT v Brně, Purkyňova 118, 612 00 Brno.

**BLOK III.  
NORMALIZACE A CERTIFIKACE  
VE STAVEBNICTVÍ, ŘÍZENÍ  
JAKOSTI A KVALITY**

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

## **GEODETIKÉ PRÁCE PRI KONTROLE KVALITY STAVEBNÝCH PRVKOV A KONŠTRUKCIÍ**

## **GEODETTIC WORKS IN QUALITY CONTROL OF BUILDING ELEMENTS AND STRUCTURES**

**Ján Ježko**

Katedra geodézie, Stavebná fakulta,  
Slovenská technická univerzita v Bratislave

***Anotace:***

*Príspevok predstavuje niektoré geodetické práce Katedry geodézie SvF STU v Bratislave v oblasti kontroly kvality stavebných prvkov a konštrukcií realizovaných pracovníkmi katedry. Geodetické a fotogrametrické technológie je možné využiť v širokej oblasti kontroly posunov a deformácií, určovaní tvaru a rozmerov stavebných prvkov a konštrukcií. Výsledky umožňujú realizátorovi i odberateľovi stavebných prác získať objektívne informácie o chovaní sa materiálov a konštrukcií v rôznych medzných stavoch.*

***Annotation:***

*This paper presents some surveying works of the Department of Surveying, Faculty of Civil Engineering of STU in Bratislava in quality control of building elements and structures realized by the Department. Geodetic and photogrammetric technology can be used in a wide area of displacement- and deformation-measurements, determining the shape and dimensions of building components and structures. The results allow the implementer and customer of this works to obtain objective information's on the behaviour of materials and structures at different limit states.*

***Klíčová slova:*** geodetické práce, kontrola kvality stavebných prvkov a konštrukcií.

***Keywords:*** surveying works, quality control of building elements and structures.

## 1. Úvod

Katedra geodézie (KG) Stavební fakulty (SvF) Slovenskej technickej univerzity (STU) v oblasti vedecko-výskumnej činnosti a spolupráce s praxou riešila a rieši úlohy, ktoré úzko súvisia s kontrolou kvality stavebných objektov, konštrukcií a prvkov. V oblasti betónových konštrukcií sa jedná najčastejšie diagnostiku mostných objektov (MO). Na začiatku životnosti MO sa okrem geodetických prác súvisiacich s ich výstavbou sústreďuje pozornosť na zaťažovacie skúšky. Zaťažovacie skúšky mostov patria k tradičným postupom preukazovania kvality a spoľahlivosti pred odovzdaním mostnej konštrukcie do prevádzky [1]. Rozsah a spôsob realizácie i celková organizácia zaťažovacej skúšky je značne ovplyvnená veľkosťou MO, statickou náročnosťou, technológiou výstavby, ako aj ďalšími činiteľmi (spôsob založenia spodnej stavby, geologické pomery, vlastnosti základovej pôdy, terénne podmienky okolia objektu) a ďalšie. Mostné objekty plnia svoju funkciu niekoľko desiatok rokov a stávajú sa tak trvalou súčasťou životného prostredia. S pribúdajúcim vekom vzrastajú však nároky na kontrolu a technickú údržbu, ktorú im musí správca venovať. Jej súčasťou sú aj opakované kontrolné merania posunov (vodorovných i zvislých) geodetickými metódami a geodetická podpora prác súvisiacich s ich opravou a rekonštrukciou.

## 2. Geodetické práce pri kontrole kvality vybraných stavebných objektov

Vykonanie zaťažovacích skúšok mostov je unifikované v norme STN 73 6209, účinnej od roku 1980. Norma je určená nielen na vykonanie skúšok nových mostov, ale aj na skúšanie starších rekonštruovaných alebo opravovaných MO. Zaťažovacia skúška sa podľa tejto normy pripravuje a organizuje tak, aby sa preverila statická, prípadne dynamická funkcia mostnej konštrukcie. Zároveň je ustanovené, že výsledky takejto skúšky sú potrebné pre uvedenie mostného objektu do prevádzky. Zaťažovacia skúška mostnej konštrukcie podľa normy [1,2] v súvislosti s ustanoveniami STN 73 2031 sa pokladá za povinné úradno-kontrolné preskúšanie, ktoré sa vyžaduje v rámci stavebného konania. Technický výkon musí z tohto dôvodu vecne napĺňať ustanovenia [1,2] a príslušná autorizovaná skúšobňa má skúšku realizovať ako dôkazové konanie. V ďalšej časti príspevku je podľa ustanovení v [1] popísaná statická



skúška realizovaná geodetickými metódami pre predpätý MO diaľničnej komunikácie so zaťažovacím režimom mostných polí.

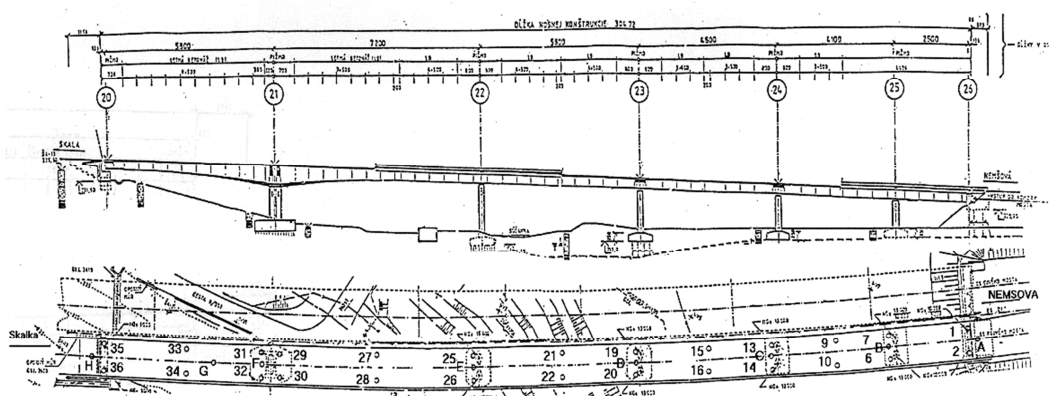
Projekt geodetických meraní, ktorý vypracovali pracovníci KG pre MO Súčanka [2] sa stal neoddeliteľnou súčasťou celkového záväzného projektu zaťažovacej skúšky. Projekt geodetických meraní obsahuje textovú a grafickú časť. V textovej časti sú uvedené:

- účel a požiadavky na meranie zvislých posunov charakteristických miest samotného objektu s navrhovanou metódou a prístrojovým vybavením,
- harmonogram a časové návrhy na vykonanie meraní,
- predpokladaná presnosť merania posunov,
- registrácia a spracovanie výsledkov meraní.

V grafických prílohách sú v pôdoryse mostného objektu zobrazené miesta pozorovaných bodov na určovanie zvislých posunov, ich číslovanie, vzťažné body, rozmiestnenie observačných stanovišťa a rozsah merania [2].

## 2.1. Realizácia geodetických meraní pri zaťažovacej skúške

**Stabilizácia pozorovaných bodov** sa vykonáva pred zaťažovacou skúškou (obr. 1, podľa [2]), ktoré sa najčastejšie stabilizujú v mostnej komore pomocou ocelových značiek nad podperami a v strede jednotlivých mostných polí.



Obr. 1 Schéma vzťažných a pozorovaných bodov (podľa [2])

**Prístrojové vybavenie.** Geodetické práce pri meraní mostných objektov si vyžadujú meracie prístroje vysokej stability. V súčasnom období sa využívajú elektronické meracie prístroje – univerzálne meracie stanice (UMS) z internou registráciou zberu údajov a príp. s priamym pripojením na PC. Na meranie zvislých posunov sú to digitálne nivelačné prístroje (DNP). Od prístrojov používaných v inžinierskej geodézii sa vyžaduje splnenie štandardných odchýlok v intervaloch uvedených v tab.1. K príslušným meracím prístrojom (systémom) dodáva výrobca software, ktorý kompletne zabezpečuje obsluhu, spracovanie meraných údajov, grafické a číselné výstupy finálnych výsledkov meraní.

Tab. 1 : Štandardné odchýlky meracích prístrojov

Druh merania	Presnosť	
	dolná hranica	horná hranica
Uhlov	1.5 mgon	0.15 mgon
Dĺžok	3 mm + 3 ppm	1 mm + 2 ppm
Výšok	0.7 mm/km	0.3 mm/km

**Metódy merania.** Geodetické merania zabezpečia určenie tvaru mostnej konštrukcie pred zaťažovacou skúškou a tvar konštrukcie pri zaťažovacej skúške, sadanie základov opôr a podpôr, zatlačenie ložísk podpôr, priehyby konštrukcie jednotlivých mostných polí, vodorovné a zvislé posuny konštrukcie, ktoré nastali účinkami zaťaženia.

Meranie zvislých posunov sa pri zaťažovacích skúškach najčastejšie realizuje metódou presnej nivelácie, resp. trigonometrickou metódou (s využitím UMS). Vzhľadom na zavedenie robotizovaných UMS do geodetickej praxe môžeme predpokladať oveľa väčšie využitie trigonometrickej metódy [6].

Voľba metódy merania a prístrojového vybavenia vyplýva z vyžadovanej presnosti merania zvislých posunov. Pred zaťažovacou skúškou sa analýzou presnosti merania overuje vzťah  $2\sigma \leq m_{\Delta}$ , kde  $\sigma$  je smerodajná odchýlka odvodená analýzou presnosti merania a  $m_{\Delta}$  je vyžadovaná presnosť zvislého posunu. Vzťah medzi  $\sigma$  a zvislým posunom je  $2\sigma < |\Delta|$ , čo je preukázateľná zmena s rizikom chybného rozhodnutia na hladine významnosti  $\alpha = 5\%$ .

Meranie zvislých posunov v predmetnej skúške sa súbežne realizovalo fyzikálnymi aj geodetickými metódami na charakteristických miestach mostnej konštrukcie. Ako fyzikálna metóda sa použilo meranie výškových zmien pomocou priehybomerov typu Frič. (výrobca Meopta). Delenie snímačov je 0.1 mm s možnosťou odhadu čítania na 0,05mm. Neistota merania je ovplyvnená pôsobením vetra na závažie a rozptylom meraní, bola odhadnutá na hodnotu 0,3mm. Porovnanie výsledkov obidvoch metód je uvedené v tab. 2. Grafické znázornenie zvislých posunov z vybraného úseku je na obr. 2.

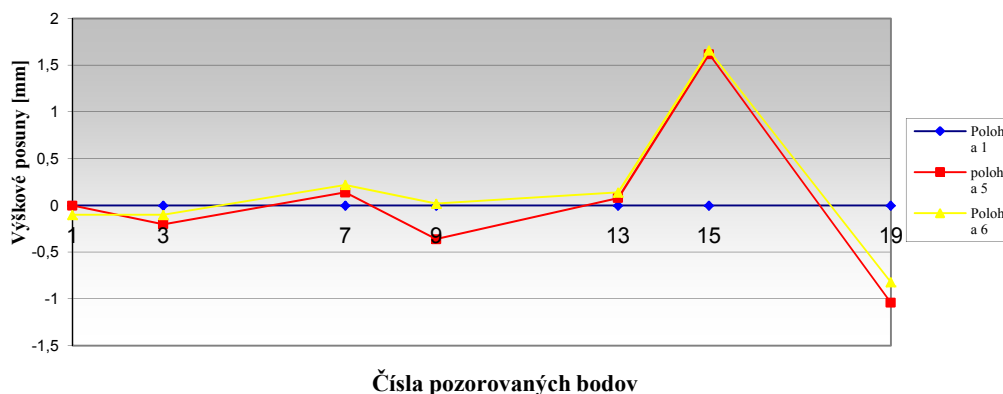
*Tab. 2: Porovnanie výsledkov geodetickej a fyzikálnej metódy*

Poloha mer.	5		6		12		13	
	Geod.	Fyzik.	Geod.	Fyzik.	Geod.	Fyzik.	Geod.	Fyzik.
Poz. bod	Metóda		Metóda		Metóda		Metóda	
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
3	-0.20	-0.10	-0.10	-0.05	-0.20	-0.15	-0.20	-0.15
4	-0.10	-0.15	0.00	0.05	-0.10	-0.15	-0.20	-0.30
15	1.62	1.45	1.66	1.40	-5.34	-5.15	-5.26	-5.05
16	1.64	1.44	1.80	1.70	-5.14	-5.10	-5.17	-5.10
20	-0.78	-0.55	-0.70	-0.65	0.58	0.50	0.74	0.65
21	-8.50	-8.80	-8.50	-8.75	4.10	4.25	4.20	4.45
27	4.18	4.30	4.54	4.65	-7.66	-7.50	-7.84	-7.60
28	4.26	4.40	4.50	4.60	-7.86	-7.55	-8.03	-7.90

**Eliminácia vplyvu teploty** na určenie zvislých posunov. V priebehu zaťažovacej skúšky má na geometrické parametre nosnej konštrukcie mosta veľký vplyv najmä zmena teploty a nerovnomerné otepľovanie nosnej konštrukcie mosta [3]. Ideálne by bolo vykonať zaťažovaciu skúšku pri ustálenej teplote konštrukcie.

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví



Obr. 2 Grafické znázornenie zvislých posunov

## 2.2. Diagnostika mostných objektov pre potreby opráv a rekonštrukcie

Diagnostika mostných objektov obsahuje činnosti, ktorými možno zistiť objektívny technický stav mostného objektu z hľadiska ich schopnosti plniť statickú a dynamickú funkciu predpokladanú projektom pri určených podmienkach používania [2]. Nevyhnutnosťou je zhromažďovanie takých informácií o mostnom objekte, ktoré umožnia prijať objektívne rozhodnutia o jeho oprave, či rekonštrukcii.

Diagnostickou činnosťou na mostných objektoch podľa [3] zisťujeme:

- schopnosť mosta plniť bezpečne a spoľahlivo svoju funkciu,
- následky chýb projektu a použitej technológie pri výstavbe mosta vrátane nedostatkov použitých materiálov,
- technický stav mosta z hľadiska jeho prirodzeného a vynúteného opotrebovania, resp. prevádzkového a mechanického opotrebovania,
- podmienky na priechodnosť mosta pri mimoriadnych zaťažovacích stavoch, najmä pri preprave nadrozmerných a výnimočných nákladov,
- následky mimoriadnych udalostí, pri ktorých sa zisťujú geometrické zmeny vplyvom tektonickej činnosti a pri iných nepredvídaných okolnostiach (povodeň, havária).

Súčasný technický podmienky diagnostiky mostov umožňujú použiť veľký počet rôznych diagnostických metód a prístrojov. Nezastupiteľné miesto v tejto činnosti majú aj geodetické metódy a geodet so svojím pohľadom na uvedenú problematiku.

**Metódy technickej diagnostiky.** Objektívny technický stav mostného objektu možno určiť metódami, ktorých presné vymedzenie je veľmi obtiažné [2]. Na identifikáciu konštrukcie, zistenie a kontrolu jej rozmerov a meranie fyzikálnych veličín sú určené bezdotykové (vizuálne) a dotykové metódy. Na určenie rozhodujúcich materiálových charakteristík sú dôležité metódy, ktoré sa delia na deštruktívne a nedeštruktívne.

Geodetické metódy v kontexte technickej diagnostiky sú podkladom na indikáciu a vyhodnotenie dočasných alebo trvalých zmien z hľadiska tvaru a polohy mostného objektu. Využívajú sa pri meraní a sledovaní deformácií a naklonenia objektov, pri geometrickej kontrole tvaru a pretvorenia jednotlivých prvkov a celej konštrukcie.

**Poruchy na mostných objektoch.** K najporuchovejším častiam mostného objektu patria mostné závery (MZ), ktoré sú priamo vystavené účinkom prechádzajúcich vozidiel a účinkom agresívnych látok pri zimnej údržbe komunikácie. Najčastejšie poruchy MZ predstavujú výškové zmeny záveru vzhľadom na priľahlý povrch vozovky, nedostatočné ukotvenie záveru do nosnej konštrukcie, výtlky vozovky v blízkosti záveru, poškodenie ocelových a tesniacich gumených častí mostného záveru. Vplyvom nerovností v okolí záveru sa zvyšujú dynamické účinky pri prejazde vozidiel až o 10-15 %, v závislosti od typu vozidla [2], čo znova prispieva k deštrukcii tejto mimoriadne namáhanej časti mostného objektu.

Ďalšou dôležitou časťou mostného objektu sú ložiská, ktoré prenášajú zaťaženie z nosnej konštrukcie do spodnej stavby a umožňujú pohyb nosnej konštrukcie. Poruchy môžu vzniknúť použitím nevhodného ložiska (neumožňuje požadovaný pohyb nosnej konštrukcie), technologickou chybou pri osadzovaní ložiska, nedostatočnou údržbou a odlišným zaťažením oproti predpokladanému. Poruchy ložísk znižujú únosnosť a bezpečnosť mostného objektu a môžu viesť až k havárii [3].

### **2.3. Predmet kontroly a niektoré výsledky z komplexnej diagnostiky Prístavného mosta cez Dunaj v Bratislave**

Problematika ozubov na uvedenom mostnom objekte bola rozdelená podľa [3] do nasledujúcich okruhov :

#### **Podrobná kontrola trhlín v ozuboch pozostávala:**

- z očistenia ozubov,

- zo zamerania trhlín - na podrobné zmapovanie tvaru a šírky trhlín bola použitá fotografická metóda so zakreslenou sieťou na povrchu betónu, z tejto siete bolo možné presne definovať polohu a dĺžku trhlín,
- z kontroly stavu korózie v trhline a kvality betónov v ozuboch.

### Ložiská v ozuboch

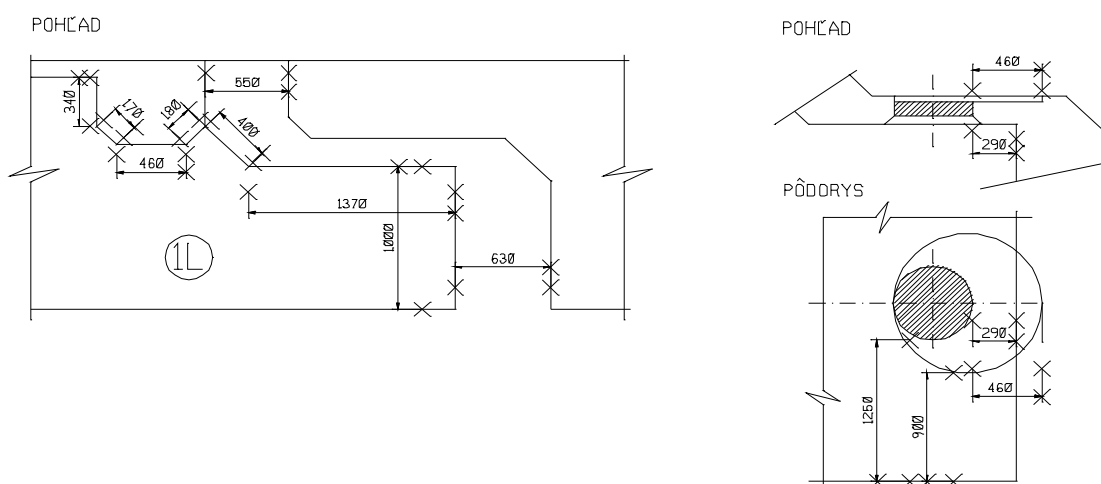
- technický stav, pohyby a potočenia ložiska boli zachytené graficky (obr. 3).

### Mostné závery medzi ozubami:

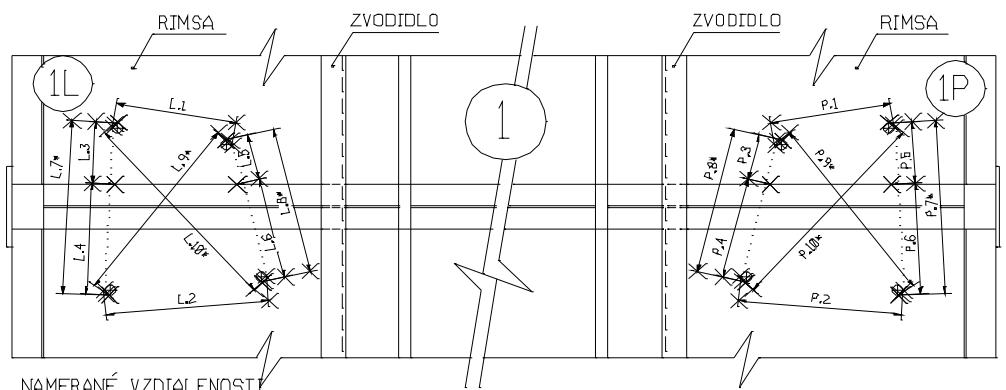
- zhodnotený bol technický stav, zameranie dilatačných škár bolo vykonané z úrovne vozovky, v grafickej forme boli spracované aj horizontálne pohyby dilatácií (obr. 4).

### Priehyby v miestach ozubov

- priehyby boli merané v dvoch etapách metódou presnej nivelácie za súčasného sledovania povrchovej teploty mostnej konštrukcie a osadených značiek, I. etapa merania bola realizovaná pri rozsahu teplôt od 18,7°C do 21,6°C, II. etapa bola realizovaná pri teplote od 22,6°C do 28,6°C,
- rozdiel teplôt medzi I. a II. etapou merania predstavoval v priemere hodnotu  $dt = 5,4^{\circ}\text{C}$  a priemerná hodnota posunu bola  $\Delta h = -0,9 \text{ mm}$ ,
- stredná chyba v určení výšky jednotlivých bodov sa pohybovala v rozsahu  $m_h = 0,2-0,3 \text{ mm}$  [4].



Obr. 3 Zameranie ozubu a polohy ložiska č.1 – ľavá strana



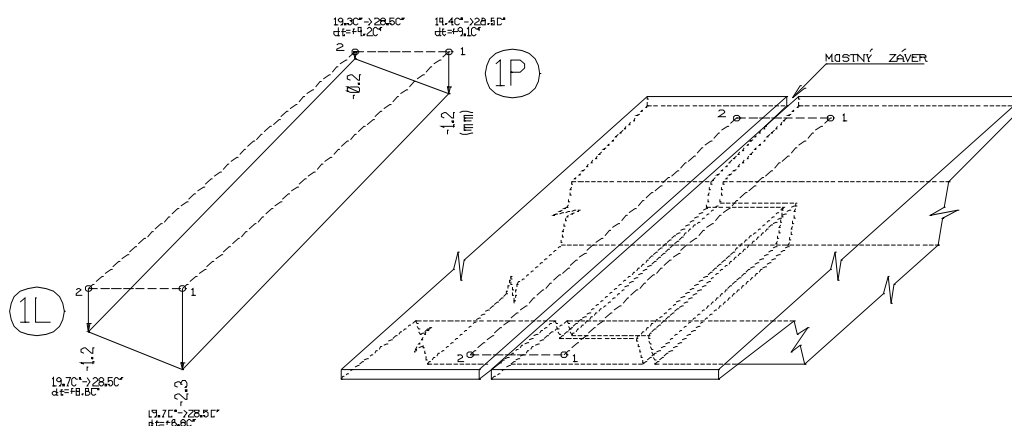
NAMERANÉ VZDIALENOSTI

DÁTUM MERANIA	ČAS MERANIA	TEPLOTA VZDUCHU (°C)	L.1 (mm)	L.2 (mm)	L.3 (mm)	L.4 (mm)	L.5 (mm)	L.6 (mm)	L.7* (mm)	L.8* (mm)	L.9* (mm)	L.10* (mm)
28.7.1998	17 h	27.8 C°	130	130	173	827	171	816	1000	987	1006.4	996
30.6.1998	5-9 h	20.8 C°							1009	996	1015.3	1005

DÁTUM MERANIA	ČAS MERANIA	TEPLOTA VZDUCHU (°C)	P.1 (mm)	P.2 (mm)	P.3 (mm)	P.4 (mm)	P.5 (mm)	P.6 (mm)	P.7* (mm)	P.8* (mm)	P.9* (mm)	P.10* (mm)
28.7.1998	17 h	27.8 C°	185	183.6	156	1110	149	1084	1233	1266	1250	1274.1
30.6.1998	5-9 h	20.8 C°							1241	1275	1258.5	1282

Obr. 4 Zameranie dilatanej škáry – ozub č.1

Celkove bolo predmetom kontroly 8 dilatácií a ozubov mostného objektu. Na meranie posunov boli na povrchu dilatácií osadené 4 výškové body, 2 vľavo (L1 a L2) a 2 vpravo (P1 a P2). Vzhľadom na obmedzený rozsah príspevku pre názornosť je uvedené grafické znázornenie zvislých posunov z kontroly dilatácií a ozubov len pre ozub č.1 (obr. 5, podľa [4]).



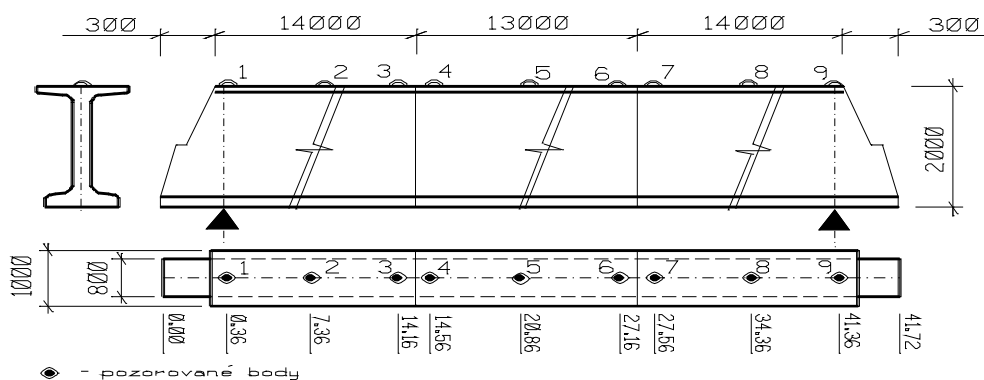
Obr. 5 Grafické znázornenie zvislých posunov – ozub č.1

## 2.4. Kontrola predpätia prefabrikátov

Rozmach výstavby diaľnic podnietil aj rozvoj nových konštrukcií mostov. Typickým predstaviteľom boli dodatočne predpäté nosníky prierezového tvaru I s typovým označením I-96, ktoré boli použité na výstavbu mosta "Orovnica" (R1).

V procese realizácie mostov z nosníkov typu I-96 boli zistené mimoriadne veľké vzopätia, ktoré prekročovali projektantom vypočítané hodnoty o viac ako 100 %. S týmto boli spojené aj dodatočné náklady na zabezpečenie projektovanej nivelety mostov v pripojení na svahové telesá, respektíve na priláhlé mostné objekty. Dodatočná vrstva betónu, ktorú bolo potrebné použiť, neúnosne zväčšuje aj stále zaťaženie týchto mostov, s ktorými projektant pôvodne nepočítal. Vzopätie nosníkov ovplyvňuje množstvo faktorov, ktoré sú v jednotlivých normových predpisoch definované rôznymi spôsobmi. Pri modelovom riešení konštrukcie dosiahnuté výsledky sa viac alebo menej blížia k nameraným hodnotám. Tento problém je potrebné riešiť v spojitosti s experimentom merania in-situ a s hľadaním vhodných funkcií pre teoretický výpočet [5].

**Nosná konštrukcia mosta "Orovnica".** Nosník I-96 pre cestné a diaľničné mosty je mostný prefabrikát s prierezom tvaru I. Dĺžka prefabrikátu I-96 bola naprojektovaná na 42 m a výška 2 m (obr.6). Tvar priečného rezu je konštantný po celej dĺžke nosníka. V závislosti od prepravných podmienok a možností boli nosníky vyrobené z 3 častí betónovaných na kontaktnú škáru



Obr.6 Grafické znázornenie nosníka

a na stavenisku zopnutých predpätím do jedného celku. Predopnutím prvých troch káblov sa čelá kontaktných škár navzájom pritlačia a potom nasleduje



predopnutie ostatných káblov v predpísanom poradí. Prednosťou technológie je, že nosník sa môže vyskladať z viacerých kratších častí a predopnutím na stavbe spojiť do jedného celku. Ďalšou výhodou je, že predpätie sa realizuje na dozretom betóne.

## 2.5. Popis experimentu merania in-situ

Určenie vzopätia nosníkov môžeme rozdeliť na niekoľko etáp. V prvej etape ide o určenie okamžitých pretvorení nosníka v procese predpínania, kedy pôsobia na nosník dve rozhodujúce zaťaženia, a to:

- vlastná tiaž nosníka a účinky predpínania,
- dlhodobé zmeny pretvorenia spôsobené stratami predpätia, dotvarovaním a zmrašťovaním betónu.

Meranie in-situ na troch náhodne vybratých nosníkoch bolo realizované priamo na mieste výstavby mosta. Na nosníku N3 bola meraná aj rovinnosť a dosadnutie stykových čiel [5].

**Geodetické meranie vzopätia nosníkov pri predpínaní.** Vzhľadom na požiadavku určiť vzopätie nosníkov s presnosťou 0.5 mm, bola zvolená metóda presnej nivelácie (niveláčny prístroj Ni 007) s priamym odčítaním hodnôt vzopnutia nosníka z jedného stanoviska, ktoré bolo v strede vedľajšieho nosníka.

Pozorované body označené číslami 1 až 9 pre nosník N1, 10 až 18 pre nosník N2, 19 až 27 pre nosník N3 boli osadené pomocou oceľových klinčov na hornej príruke v osi, t.j. na koncoch a v strede všetkých troch častí prefabrikátu. Vzťažný výškový bod A bol osadený na samostatnom pilieri klinčovou výškovou značkou (s výškami v lokálnom výškovom systéme). Predmetom samotného merania boli vzopätia nosníkov v jednotlivých polohách predpínania. Postup predpínania bol stanovený v projekte. Základná poloha pri meraní predpínania bola poloha, keď jednotlivé časti nosníka boli zopnuté k sebe na dotyk. Od tejto polohy začalo predpínanie káblov a geodetické meranie vzopnutia v jednotlivých polohách predpínania. Namerané hodnoty predopnutia nosníka N3 sú v tab. 3. Merania vzopätia po predopnutí a pri dobetónovaní vozovky nie sú v tomto príspevku uvádzané [5].

## 2.6. Presnosť určenia vzopätia nosníkov

Merania vo všetkých polohách predpínania sa vykonali za rovnakých podmienok (rovnaký prístroj a komparovaná invarová niveláčna lata, observátor, rovnaký počet stanovísk, rovnaké prostredie). Preto môžeme

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

predpokladat', že stredná chyba určenia prevýšenia i-teho pozorovaného bodu vzhľadom na vzťahový bod A je daná vzťahom:

$$m_{hi} = m_{st} \sqrt{n} \quad (1)$$

Keďže všetky pozorované body boli určené iba z jedného stanoviska prístroja, môžeme pre strednú chybu určenia prevýšenia napísať:

$$m_{hi} = m_{st} , \quad (2)$$

pričom  $m_{st}$  je stredná chyba prevýšenia meraného z jedného stanoviska prístroja, vypočítaná empiricky z viacerých meraní a pohybuje sa v intervale od 0.08 mm do 0.15 mm. V našom prípade uvádzam  $m_{st} = 0.15$  mm. Výšky pozorovaných bodov vzhľadom na bod A sú teda určené so strednou chybou:

$$m_{Hi} = m_{st} \sqrt{2} = 0.21 \text{ mm} \quad (3)$$

Pri overení vzťahového výškového bodu A sme vychádzali zo vzťahu:

$$\Delta_{Hi} = m_{st} \sqrt{2n} = 0.42 \text{ mm} , \quad n = 4 \quad (4)$$

K prekročeniu hodnoty  $\Delta_{Hi}$  nedošlo, z čoho možno usudzovať, že predpoklad určenia relatívnych hodnôt vzopätia nosníkov voči výškovému bodu A je správny [4].

Tab. 3: Namerané hodnoty predopnutia nosníka N3

BOD			A	19	20	21	22	23	24	25	26	27
čas	poloha											
10 <sup>05</sup>	0	Δ [mm]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11 <sup>01</sup>	1	Δ [mm]	0,0	-0,8	0,8	1,6	1,7	1,4	1,0	1,2	-0,4	-2,3
11 <sup>40</sup>	2	Δ [mm]	0,0	-1,6	1,1	2,0	2,3	1,7	1,2	1,3	-1,0	-3,6
12 <sup>13</sup>	5	Δ [mm]	0,0	-2,0	1,9	3,7	3,8	3,2	2,5	2,5	-0,9	-5,6
13 <sup>25</sup>	6	Δ [mm]	0,0	-3,0	1,9	3,8	4,4	3,3	2,6	2,6	-1,5	-6,6
13 <sup>42</sup>	7	Δ [mm]	0,0	-2,9	2,9	6,1	6,4	5,9	4,6	4,4	-0,6	-7,5
13 <sup>57</sup>	8	Δ [mm]	0,0	-3,2	5,2	10,6	10,8	10,7	8,9	8,8	1,2	-8,0
14 <sup>11</sup>	9	Δ [mm]	0,0	-3,6	11,4	20,6	21,2	21,9	18,7	18,6	7,0	-8,6
14 <sup>40</sup>	10	Δ [mm]	0,0	-3,9	17,6	30,4	31,0	32,8	28,5	28,2	12,3	-9,3
14 <sup>54</sup>	11	Δ [mm]	0,0	-4,2	20,8	36,5	37,1	39,8	34,6	34,1	15,2	-9,3

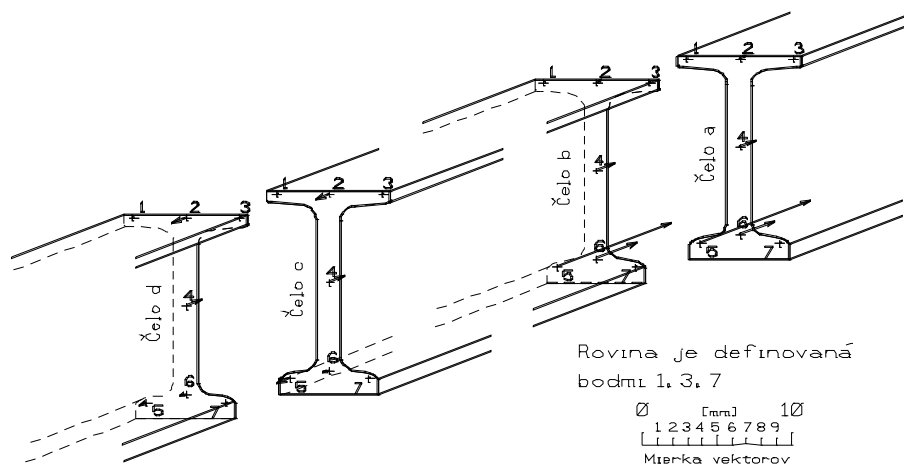
15 <sup>04</sup>	12	Δ [mm]	0,0	-4,1	28,3	49,0	49,8	53,6	46,8	46,2	22,0	-9,7
15 <sup>33</sup>	13	Δ [mm]	0,0	-4,7	34,6	59,9	61,0	66,0	57,8	56,9	28,1	-10,3
15 <sup>46</sup>	14	Δ [mm]	0,0	-4,9	35,7	60,8	62,2	67,3	59,4	58,5	29,4	-10,3
16 <sup>05</sup>	15	Δ [mm]	0,0	-4,9	42,0	71,8	73,1	79,0	69,1	68,1	34,2	-10,2
10 <sup>30</sup>	7.XII	Δ [mm]	0,0	-6,6	45,2	77,4	78,5	84,5	73,0	71,9	34,3	-15,2

**Geodetické meranie rovinnosti a dosadnutia čiel segmentov nosníka N3.** Pri spracovaní výsledkov merania nosníkov N1 a N2 sa zistili nesymetrické vzopnutia nosníkov. Preto bolo potrebné zistiť vplyv dosadnutia čiel nosníkov na samotné predopnutie. Tieto merania sa uskutočnili na nosníku N3 pomocou prístroja Zeiss THEO 010 A meradielka metódou zámernej priamky. Sedem pozorovaných bodov bolo naznačených na čelách segmentov nosníka podľa obr. 7. Z nameraných hodnôt bola určená rovinnosť čiel segmentov nosníka N3. Základná rovina bola preložená bodmi 1, 3, 7, od nej boli počítané odchýlky na ostatných bodoch. Ďalej boli určené diferencie dosadnutia čiel, ktorých hodnoty sú uvedené v tab. 4, podľa [4].

Tab. 4 : Rovinnosť čiel a, b, c, d – diferencie dosadnutia

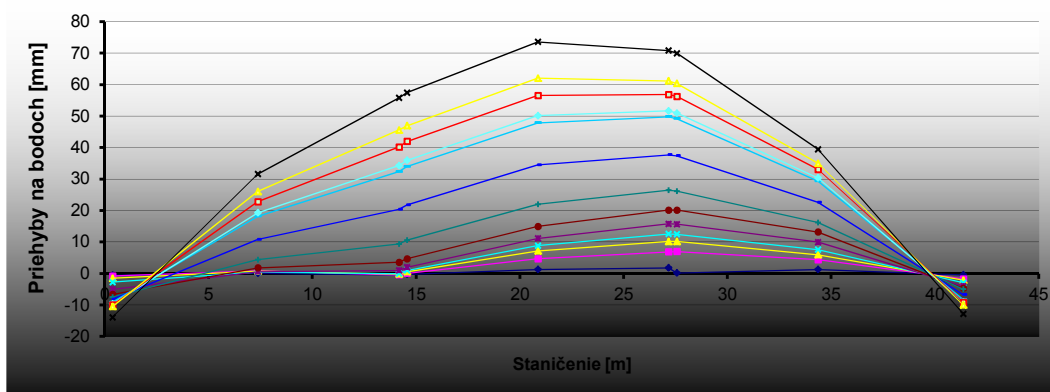
BOD	Čelo a	Čelo b	Diferencie dosadnutia	Čelo c	Čelo d	Diferencie dosadnutia	.
	[ mm ]	[ mm ]	[ mm ]	[ mm ]	[ mm ]	[ mm ]	[ mm ]
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
2	-1.2	-0.9	0.8	2.5	2.5	0.1	0.2
3	0.0	0.0	2.3	0.0	0.0	0.2	0.2
4	-2.8	-3.4	1.9	-2.9	-2.9	0.6	0.2
5	-19.7	-20.5	1.4	2.3	1.3	0.2	0.2
6	-6.3	-7.2	2.3	1.1	1.1	1.3	0.2
7	0.0	0.0	2.3	0.0	0.0	1.4	0.2

Stredná chyba merania rovinnosti a dosadnutia čiel segmentov nosníka N3 je bola odhadnutá na hodnotu 0.2mm, (najmenší dielik meradielka 1mm, vzdialenosť prístroja od meradielka 4m).

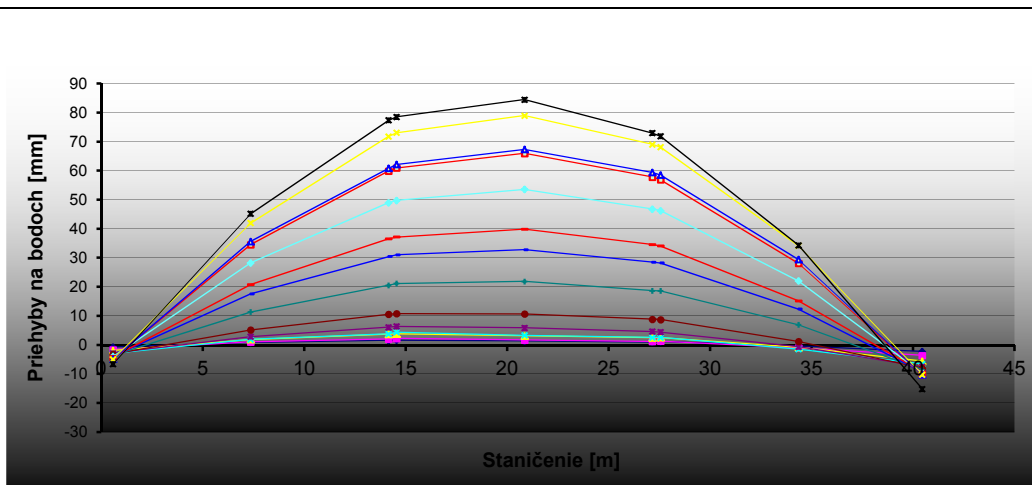


Obr.7 Grafické znázornenie rovinnosti čiel nosníka N3 pomocou vektorov

Nosníky boli predpínané tak, že všetkých desať káblov bolo napnutých z jednej strany a po jednej hodine dopnutých z druhej strany. Tento spôsob predpínania spôsobil výrazné nesymetrické deformácie nosníka (obr. 8), kde dokonca vzopätie nosníka v mieste kontaktnej škáry boli väčšie ako v jeho strede. Na základe týchto poznatkov z merania nosníka N1 a N2 bola navrhnutá zmena technológie predpínania tak, že prvé tri káble boli predopnuté z jednej strany a ostatné z druhej. Tento postup, ktorý bol použitý pri predpínaní nosníka N3 ako je vidieť na obr. 9 zabezpečil symetrickú deformáciu nosníka ako celku.



Obr. 8 Grafické znázornenie priebehu predpínania nosníka N1



Obr. 9 Grafické znázornenie priebehu predpínania nosníka N3

Pri analýze odmeraných hodnôt nosníkov N1 a N2 [4], kde boli zistené nesymetrické deformácie bolo potrebné zistiť aj vplyv dosadnutia čiel nosníkov na samotné predopnutie. Odmerané hodnoty sú uvedené v tab. 4. Rovinnosť čiel je zobrazená aj graficky pomocou vektorov odchýlok od roviny preloženej bodmi 1, 3, 7. Maximálna diferenciacia dosadnutia čela **a** a čela **b** predstavuje hodnotu 2.3 mm. Maximálna diferenciacia medzi čelami **c** a **d** je 1.4 mm. Maximálne diferencie čiel sú v spodnej časti nosníka. Pri meraní a výpočte rovinnosti čiel boli zistené najväčšie odchýlky na čelách v spodnej časti nosníka na bode 5a a 5b (-9.7 mm, -20.5 mm) škáry a-b a v strednej časti na bode 4c a 4d (-2.9 mm) škáry c-d. Z uvedených výsledkov zisťovania deformácie a dosadnutia čiel segmentov nosníka N3 je vidieť, že deformácie čiel, ktoré nastali, nemôžu výraznejšie ovplyvniť výsledné vzopätia nosníkov v pozdĺžnom smere. Všetky tri segmenty sú vyrábané na kontaktnú škáru (pozitív - negatív), čo potvrdzujú aj výsledky grafického znázornenia rovinnosti čiel nosníka N3.

### 3. Záver

Využitie geodetických metód a postupov pri kontrole kvality a spoľahlivosti stavebných konštrukcií je veľmi široké. Predstavené príklady čiastočne pokrývajú toto široké spektrum a umožňujú v procese prípravy, realizácie, ale i prevádzky stavebného diela, jeho konštrukcií a prvkov zabezpečiť kontrolu kvality a realizácie a tým zabezpečiť jeho spoľahlivosť počas prevádzky a dlhú životnosť.

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

## Literatúra

- [1] STN 73 6209. Zaťažovacie skúšky mostov.
- [2] SOKOL, Š.: Geodetické zabezpečenie zaťažovacej skúšky mosta cez Súčanku. In. : Geodézia a kartografia v doprave. Banská Štiavnica, 1999. Slovenský zväz geodetov. S. 125-130. ISBN 80-968200-5-2.
- [3] TOMICA, V. a iní: Údržba a rekonštrukcia mostov. Vydavateľstvo Alfa Bratislava, 1992.
- [4] JEŽKO, J. a i.: Geodetické práce pri rekonštrukcii mostného objektu. In. : Geodézia a kartografia v doprave. Banská Štiavnica, 1999. Slovenský zväz geodetov. S. 131-134. ISBN 80-968200-5-2.
- [5] SOKOL, Š. a i.: Geodetické meranie parametrov nových prefabrikátov nosných segmentov. In. : Geodézia a kartografia v doprave. Banská Štiavnica, 1999. Slovenský zväz geodetov. S. 151-156. ISBN 80-968200-5-2.
- [6] KYRINOVIČ, P. – LIPTÁK, I. – ERDÉLYI, J. – KOPÁČIK, A. 2011. Automatizovaný merací systém na kontinuálny monitoring mostov. In.: Geodetický a kartografický obzor 12/2011. ISSN 0016-7096, 2011, roč. 57. č. 12, s. 285-294.

## Kontakt

Ing. JÁN JEŽKO, PhD., Katedra geodézie, Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, tel.: 02/59274 338, e-mail: jan.jezko@stuba.sk

## **OPAKOVATELNOST A REPRODUKOVATELNOST VÝSLEDKŮ ZKOUŠEK PODLE ČSN 73 1326**

## **REPEATABILITY AND REPRODUCIBILITY OF MEASUREMENT BY ČSN 73 1326**

**Petr Misák, Tomáš Vymazal**

VUT v Brně, Fakulta stavební,  
Ústav stavebního zkušebnictví

***Anotace:***

*Příspěvek se zabývá validací výsledků zkoušek metod podle ČSN 73 1326 na základě výsledků programů zkoušení způsobilosti, které jsou realizovány prostřednictvím programů mezilaboratorních porovnávacích zkoušek.*

***Annotation:***

*This article deals with validation of tests results of standardized measurements methods according to ČSN 73 1326 based on proficiency testing programs with using interlaboratory comparison.*

***Klíčová slova:*** opakovatelnost, reprodukovatelnost, beton

***Keywords:*** repeatability, reproducibility, concrete

## 1. Úvod

Norma ČSN EN ISO/IEC 17025 [1] uvádí: „*Validace metod zkoušení, analýz a měření znamená, že laboratoř má prokázat a dokumentovat, že metody laboratoří používané a dokumentované jsou platné a vedou k určení pravých hodnot příslušných vlastností včetně stanovení nejistoty a určení limitů platnosti.*“ Účast v programech zkoušení způsobilosti je jednou z možností, jak může laboratoř prokázat validaci zkušebních postupů a svou způsobilost akreditačnímu orgánu nebo třetí straně (zákazníkovi). Jedním ze způsobů zkoušení způsobilosti jsou mezilaboratorní porovnávací zkoušky (MPZ), které bývají často nazývány experimenty shodnosti. Předmětem MPZ je tedy posouzení shodnosti výsledků zkoušek a výstupem je vyhodnocení výkonnosti účastníků se zkušebních laboratoří. Údaje o shodnosti zkušebního postupu (především opakovatelnost a reprodukovatelnost) jsou „vedlejší“ výstupy MPZ. Tyto údaje jsou velice často přehlíženy parametry a přitom patří mezi základní charakteristiky zkušebních postupů, které nám mohou napovědět, jakou variabilitu výsledků zkoušek můžeme očekávat.

Zkušební postupy pro stanovení odolnosti cementového betonu proti působení chemických rozmrazovacích látek uvedené v ČSN 731326 [2] (vydání 1984, změna Z1 2003) jsou jedny z nejpoužívanějších zkoušek pro určení trvanlivostních vlastností ztvrdlého betonu. Údaje týkající se shodnosti výsledků zkoušek však tento dokument neobsahuje a proto bývají výsledky velice často ne zcela správně chápány. Cílem tohoto článku je především upozornit na problematiku velké variability výsledků zkoušek provedených podle těchto postupů, která se projevuje vysokými hodnotami opakovatelnosti a reprodukovatelnosti. Ignorace těchto faktů často v praxi vede k celé řadě sporů o kvalitě již zabudovaného betonu.

## 2. Základní statistické vyhodnocení údajů shodnosti

K popisu přesnosti metod měření se využívá termínů správnost a shodnost. Správnost se týká těsnosti shody mezi aritmetickým průměrem velkého počtu výsledků zkoušek a pravou nebo přijatou referenční hodnotou. Shodnost se týká těsnosti shody mezi výsledky zkoušek. Nutnost uvažování shodnosti vzniká ze skutečnosti, že zkoušky, o nichž se předpokládá, že jsou provedeny na stejném materiálu za stejných podmínek, neposkytují obecně stejné výsledky. Příčinou jsou náhodné chyby, kterým se nelze vyhnout. Tyto chyby jsou nedílnou součástí každého zkušebního postupu



a nelze je nikdy v plném rozsahu ovládat. Analýza experimentu shodnosti není zaměřena na zkoumání správnosti výsledků zkoušek, ale především na jejich shodnost. Výsledky se tedy posuzují vzájemně mezi sebou a nikoli vzhledem k nějaké referenční či pravdivé hodnotě.

Základem statistické analýzy je kritické zhodnocení údajů podle ČSN EN 5725-2 [3], tedy zjištění a ošetření podezřelých a odlehlých hodnot a dalších nepravidelností. Toto zhodnocení se provádí prostřednictvím Mandelových statistik (grafické zhodnocení) a především pomocí Grubbsových a Cochranových testů (numerické zhodnocení). Hlavním výstupem programů zkoušení způsobilosti prováděných prostřednictvím MPZ je tzv. Z-score a  $\zeta$ -score (zeta-score), které jsou stanoveny podle ČSN EN ISO/IEC 17043 [4]. Tyto charakteristiky určují výkonnost zkušební laboratoře. Účelem je vyjádřit odchylku od tzv. vztažné hodnoty takovým způsobem, který umožňuje porovnání s kritérii výkonnosti.

Mezi vedlejší charakteristiky, které se sice v rámci MPZ určují, ale nemají zásadní vliv na hodnocení výkonnosti účastníků se laboratoří, patří mezilaboratorní rozptyl a rozptyly opakovatelnosti a reprodukovatelnosti. Tyto parametry tvoří základ informací o shodnosti daného zkušební postupu. Často se uvádějí ve formě variačních koeficientů nebo směrodatných odchylek, tedy po odmocnění. Výhodou je stejný fyzikální rozměr charakteristiky variability a sledované veličiny.

Rozptyl opakovatelnosti

$$s_r^2 = \frac{\sum_{i=1}^p (n_i - 1) s_i^2}{\sum_{i=1}^p (n_i - 1)} \quad (1)$$

Mezilaboratorní rozptyl

$$s_L^2 = \frac{s_d^2 - s_r^2}{\bar{n}}, \quad (2)$$

kde

$$s_d^2 = \frac{1}{p-1} \sum_{i=1}^p n_i (\bar{y}_i - \bar{y})^2 = \frac{1}{p-1} \left( \sum_{i=1}^p n_i (\bar{y}_i)^2 - (\bar{y})^2 \sum_{i=1}^p n_i \right) \quad (3)$$

a

$$\bar{n}_i = \frac{1}{p-1} \left( \sum_{i=1}^p n_i - \frac{\sum_{i=1}^p n_i^2}{\sum_{i=1}^p n_i} \right). \quad (4)$$

---

Rozptyl reprodukovatelnosti

$$s_R^2 = s_r^2 + s_L^2, \quad (5)$$

kde  $s_r^2$  je rozptyl opakovatelnosti a  $s_L^2$  je mezilaboratorní rozptyl. Nejdůležitějšími pojmy, kterými je definována shodnost zkušební metody, je opakovatelnost a reprodukovatelnost. Tyto hodnoty jsou předmětem části nazvané „Údaje o shodnosti“ většiny normativních předpisů měřících metod. Opakovatelnost vyjadřuje, že rozdíl mezi dvěma výsledky zkoušek z téhož vzorku, provedených stejným pracovníkem, na tomtéž zařízení, v nejkratším možném časovém intervalu nebude překračovat hodnotu opakovatelnosti  $r$  v průměru ne více než jednou ve 20 případech při běžném a správném provádění metody. Hodnota opakovatelnosti je vyjádřena vztahem

$$r = 2,8s_r, \quad (6)$$

kde  $s_r = \sqrt{s_r^2}$  je směrodatná odchylka opakovatelnosti. Reprodukovatelnost vyjadřuje, že výsledky zkoušek na tomtéž vzorku, získané v nejkratším možném časovém intervalu dvěma pracovníky, kteří použili každý své zařízení, se nebudou lišit hodnotou reprodukovatelnosti  $R$  v průměru ne více než jednou ve 20 případech při běžném a správném provádění metody. Hodnota reprodukovatelnosti je vyjádřena vztahem

$$R = 2,8s_R, \quad (7)$$

kde  $s_R = \sqrt{s_R^2}$  je směrodatná odchylka reprodukovatelnosti.

### **3. Údaje shodnosti uvedené v ČSN P CEN/TS 12390-9 a dalších dokumentech**

Metody (A a C) pro stanovení odolnosti povrchu cementového betonu proti působení vody a chemických látek jsou popsány v ČSN 731326 [2] a předpokládáme, že jejich postupy a vzájemné rozdíly jsou odborné veřejnosti dostatečně známy. Tyto metody jsou standardně používány k hodnocení trvanlivostních charakteristik ztvrdlých betonů (stupeň vlivu prostředí). Výsledky těchto metod jsou poměrně často zdrojem sporů nad kvalitou zabudovaného betonu. Problém je mimo jiné však v tom, že

v této normě chybí jakékoli údaje o shodnosti, pouze v článku 43 ve změně 1 (Z1), jsou uvedeny údaje o validaci výsledků.

Jako nápoděda pro shodnost může snad posloužit norma ČSN P CEN/TS 12390-9 [5], kde v článku 8 je citována publikace [6], ze které byla opakovatelnost a reprodukovatelnost odvozena. Tuto normu zmiňují i některé Technické podmínky Ministerstva dopravy ČR, např. [7]. V ČSN P CEN/TS 12390-9 [5] jsou popsány jiné metody pro stanovení odolnosti ztvrdlého betonu proti zmrazování a rozmrazování než v ČSN 731326 [2]. Jedná se však o velice podobné hodnocení trvanlivostních charakteristik ztvrdlého betonu. Z těchto důvodů je možné údaje o shodnosti použít jako nástin pro zkušební metody podle ČSN 731326 [2]. V tabulce 1 jsou uvedeny údaje o shodnosti publikované v [6] ve formě variačních koeficientů. Tyto hodnoty jsou jedním z výstupů rozsáhlého experimentu shodnosti podle ČSN ISO 5725 [3,10, 11] zaměřeného na trvanlivostní charakteristiky ztvrdlého betonu provedeného v roce 1998. Experimentu se zúčastnilo celkem 25 laboratoří z 11-ti států Evropy. Předmětem bylo 9 různých zkušebních postupů pro stanovení odolnosti ztvrdlého betonu proti zmrazování a rozmrazování při působení chemických rozmrazovacích látek. Jednotlivých postupů se účastnilo 4 až 11 laboratoří, přičemž experiment byl nastaven jako víceúrovňový (byly měřeny 4 záměsi betonu s různým vodním součinitelem a složením).

Pro ilustraci údajů o shodnosti lze použít asi nejběžnější zkušební postupy používané ve stavebním zkušebnictví, a to pevnost v tlaku ztvrdlého betonu podle ČSN EN 12390-3 [8] a objemovou hmotnost ztvrdlého betonu ČSN EN 12390-7 [9] (viz Tabulka 1). V obou těchto normativních předpisech jsou údaje o shodnosti stanoveny na základě experimentu z roku 1987, kterého se účastnilo 16 laboratoří. V opravě 1 normy ČSN EN 12390-3 [8] jsou údaje o shodnosti opraveny na základě experimentu z roku 1992, kterého se účastnilo 89 laboratoří. Jedná se tedy o údaje, jejichž vypovídací schopnost je na výrazně vyšší úrovni. Tento experiment byl však zaměřen pouze na vyhodnocení pevnosti v tlaku zkušebních těles ve tvaru válce. Shodnost krychelné pevnosti v tlaku je nadále vyhodnocena prostřednictvím předchozího experimentu, jehož vypovídací schopnost je omezena rozsahem (počtem zúčastněných laboratoří). Jak je patrné (viz Tabulka 1), údaje o shodnosti měřící metody podle ČSN EN 12390-3 [8] jsou na horní hranici obecně přijímané hodnoty shodnosti ukazující kvalitní měření, tedy 10%. Hodnoty uvedené v ČSN P CEN/TS 12390-9 [5] tuto hranici výrazně překračují.

*Tabulka 1 Údaje o shodnosti zkušebních metod podle ČSN P CEN/TS 12390-9 [5] (převzaté z publikace [6]), ČSN EN 12390-3 [8] a ČSN EN 12390-7 [9]. \* - přepočtené údaje na procentuální hodnoty*

Zkušební postup		Stupeň odlupování	Opakovatelnost [%]	Reprodukovatelnost [%]
ČSN P CEN/TS12390-9	Deska	1,0 kg/m <sup>2</sup>	17	31
	CDF	1,5 kg/m <sup>2</sup>	14	29
	Krychle	3% hmotnosti	18	38
ČSN EN 12390-3 (150 mm krychle)			9,0	13,2
ČSN EN 12390-7 (150 mm krychle, výpočetem ze změřených rozměrů)			1,2*	2,4*

V následujících částech článku jsou diskutovány výsledky experimentu shodnosti zaměřeného na metodu A v ČSN 73 1326 [2], který byl zorganizován Poskytovatelem zkoušení způsobilosti při ústavu SZK FAST (Z 7008). Postup podle metody C nebude v tomto článku více diskutován především vzhledem k nízkému počtu účastnících se laboratoří v této části programu zkoušení způsobilosti. Závěry analýzy by byly ovlivněny a nebyly by dostatečně reprezentativní.

#### **4. Výsledky a analýza experimentu shodnosti zaměřeného na postupy v ČSN 73 1326**

Program zkoušení způsobilosti realizovaný prostřednictvím mezilaboratorních porovnávacích zkoušek (MPZ) probíhal v období únor – červen 2012 a jeho účelem bylo porovnat a vyhodnotit výsledky zkoušek ztvrdlého betonu podle vybraných norem pro zkoušení ztvrdlého betonu, mimo jiné též ČSN 731326 [2], metoda A. MPZ byly pořádány ve spolupráci s firmou BETOTECH, s. r. o., konkrétně pracovištěm zkušební laboratoře v Brně (L1195.3) spolupracující při přípravě zkušebních těles. MPZ se zúčastnilo 32 akreditovaných pracovišť z České a Slovenské republiky, z nichž zkoušky podle metody A v ČSN 731326 [2] se zúčastnilo 17 pracovišť.

Čerstvý beton pro výrobu zkušebních těles byl odebrán z jedné výrobní dávky, která byla vyrobena při dodržení požadavků a dalších souvisejících specifikací uvedených v ČSN EN 206-1 [12]. Čerstvý beton byl uložen do zkušebních forem vždy stejného typu a po odformování byla zkušební tělesa umístěna za stejných podmínek do uložení vyhovujících požadavkům jednotlivých specifikací. Složení čerstvého betonu je uvedeno v Tabulce 2.

*Tabulka 2 Složení čerstvého betonu*

CEM I 42,5R Mokrý	400 kg
0/4 Bratčice	762 kg
8/16 Olbramovice	595 kg
11/22 Olbramovice	344 kg
Superplastifikátor	2,40kg
Provzdušňovací přísada	0,40kg
Voda	180 kg

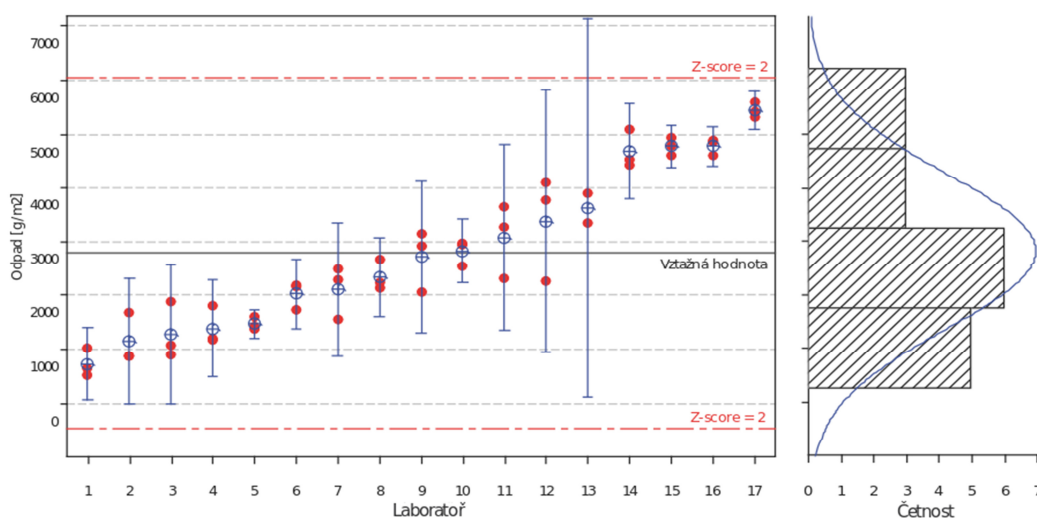
Formy s čerstvým betonem byly uloženy v laboratorních podmínkách po dobu 48 hodin. Povrch betonu ve formách byl chráněn proti odparu vody víčkem. Po 48 hodinách byla zkušební tělesa odformována, identifikována a neprodleně převezena na Ústav stavebního zkušebnictví FAST VUT v Brně.

Pro výrobu zkušebních těles pro zkoušku odolnosti betonu vůči CHRL byl použit beton, u kterého byl předpoklad vyšších odpadů po 100 cyklech. Homogenita a stabilita zkušebních těles při výrobě a uložení byla zajištěna výrobou vzorků z jedné výrobní dávky, použitím jednoho druhu separačního přípravku, jednoho druhu forem z jednoho druhu materiálu, uložení a distribucí všech zkušebních vzorků pohromadě v identickém prostředí v souladu s ČSN EN 12390-2 [13]. Vlivy, které mohou být způsobeny použitím různých druhů separačních přípravků, forem a uložení jsou popsány např. v [14].

Homogenita a stabilita zkušebních vzorků při distribuci byla zajištěna vyjmutím vzorků z uložení bezprostředně před jejich distribucí, jejich kontrolou a zabalením do PE fólie, následným uložení vzorků do speciálních krabic opatřených tepelně izolační vložkou, která rovněž slouží pro eliminaci případných rázů vzniklých neopatrnou manipulací při distribuci (tato izolace je vložena i mezi vzorky aby se zamezilo jejich vzájemnému kontaktu), krabice jsou zavřeny, označeny a připraveny k distribuci jednotlivým účastníkům jejich vlastními prostředky, nebo zásilkovou službou.

V rámci MPZ byly provedeny zkoušky odolnosti cementového betonu proti působení CHRL podle [2]. Výsledky zkoušek provedených účastníci se laboratořemi byly hodnoceny jako víceúrovňový experiment, tedy samostatně pro každý zkoumaný počet zatěžovacích cyklů.

V tomto příspěvku jsou diskutovány pouze výstupy MPZ, které mají vliv na opakovatelnost a reprodukovatelnost zkušební metody A. Grafické znázornění výsledků zkoušek po 100 zmrazovacích cyklech společně se základními statistickými charakteristikami je na obrázku 1.



*Obrázek 1 Vlevo: Grafické znázornění výsledků zkoušek odpadu po 100 zmrazovacích cyklech, 95% intervalových odhadů střední hodnoty a limitních mezí pro  $Z\text{-score} = 2$  (Výsledky laboratoří jsou seřazeny vzestupně); Vpravo: Histogram průměrných hodnot a teoretická Gaussova křivka*

Výsledky programu mezilaboratorních porovnávacích zkoušek jsou v mnoha ohledech zarážející. První skutečnost, která je zřejmá na první pohled, je vysoká variabilita mezi výsledky různých pracovníků různých laboratoří, tedy vysoká variabilita za podmínek reprodukovatelnosti. Dalo by se namítnout, že tato variabilita může být způsobena nehomogenitou zkušebních těles případně nějakým systematickým vlivem při jejich výrobě. Homogenita zkušebních těles byla ale zajištěna na maximální úrovni (viz výše). Přítomnost systematického vlivu by bylo možné odhalit jednoduchým testováním normality dat. Případná nenormalita dat by mohla poukazovat na přítomnost jiných než náhodných vlivů. V tomto

případě však nenormalita nebyla prokázána, proto lze konstatovat, že vysokou mezilaboratorní variabilitu a potažmo i reprodukovatelnost má za následek nedokonalost (vysoká citlivost) zkušební metody A popsané v normě ČSN 73 1326 [2].

*Tabulka 4 Celkové statistické charakteristiky výsledků zkoušek odolnosti cementového betonu proti působení CHRL – metoda A*

<b>Počet zmrazovacích cyklů</b>	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>75</b>	<b>100*</b>
Celková průměrná hodnota [g/m <sup>2</sup> ]	591,9	1435	2049	2817
Výběrová směrodatná odchylka [g/m <sup>2</sup> ]	376	875	1167	1457
Vztažná hodnota – robustní odhad hodnoty průměru [g/m <sup>2</sup> ]	571	1403	1950	2805
Robustní směrodatná odchylka [g/m <sup>2</sup> ]	380	931	1133	1628
Směrodatná odchylka opakovatelnosti s <sub>r</sub> [g/m <sup>2</sup> ]	202	329	332	441
Mezilaboratorní směrodatná odchylka s <sub>L</sub> [g/m <sup>2</sup> ]	357	855	1162	1445
Směrodatná odchylka reprodukovatelnosti s <sub>R</sub> [g/m <sup>2</sup> ]	410	916	1208	1511
<b>Opakovatelnost [g/m<sup>2</sup>]</b>	<b>566</b>	<b>920</b>	<b>930</b>	<b>1235</b>
<b>Reprodukovatelnost [g/m<sup>2</sup>]</b>	<b>1149</b>	<b>2564</b>	<b>3383</b>	<b>4230</b>
<b>Variační koeficient opakovatelnosti [%]</b>	<b>35</b>	<b>23</b>	<b>17</b>	<b>16</b>
<b>Variační koeficient reprodukovatelnosti [%]</b>	<b>72</b>	<b>65</b>	<b>62</b>	<b>54</b>

## Závěr

Experiment shodnosti provedený Poskytovatelem zkoušení způsobilosti při ústavu SZK FAST (Z7008) upozornil na celou řadu poznatků týkajících se zkušebního postupu A normy ČSN 73 1326 [2]. Výsledkem jsou především vyhodnocené údaje o shodnosti zkušebního postupu, které nebyly dosud ve větší míře diskutovány a publikovány. Opakovatelnost metody vyjádřená ve formě variačního koeficientu dosahuje hodnot až 35 % a reprodukovatelnost až 72 %. Při vyjádření v absolutních hodnotách, tedy v g/m<sup>2</sup> dosahuje opakovatelnost až 1235 g/m<sup>2</sup> a reprodukovatelnost až 4230 g/m<sup>2</sup>. Na tomto místě je potřeba připomenout zatřídění povrchu zkušebních ploch stupněm porušení podle ČSN 73 1326 [2] (viz Tabulka 5), kde se narušený povrch (stupeň 3) vykazuje odpadem mezi 500 a 1000 g/m<sup>2</sup>. Jak je patrné z obrázku 1 a tabulky 3, laboratoř č. 1 naměřila hodnoty vyhovující tomuto stupni porušení. Oproti tomu laboratoř č. 17 stanovila odpad převyšující 5000 g/m<sup>2</sup>, což jsou hodnoty vymykající se stupňům porušení v [2] (Tabulka 5). Nutno podotknout, že

všechny laboratoře, které se zúčastnily experimentu, jsou akreditované podle ČSN EN ISO/IEC 17025 [1] a na Českém a Slovenském trhu mají dlouholetou tradici. Nejedná se tedy o „amatérské zkušebny“.

*Tabulka 5 Zatřídění povrchů zkušebních těles podle ČSN 73 1326 [2]*

Stupeň porušení	Odpad [g/m <sup>2</sup> ]	Charakter odpadu
1 – nenarušený	do 50	velmi jemné prachové částice do 1 mm
2 – slabě narušený	do 500	Jako u stupně 1, větší množství částic do 1 mm, podíl částic do 2 mm menší než 50 % hmotnosti odpadu
3 – narušený	do 1000	jako u stupně 2, podíl částic nad 2 mm přes 500 g/m <sup>2</sup>
4 – silně narušený	do 3000	jako u stupně 2, podíl částic nad 2 mm přes 500 g/m <sup>2</sup>
5 – rozpadlý	přes 3000	jako u stupně 4, podíl částic nad 4 mm více jak 20 % hmotnosti odpadu

Z vyhodnocených údajů o shodnosti zkušební metody A podle ČSN 73 1326 [2] po provedení 100 zatěžovacích cyklů a z definic opakovatelnosti a reprodukovatelnosti vyplývá následující:

- Rozdíl mezi dvěma výsledky zkoušek z téhož vzorku, provedených stejným pracovníkem, na tomtéž zařízení, v nejkratším možném časovém intervalu nebude překračovat hodnotu opakovatelnosti **1235 g/m<sup>2</sup>** v průměru ne více než jednou ve 20 případech při běžném a správném provádění metody.
- Rozdíl mezi dvěma výsledky zkoušek na tomtéž vzorku, získané v nejkratším možném časovém intervalu dvěma pracovníky, kteří použili každý své zařízení, se nebudou lišit hodnotou reprodukovatelnosti **4230 g/m<sup>2</sup>** v průměru ne více než jednou ve 20 případech při běžném a správném provádění metody.

Z těchto závěrů vyplývá, že variabilita výsledků zkoušek je opravdu velmi vysoká. Autoři článku se domnívají, že na základě výsledků provedeného experimentu je nutné upozornit na irelevantnost v praxi běžných dodavatelsko-odběratelských sporů na úrovni desítek g/m<sup>2</sup>.

Výsledky metod uvedených v [2] jsou velmi náchylné na celou řadu vnějších vlivů, které mohou způsobit vysokou nehomogenitu výsledků. Z těch nejproblematičtějších jsou to zejména vlivy popsané v [14], tj.



volba separačního přípravku, druhu zkušebních forem a také způsob uložení. Jsou-li zkušební tělesa uložena např. ve vodním uložení, lze výsledky ovlivnit kvalitou vody v uložení, neboť čerstvá pitná voda zhorší výsledky díky vyluhování povrchové vrstvy zkušebních těles. Rovněž je třeba při hodnocení výsledků přihlídnout k obsazení zkušebních míst v cyklovacím zařízení, neboť zde hraje roli teplotní akumulace zkušebních těles. Rozdílné obsazení počtu zkušebních míst v cyklovacím zařízení způsobuje rozdíly v průběhu zkušebního zmrazovacího cyklu, tj. rozdíly v teplotním namáhání zkušebních těles.

Pro zajištění co možná nejpravdivějších a nejspolehlivějších výsledků je třeba skutečně striktně dodržet předepsané požadavky na výrobu, uložení a zkoušení zkušebních těles a neméně důležité je, aby si zkušební laboratoř stanovila (a nejlépe i dokumentovala) další nespecifikované požadavky, které by měla vzít v potaz při provádění tohoto zkušebního postupu, s ohledem na své vybavení, infrastrukturu a pracovníky. Tyto by měly být při specifikovaných podmínkách neměnné po celou dobu provádění zkoušek nejen podle [2].

Jakékoli odchylky způsobené zkušební laboratoří nebo požadavky dozorových či jiných orgánů a osob, které jsou odlišné od standardizovaných postupů ve všech fázích zkoušení (tj. vzorkování, přeprava, uložení a zkoušení) vedou podle našeho názoru jen ke zhoršení výsledků zkoušek, zhoršení objektivitu a vypovídací schopnosti zkušební metody a lze je tedy brát v úvahu jen stěží.

## **Poděkování**

Příspěvek vznikl za podpory GAČR 13-18870S „Hodnocení a predikce trvanlivosti povrchové vrstvy betonu“.

## **Literatura**

- [1] ČSN EN ISO/IEC 17025 Posuzování shody - Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří, ČNI 2005.
- [2] ČSN 731326, Stanovení odolnosti povrchu cementového betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek, ČNI, 1985
- [3] ČSN ISO 5725-2: Přesnost (správnost a shodnost) metod a výsledků měření – Část 1: Základní metoda pro stanovení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti normalizované metody měření, ČNI 1997.

- [4] ČSN EN ISO/IEC 17043: Posuzování shody - Všeobecné požadavky na zkoušení způsobilosti, ČNI 2010.
- [5] ČSN P CEN/TS 12390-9, Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 9: Odolnost proti zmrazování a rozmrazování – Odlupování, ÚNMZ, 2007
- [6] Breit, W., Siebel, E.: Standard methods for testing the resistance of concrete to freezing and thawing – Round robin test. Milestone Report Work Package 3, European Research Project MAT1-CT94-0055, Forschungsinstitut der Zementindustrie, Report No. B 1489/3, Dusseldorf, 1998
- [7] TP 226 Vysokohodnotné betony pro mosty PK, Ministerstvo dopravy ČR, 2010, dostupné z [www.pjpk.cz](http://www.pjpk.cz)
- [8] ČSN EN 12390-3 Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles, ÚNMZ, 2009
- [9] ČSN EN 12390-7 Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 7: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu, ÚNMZ, 2009
- [10] ČSN ISO 5725-1: Přesnost (správnost a shodnost) metod a výsledků měření – Část 1: Obecné zásady a definice, ČNI 1997.
- [11] ČSN ISO 5725-5 Přesnost (správnost a shodnost) metod a výsledků měření - Část 5: Alternativní metody pro stanovení shodnosti normalizované metody měření, ČNI, 1999
- [12] ČSN EN 206-1: Beton - Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda.
- [13] ČSN EN 12390-2 Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 2: Výroba a ošetřování zkušebních těles pro zkoušky pevnosti, ÚNMZ, 2009
- [14] VYMAZAL, T.; ŽALUD, O.; MISÁK, P.; KUCHARCZYKOVÁ, B.; RUMEL, I. Vliv zkušebních forem a ošetřování těles na výsledky zkoušek fyzikálně-mechanických a trvanlivostních charakteristik ztvrdlého betonu. Beton TKS. 2011. 2011(4). p. 76 - 79. ISSN 1213-3116.Kontakt

## **Kontakt**

Ing. PETR MISÁK, tel: 00420 541 147 831, e-mail: [misak.p@fce.vutbr.cz](mailto:misak.p@fce.vutbr.cz),  
Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.  
doc. Ing. TOMÁŠ VYMAZAL, Ph.D., tel: 00420 541 147 818, e-mail:  
[vymazal.t@fce.vutbr.cz](mailto:vymazal.t@fce.vutbr.cz), Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně,  
Veveří 95, 602 00 Brno.

## **SITE DIARY- AN ESSENTIAL DOCUMENT OF A QUALITY CONSTRUCTION**

**Milan Nič**

Slovak University of Technology in Bratislava,  
Faculty of Civil Engineering

***Annotation:***

*Text min. Paper deals with a proposal extending data to be recorded in the Site diary to increase a system level of quality management and control. The construction processes are carried out in work sites non-protected from prevailing weather condition. The construction industry developed specific procedures successfully applied on long-term basis for preparation, quality management and control.*

**Keywords:** *site diary, areas non protected against weather*

## 1. Introduction

The oldest written regulation securing the quality of construction is babylonian Hammurabi's Code of Laws from 1800 BC. [1], which parts 229 to 233 are on the figure 1 marked by letters A – E [2] translated by L. W. King, [1]:

- 229. A If a builder build a house for some one, and does not construct it properly, and the house which he built fall in and kill its owner, then that builder shall be put to death.
- 230. B If it kill the son of the owner the son of that builder shall be put to death.
- 231. C If it kill a slave of the owner, then he shall pay slave for slave to the owner of the house.
- 232. D If it ruin goods, he shall make compensation for all that has been ruined, and inasmuch as he did not construct properly this house which he built and it fell, he shall re-erect the house from his own means.
- 233. E If a builder build a house for some one, even though he has not yet completed it; if then the walls seem toppling, the builder must make the walls solid from his own means.

The construction of building is made in work sites not protected against weather conditions, so the construction process is significantly different from the processes of mass-produced goods, which are generally made in climatically protected spaces, thus under predefined conditions. Despite these stochastic conditions, the building must be constructed in a way to ensure necessary protection of citizens' safety and health, or respond to individual customer demands.

Specific methods of preparation, management and quality control of construction have been gradually developed in the civil engineering within several millenniums. These systems are in successful long-term use even today.

One of such approved methods is site diary, which initially served as a basic document for final account, later it was used for reclamations of hidden defects and deficiencies.

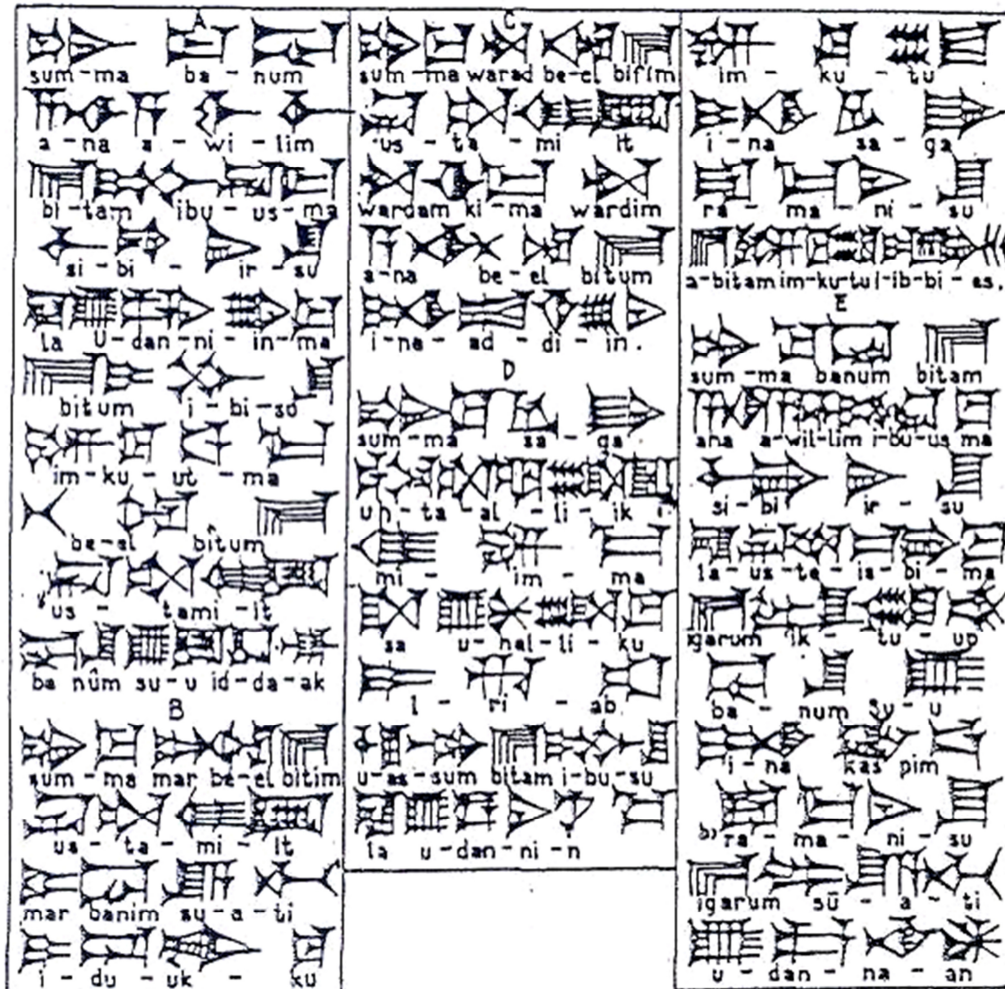


Figure 1.: parts 229 to 233 Hammurabi's Code of Laws from 1800 BC.  
taken from [2]

## 2. Site diary and building approval in Slovak republic

Construction activities in Slovak republic (hereafter SR) are regulated by Building Act [3], and its implementing regulation [4]. According to this regulations finished construction can be used only on the basis of building approval certificate issued by Building Authority. Regulations state further that site diary has to be kept on since the first day of preparatory work until the completion of construction works, considered as a building approval or removal of defects found during the approval process.

## **2.1. Data written to the site diary**

Minimum data set that the site diary must contain in SR [4]:

- a) all relevant circumstances related to building construction process, particularly data on deviations from initial project plans certified by Building Authority in processing application of building consent or from conditions given in building consent or from other decision or legalities,
- b) other facts influencing construction works and construction progress, particularly time schedule, temperature related to construction works especially to wet production process, weather conditions, e.g. during earth works and landscaping,
- c) date of site visit, supervised issues and measures of the person authorized to perform state construction supervision and the person performing state supervision (licensed building practitioner)
- d) notes of designer and designer of component projects of the building or author of architectural work, geodesist and cartographer,
- e) notes of builder or his authorized representative and owner of the building, if he is not a builder
- f) notes of licensed building supervisor, or qualified person, who conducts the construction, licensed building practitioner and supplier,
- g) information on defects and unfinished parts elimination according to conditions of building approval.

These daily records can be substituted by one record by maximum seven days period, if it is concerning just technically simple construction or construction work on a small scale.

## **2.2. Building approval**

Completed construction can be used only after obtaining a building approval certificate.

In the building approval process the Building consent Authority examines whether the building was made according to original building consent, whether the building or its use will not endanger the public interest, in particular the health and life protection and the environment.

Specific documents has to be submitted for the approval proceedings. The most important documents for quality control of construction works are:

- a) project documentation approved by Building Authority during construction consent proceedings,
- b) drawings with marked changes that occurred during the construction works;
- c) documents of conformity of built construction products with regulations,
- d) documents of results of required tests and measurements and of abilities of operating facilities for continuous and safe operation
- e) site diary.

### **3. Site diary in quality management systems**

In Slovak Republic various construction companies have implemented long term (20 years) and certified Quality Management System.

According to the author's experience in the most construction companies the quality systems documentation generally describes currently valid quality documentation applied in the company as a whole. However, the particularities and conditions of individual structures, that are built are not taken into a consideration. Site manager and foreman are then forced to "unsystematic" improvisation directly on the site, in order to meet contractual deadlines. That "unsystematic" improvisation guarantees the filing deadlines, but indirectly supports the realization of buildings with incorporated errors and defects, which can appear later, often after building's warranty period.

Described lack of Quality management system can be easily removed by systematic inclusion of currently constructed building's site diaries to the Quality management system documentation of construction company.

I suggest to enlarge the mandatory Building act data which are prescribed for the site diary included to Quality management system of construction company by new information according to the proposal described below.

#### **3.1 Data extension of site diary included to Quality management system**

Compared to the mandatory data referred in paragraph 2.1 of this paper I propose their "voluntary" extension by data in paragraphs 3.1.1 to 3.1.3:

### **3.1.1 Completion of basic identifying information of the site diary**

- a) the list of basic documents and building papers (building consent, work contract, administrative decisions, approvals of persons affected construction and similar), including their supplements,
- b) details of the project documentation and additional technical documentation, including the supplements and changes,
- c) list of technical standards or other technical regulations mandatory for the building construction,
- d) an overview of planned tests according to control and test plan of building,
- e) list of construction products subject to an entry control at the construction site,
- f) list of test facilities and equipment used on building construction site, including facilities for control samples off take according to control and test plan of building,
- g) list of construction elements, where the protocol interoperable control is necessary before proceeding to the next process (the bed joints, reinforcement in concrete, waterproofing, plumbing lines before their covering, underground lines and similar),
- h) list of persons working on the site with special qualifications, type of qualification, certificate number and its validity,
- i) list of sub-suppliers, description of the subject of their business, completion date of delivery,
- h) list of authorized or accredited subcontractors of tests and test processes,
- i) contractual date of a building completion,

### **3.1.2 Completion of mandatory regular daily records**

- a) names of persons working on the site,
- b) weather conditions,
- c) description and quantity of the performed work,
- d) supplies of materials, products and machinery for construction,
- e) location and storage method of supplied building materials and machinery,
- f) deployment dates mechanization equipment,



### **3.1.3 Completion of irregular daily records**

- a) handover and takeover of the site,
- b) commencement of works, dates and reasons in case of suspension and resumption, including technology breaks,
- c) succession of subcontractors, methods and dates and closure of their works,
- d) trainings and requalification of building staff, workers and subcontractors,
- e) installation and removal of temporary building structures (scaffolding, casing, casing, etc.), handover and takeover
- f) details of measures relating to safety and health protection at work, fire protection and environmental protection,
- g) special precautions for demolition work, work at heights, work during operation, in protection zones and similar,
- h) manipulation with soil, construction rubbles and waste,
- i) implementation and results of tests, measurements and controls of all kinds,
- j) justification and approval of material changes, technical solutions and building deviations from the approved project documentation,
- k) information relevant to the factual, temporal and financial performance of contracts (extra work, unforeseen impacts, the occurrence of obstacles on the construction site, the results of additional technical surveys, particular climate impacts, archaeological research, work in the operation, etc.),
- l) partial acceptance of completed work.

### **3.2 Archiving of the site diary included in the Quality management system**

For the building contractor the construction process begins with signing the realization and site acceptance agreement and ends by building approval. The warranty period in Slovak republic is 3 years.

Life of buildings is planned from 40 to 100 years, these buildings serve to several human generations, so their using period is during few decades, which greatly exceeds the statutory 3 year guarantee of the building.

Social development put on building during their lifetime new requirements that need to be solved by the new owners by renovating existing buildings.

At the current pace of development of new building materials, new generations of builders are growing up, who generally have only information about the currently used building materials and technological processes.

The information about revisions and construction work performed during the use of the building are important basis for preparation and realization of renovation. Other important basis for the preparation and realization of renovation works are: drawings of real construction building (with marked changes made during construction) and site diary. Drawings of the actual construction building and the site diary is generally transmitted to the contractor for final approval.

When preparing the building renovation the data on completed construction are generally not available despite being handed to the owner of the building during final inspection.

I therefore propose "voluntary" archiving of actual construction drawings and building's site diary by contractors at least for a period of 40 years.

This new approach of contractor towards Quality system documentation could accomplish the implied expectation of client in the future.

It can be expected that the owner will prefer to choose a contractor for the future renovation of its building, which will have the most of information about renovated object. Not only from the period of operation and administration but also from its construction process.

#### **4. CONCLUSION**

The proposal of data extension registered in the site diary of building construction referred in paragraphs 3.1.1 to 3.1.3 with a detailed description of the addressee activities carried out in relation to the inspection and test plan works would systematically increase the level of Quality management system of building.

A detailed, targeted and continuous documentation of the personal involvement of workers in specific processes during the construction will document worker's personal responsibility for the quality level of these processes.

The proposed "voluntary" archiving of site diary and drawings of definite building construction by construction company will also contribute to augmentation of worker's discipline. The archiving of site diary and of definite construction plans will in the future bring to the company benefits on the market of building renovations, because the owner will

the most probably prefer to choose a company, which will have the most information about renovated object, not only from the period of operation and administration but also from its construction process.

## References

- [1] <http://eawc.evansville.edu/anthology/hammurabi.htm>
- [2] Cigánek, M.: Poruchy na betonových a zděných stavbách. Prevence, sanace a rekonstrukce. VUT Brno, 1972. (Faults in concrete and masonry structures. Prevention, rehabilitation and reconstruction)
- [3] Zákon č. 50/1976 Zb. o územnom plánovaní a stavebnom poriadku (stavebný zákon), v znení neskorších predpisov. (Law. 50/1976. Planning and building regulations (Building Act) as later amended)
- [4] Vyhláška Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky č. 453/2000 Z. z., ktorou sa vykonávajú niektoré ustanovenia stavebného zákona. (Regulation of the Ministry of Environment of the Slovak Republic. Law 453/2000 implementing certain provisions of the Building Act)

## Contact

doc. Ing. MILAN NIČ, PhD., tel: 00421 2/59 274 700, e-mail: milan.nic@stuba.sk, Institute for Forensic Engineering, Faculty of Civil Engineering, Radlinského 11, 813 68 Bratislava.

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

**CPR A ZMĚNY V POSTUPECH POSUZOVÁNÍ  
STAVEBNÍCH VÝROBKŮ OPATŘOVANÝCH  
ZNAČKOU „CE“ PO 1. 7. 2013**

**CPR AND CHANGES IN ASSESSMENT  
PROCEDURES OF „CE“ MARKING  
OF CONSTRUCTION PRODUCTS  
SINCE JULY 1, 2013**

**Miroslav Procházka**

Technický a zkušební ústav stavební Praha s.p.  
pobočka Brno

***Anotace:***

*Příspěvek popisuje změny, které nastaly při uvádění na trh u výrobků, povinně označovaných značkou CE, po 1. 7. 2013*

***Annotation:***

*Article shows changes in placing on the market of construction products mandatorily "CE" marked since 1.7.2013*

***Klíčová slova:*** CPR, uvedení výrobku na trh, prohlášení o vlastnostech

***Keywords:*** CPR, placing on the market, declaration of performance

## 1. Úvod

U důležitějších stavebních výrobků jsme si již zvykli, že jejich výrobci mají povinnost nechat prověřit jejich vlastnosti před uvedením na trh. Rovněž jsme si zvykli, že tu paralelně existují dva způsoby prověřování, jeden národní a jeden evropský.

Od 1.7.2013 došlo v evropském způsobu ověřování stavebních výrobků k zásadní změně. Od tohoto data totiž platí **NAŘÍZENÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) č. 305/2011 ze dne 9. března 2011, kterým se stanoví harmonizované podmínky pro uvádění stavebních výrobků na trh a kterým se zrušuje směrnice Rady 89/106/EHS.**

V některých směrech toto nařízení znamená pro výrobce i uživatele stavebních výrobků zásadní změny, v některých směrech se naopak nic nemění.

## 2. Dopady plynoucí z CPR

Změnou, se kterou jsme se v běžném životě setkali dosud jen okrajově, je právní forma tohoto předpisu. Jde o Nařízení Evropského parlamentu a Rady, které **je přímo účinné** na území všech členských států EU. Tím došlo ke sjednocení právních předpisů platných pro uvádění stavebních výrobků na trh v celé Evropské unii. Je nutné upozornit, že „Nařízení“ se nepřevádí do národních právních předpisů!

CPR se týká pouze výrobků, které opustily nebo opustí brány výrobního závodu počínaje dnem 1.7.2013. U výrobků, které byly výrobcem expedovány před tímto datem, se nic nemění. Na trhu tak po nějakou dobu budou se značkou „CE“ jak výrobky ověřené podle CPD (tedy s prohlášením o shodě), tak výrobky ověřené již podle CPR (a tedy s prohlášením o vlastnostech).

### 2.1. Změny plynoucí z CPR

Snad nejdůležitější změnou pro výrobce, plynoucí z CPR, je povinnost vydat při uvedení výrobků na trh tzv. „Prohlášení o vlastnostech“, ve

kterém musí jmenovitě uvést deklarované vlastnosti výrobku. Výhodou je, že závazný vzor tohoto prohlášení je přímo přílohou CPR (příloha III).

Určitou komplikací je povinnost výrobce předávat toto prohlášení vždy při prodeji výrobku buď papírově nebo jej zpřístupnit v elektronické podobě.

Elektronická podoba prohlášení se zdá pro výrobce výrazně jednodušší, ale v takovém případě musejí být po stanovenou dobu (tj. nejméně 10 let) po aktualizaci textu prohlášení přístupné i jeho starší verze!

Významnou změnou je rovněž povinnost výrobců opatřit prohlášení o vlastnostech tzv. „jedinečným identifikačním kódem výrobku“ a „referenčním číslem prohlášení“. Oba údaje mají zajistit úplnou dohledatelnost prohlášení o vlastnostech ke konkrétnímu výrobku, protože oba se stávají rovněž povinnou součástí CE štítku umístěného na výrobku.

Zatím si to příliš neuvědomujeme, ale tato povinnost výrobců povede například k významnému usnadnění dílčích kontrol udělených (evropských) dotací a pokud výrobce nebude ustanovení CPR respektovat, může tím příjemcům dotací významně znepříjemnit jejich postavení při kontrolách použití dotace. Užití řádně ověřených výrobků je automatickým předpokladem správného čerpání dotace.

Změnou, kterou zatím nedokážeme posoudit, je zavedení 7. základního požadavku „**Udržitelné využívání přírodních zdrojů**“. Teprve až dojde k jeho konkretizaci v jednotlivých harmonizovaných evropských normách, bude možné jeho dopady na stavebnictví zodpovědně posoudit.

Drobnou změnou je pak rozšíření 4. základního požadavku o „**přístupnost při užívání staveb**“. Tato změna je významná zejména pro osoby se sníženou schopností pohybu a orientace.

Další změnou jsou úlevy v povinnostech při ověřování vlastností stavebních výrobků pro tzv. „mikropodniky“, tedy podniky do počtu pracovníků max. 9 osob a současně o obratu do 2 mil. €. Mikropodniky mohou použít u modulů posouzení shody 3 a 4 i jiné způsoby a metody než jsou uvedené v harmonizovaných normách. Nikde však není uvedeno, jaké způsoby to jsou a hrozí rovněž riziko zneužití tohoto ustanovení.

Poslední v řadě jsou změny v postupech ověření u výrobků, u nichž výrobci **dobrovolně** požadují jejich opatření CE značkou, tedy u výrobků uváděných na trh na základě ETA.

CPR významným způsobem mění postupy vydání „Evropského technického posouzení (ETA)“ (dříve „schválení“). Základem pro jeho vydání bude tzv. „Evropský dokument pro posuzování (EAD)“, který bude ve smyslu CPR harmonizovanou technickou specifikací pro takový výrobek. K vydávání EAD i nových ETA zatím bohužel chybějí prováděcí předpisy a tak se tato oblast posuzování části stavebních výrobků ke škodě jejich výrobců dočasně zdrhla.

A konečně dochází i ke změnám v používané české terminologii, protože do oficiálního překladu CPR se bohužel nepodařilo prosadit již zavedené české výrazy. U stavebních výrobků se tak budeme nadále setkávat s „osvědčením“ namísto „certifikátu“, „oznámeným subjektem“ namísto „notifikované osoby“ a dalšími méně viditelnými změnami v názvosloví. Je to nepříjemné, protože u jiných evropských směrnic se zmíněné původní české termíny budou nadále používat.

CPR výrazně zpřísnilo podmínky pro činnost subjektů oprávněných k posuzování shody („notified body“), které nově musejí podrobně prokazovat svoji odbornou způsobilost, tato oblast CPR se však běžných výrobců nijak nedotýká. Podrobné informace k jednotlivým oprávněným subjektům i k harmonizovaným evropským normám lze najít v databázi NANDO (viz [3]).

## 2.2. Co se nemění

Přechodem na CPR se zejména nemění povinnost výrobců u výrobků, pro něž byly vydány harmonizované evropské normy, opatřit tyto výrobky v okamžiku jejich uvedení na trh značkou CE s příslušným doprovodným značením. Účinností CPR se jen sjednocují podmínky pro výrobce z různých členských zemí EU.

Důležitou a příjemnou skutečností pro výrobce je to, že přechodem na CPR nedochází ani ke změnám harmonizovaných evropských norem ani ke změnám ve způsobech posouzení stavebních výrobků a zejména to, že všechny dosud vydané certifikáty, protokoly o počáteční zkoušce typu a případně „stará“ Evropská technická schválení zůstávají nadále



v platnosti za podmínek v nich stanovených, tedy zejména pokud dokumenty mají vyznačenou dobu platnosti. Tu jen nebude možné prodloužit.

### **3. Závěr**

CPR sjednocuje postupy při uvádění stavebních výrobků na trh v celé Evropské unii, mění některé dosud užívané postupy (zejména přináší vydávání obsahem podstatně rozsáhlejšího „prohlášení o vlastnostech“) a přináší výrobcům určité povinnosti, které dosud neměli (dostupnost starších verzí elektronického prohlášení o vlastnostech). Opomenutí těchto povinností pak může zkomplikovat život nejen výrobcům při kontrolách orgánů zodpovědných za kontrolu nad trhem, ale i uživatelům stavebních výrobků ve stavbách alespoň částečně hrazených z dotačních titulů.

Řádné uvedení stavebního výrobku na trh je zakončením celé fáze jeho vývoje a je zájmem každého výrobce, aby nezbytné nezávislé ověření bylo dokončeno co nejdříve. Zejména pak u inovovaných výrobků může být možnost dobrovolně opatřit výrobek značkou CE významnou konkurenční a obchodní výhodou. CPR je pak právním předpisem, který u stavebních výrobků takovou možnost dává.

### **Literatura**

[1] NAŘÍZENÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) č. 305/2011 (CPR) ze dne 9. března 2011, kterým se stanoví harmonizované podmínky pro uvádění stavebních výrobků na trh a kterým se zrušuje směrnice Rady 89/106/EHS

[2] [www.tzus.cz/cpr](http://www.tzus.cz/cpr)

[3] <http://ec.europa.eu/enterprise/newapproach/nando/>

### **Kontakt**

Ing. MIROSLAV PROCHÁZKA, tel: 00420 543 420 852, e-mail: [prochazka@tzus.cz](mailto:prochazka@tzus.cz), Technický a zkušební ústav stavební Praha s.p., pobočka Brno, Hněvkovského 77, 617 00 Brno

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

## ZOBECŇOVÁNÍ NOREM ČSN A GEOMETRICKÁ PŘESNOST – K ČEMU MŮŽE V PRAXI DOJÍT?

## GENERALIZATION OF TECHNICAL STANDARDS AND GEOMETRICAL TOLERANCES – WHAT CAN HAPPEN IN REALISATION PROCESS?

**Linda Veselá**

Metrostav a.s. a Katedra technologie staveb, FSv ČVUT

***Anotace:***

*V poslední době se ve stavebnictví setkáváme s trendem zobecňování norem ČSN. Tvůrci norem tento postup obhajují tím, že jejich cílem je normy zjednodušit a otevřít projektantům, dodavatelům stavebních prací, investorům, výrobcům materiálů apod. tak, aby je neomezovaly příliš striktně v jejich činnosti. Jak je to ovšem s podmínkami provádění stavebních prací, lze je také takto jednoduše zobecnit?*

***Annotation:***

*We can see a trend of generalization of technical standards in civil engineering. The authors of technical standards advocate this process that their aim is to simplify and open the standards to designers, contractors, investors, manufacturers of materials, etc., so that their activities will not be strictly confined by the standards. However, how it is with the construction works, can be conditions of the works also easily generalize?*

***Klíčová slova:*** Geometrická přesnost, tvorba technických norem, schodiště

***Keywords:*** Geometrical tolerances, production of technical standards, staircase

## 1. Úvod

Při zavádění harmonizovaných evropských norem do systému ČSN dochází k aktualizaci českých norem. Tato aktualizace se projevuje buď nahrazováním původních českých norem normami evropskými, nebo zaváděním evropských harmonizovaných norem vedle stále platných ČSN. Často se při tomto procesu setkáváme se situací, že nově zavedená nebo aktualizovaná norma má obecnější nebo jednodušší formu než původní ČSN nebo při schvalování norem normalizačními komisemi není zajištěna potřebná koordinace s ostatními platnými normami tak, aby byla zachována návaznost norem, které spolu souvisejí nebo se týkají ostatních navazujících konstrukcí. Tvůrci norem tento trend opodstatňují několika důvody:

- Snahou je posunout užití dnešních norem z hlediska praxe hlavně směrem k projektantovi – on musí jednotlivé stavební případy posoudit, rozklíčovat jednotlivé požadavky konstrukcí, výrobků a technologií, provést jejich koordinaci a následně stanovit projektové řešení.
- Normy ČSN jsou pouze doporučující a samy o sobě nejsou právně závazné. Právně závaznými se stávají v případě, že se na ně odkazují jiné právní předpisy (např.. Vyhláška 268/2009 Sb. O technických požadavcích na stavby, předpisy BOZ, PO atd.) nebo pokud se dobrovolně zavážeme ve smlouvě o dílo s investorem, že dílo bude provedeno dle platných norem ČSN. Proto by se měly normy ČSN koncipovat tak, aby nesvazovaly a příliš striktně neomezovaly podnikatelské subjekty v jejich činnosti. Normy ČSN by měly vymezovat krajní mantinely a doporučení a je na podnikatelském subjektu, jak si tyto vlastnosti definuje v projektu či ve smlouvě.

Z pohledu zhotovitele stavebních prací má však výše uvedený postoj tvůrců norem několik úskalí.

Snaha o zapojení projektanta do stanovení požadavků na provádění stavebních konstrukcí je chvályhodná. Bohužel dosavadní praxe ukazuje, že se projektanti zabývají výhradně normami pro projektování a normy pro provádění stavebních konstrukcí příliš neřeší. Tuto problematiku v projektové dokumentaci v 95% odbudou odkazem na normy ČSN. V těch zbývajících 5% jsou většinou stanoveny konkrétní požadavky na nosné konstrukce nebo konstrukce, do kterých má být zabudována určitá technologie či požadavky na vzhled povrchů. Nutno podotknout, že v 50% procentech jsou tyto konkrétní požadavky stanoveny tak přísně,

že jsou se současnými standardními technologiemi v podstatě neproveditelné.

Vzhledem k tomu, že (alespoň u větších staveb) je vždy investorem ve smlouvě o dílo požadováno provedení díla dle platných norem ČSN a toto ustanovení v podstatě nelze odmítnout (pokud má dodavatel o zakázku zájem), jsou pro dodavatele stavebních prací tyto normy závazné vždy. Což znamená, že jsou pro nás závazné požadavky uvedené v normách a pokud náhodou dojde k tomu, že požadavky nejsou stanoveny nebo se v jednotlivých normách pro konstrukce (které na sebe mají navazovat) liší, vzniká problém, zvláště pokud každou konstrukci provádí jiný dodavatel. Protože každý dodavatel se snaží postupovat nebo si stanovit podmínky, které jsou pro něho nejvýhodnější a pokud v obou normách nejsou jasně definované požadavky, které spolu korespondují, ti dva dodavatelé se nikdy nesejdou.

Tečku takto vzniklému chaosu často dodává i investor a jeho technický dozor, který si z normových požadavků vždy vybírá ty nejpřísnější. Nebo často až v průběhu realizace požaduje splnění přísnějších požadavků, než jaké doporučují normy ČSN, i když tyto požadavky předem neavizoval v zadávacích podmínkách či v návrhu smlouvy o dílo.

Velmi výrazně se tato problematika projevuje v oblasti geometrické přesnosti. Pojdme si proto ukázat konkrétní příklad na normových požadavcích pro schodiště (respektive schodišťových stupních).

## **2. Problematika schodišť z pohledu geometrické přesnosti**

Geometrickou přesnost schodišť projektanti v projektové dokumentaci neřeší, spokojí se s odkazem na platné normy ČSN. Otázka rovinnosti a rozměrů schodišť (respektive schodišťových stupňů) přichází na řadu zpravidla při přejímkách a předání stavebního díla investorovi a právě v této fázi nastává dost často problém, protože geometrickou přesnost schodišť lze posuzovat podle několika norem, které se od sebe vzájemně liší.

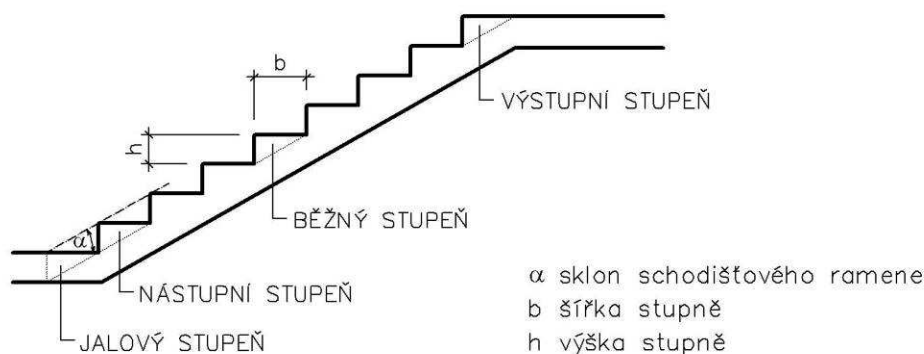
### **2.1. Požadavky na schodiště dle ČSN 73 4130**

Na výstupní čáře schodišťového ramene musí mít stupeň navržený rozměr (šířku stupně  $b$  a výšku stupně  $h$ ); u stupňů se zakřivenou výstupní čarou schodišťového ramene je šířka stupně  $b$  měřena jako

tětiva oblouku v místě průsečíku výstupní čáry s hranami vzájemně navazujících stupňů.

Všechny stupně v jednom schodišťovém rameni musí mít shodnou výšku  $h$ . Výška stupně  $h$  se měří jako svislá vzdálenost horního povrchu stupnic dvou po sobě následujících stupňů (viz Obrázek 1.).

Všechny stupně v jednom schodišťovém rameni musí mít na výstupní čáře shodnou šířku  $b$ . Šířka stupně  $b$  se měří na výstupní čáře jako vodorovná vzdálenost předních hran dvou po sobě následujících stupňů (viz Obrázek 1.).



Obrázek 1.: Třídění stupňů podle umístění ve schodišťovém rameni

Jinými slovy všechny schodišťové stupně v jednom rameni musí být stejně vysoké a stejně široké.

Norma pro schodiště byla původně určena především jako podklad pro navrhování schodišť a šikmých ramp. V roce 2010 byla vydána aktualizace této normy a ta určuje požadavky pro rozměry a tvar schodišť a šikmých ramp, které jsou trvalou součástí interiéru a exteriéru stavebních objektů a jsou určeny jako komunikace pro pěší. V aktualizaci z roku 2010 vypadlo pro realizaci podstatné slovíčko „navrhování“, tudíž podle platné normy pro schodiště může být investorem a projektantem požadováno provedení schodišť s nulovou tolerancí výšky a šířky jednotlivých stupňů v jednom schodišťovém rameni.

Otázkou je, zda je to proveditelné, protože problematiku schodišť neřeší pouze norma pro schodiště ČSN 73 4130. V případě geometrické přesnosti schodišťových stupňů tak nemůžeme brát v potaz požadavky pouze této normy, ale je potřeba přihlídnout také k požadavkům prováděcích norem pro jednotlivé nosné konstrukce schodišť a také k požadavkům na geometrickou přesnost výrobků, kterými jsou schodišťové stupně obkládány.

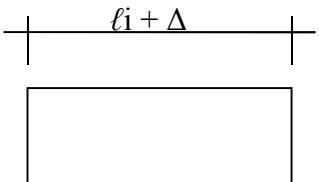
## 2.2. Nosná konstrukce schodišť

V tomto případě se zaměříme především na betonové monolitické a prefabrikované schodiště, které jsou nejvíce používané.

### Geometrická přesnost monolitického betonového schodiště dle ČSN EN 13670

Norma pro provádění betonových konstrukcí neřeší přímo problematiku geometrické přesnosti schodišťových stupňů, ale na jednotlivé stupně monolitického betonového schodiště lze asi nejlépe aplikovat požadavky na rozměr průřezu dle Obrázku 4.a – Mezní odchylky pro průřezy.

Tabulka 1.: Geometrické odchylky pro rozměr průřezu monolitických betonových konstrukcí dle ČSN EN 13670.

Mezní odchylka	ČSN EN 13670 monolitické bet. kce
Rozměry průřezu $l_i$ 	$\pm 10\text{mm}$ pro $l < 150\text{mm}$ <sup>a)</sup>
	$\pm 15\text{mm}$ pro $l = 400\text{mm}$ <sup>a)</sup>
	$\pm 30\text{mm}$ pro $l \geq 2500\text{mm}$ <sup>a)</sup>
<sup>a)</sup> Mezilehlé hodnoty se stanoví lineární interpolací.	

### Geometrická přesnost prefabrikovaného betonového schodiště dle ČSN EN 14843

Povolené výrobní odchylky průřezu prefabrikovaných schodišť jsou stanoveny následovně:

Tabulka 2.: Geometrické odchylky pro rozměr průřezu prefabrikovaných betonových konstrukcí dle ČSN EN 14843.

Mezní odchylka	ČSN EN 14843 prefabrikované schodiště
Rozměry průřezu $L$	$+10\text{ mm}/ -5\text{mm}$ pro $L \leq 150\text{mm}$ <sup>a,b)</sup>
	$\pm 15\text{mm}$ pro $L \geq 400\text{mm}$ <sup>a,b)</sup>
<sup>a)</sup> Mezilehlé hodnoty se stanoví lineární interpolací.	
<sup>b)</sup> Rozdíl dvou po sobě následujících výšek stupňů nesmí překročit 6mm.	

### 2.3. Povrchová úprava schodišť

Mezi nejběžnější obklady schodišť patří keramická dlažba, Teraco a dřevěné obklady. Provedení obkladů nelze provést na desetiny milimetru přesně, proto jsou stanoveny přípustné odchylky. Výsledné geometrické tolerance dokončených obkladů a dlažeb mohou být ovlivněny také výrobními geometrickými tolerancemi samotných obkladových prvků.

#### Geometrická přesnost rozměrů keramických dlaždic dle ČSN EN 14411

Tabulka 3.: Geometrické odchylky pro tažené keramické obkladové prvky dle ČSN EN 14411

Mezní odchylky		Tloušťka prvku <sup>1)</sup>	Rovinnost
Obkladové prvky s nízkou nasákavostí Skupina AI <sub>b</sub> , 0,5% < E ≤ 3%, Skupina AI <sub>a</sub> , E ≤ 0,5% Obkladové prvky se střední nasákavostí Skupina AII <sub>a-1</sub> , 3% < E ≤ 6%	Obkladové prvky „přesné“	±10 %	±0,5 % <sup>2)</sup>
			±0,5 % <sup>3)</sup>
			±0,8 % <sup>4)</sup>
	Obkladové prvky „ostatní“	±10 %	±1,5 % <sup>2)</sup>
			±1,5 % <sup>3)</sup>
			±1,5 % <sup>4)</sup>
Obkladové prvky se střední nasákavostí Skupina AII <sub>a-2</sub> , 3% < E ≤ 6% Skupina AII <sub>b-1</sub> , AII <sub>b-2</sub> 6% < E ≤ 10%; Obkladové prvky s vysokou nasákavostí Skupina AIII, E > 10%	Obkladové prvky „přesné“	±10 %	±1,0 % <sup>2)</sup>
			±1,0 % <sup>3)</sup>
			±1,5 % <sup>4)</sup>
	Obkladové prvky „ostatní“	±10 %	±1,5 % <sup>2)</sup>
			±1,5 % <sup>3)</sup>
			±1,5 % <sup>4)</sup>
<sup>1)</sup> odchylka v % průměrné tloušťky obkladového prvku od deklarovaného rozměru. <sup>2)</sup> Největší odchylka v % ve středu lící plochy vztažená k úhlopříčce vypočtené z deklarovaných rozměrů. <sup>3)</sup> Největší odchylka v % ve středu hrany vztažená k odpovídajícímu deklarovanému rozměru. <sup>4)</sup> Největší odchylka v % v rozích vztažená k úhlopříčce vypočtené z deklarovaných rozměrů.			



Tabulka 4.: Geometrické odchylky pro keramické obkladové prvky za sucha lisované dle ČSN EN 14411

Mezní odchylky		Tloušťka prvku <sup>1)</sup>	Rovinnost <sup>2)</sup>
Plocha výrobku $S$ [cm <sup>2</sup> ]			
Obkladové prvky s nízkou a střední nasákavostí Skupina BI <sub>a</sub> , $E \leq 0,5\%$ , Skupina BI <sub>b</sub> , $0,5\% < E \leq 3\%$ Skupina BII <sub>a</sub> , $3\% < E \leq 6\%$ , Skupina BII <sub>b</sub> , $6\% < E \leq 10\%$	$S \leq 90$	±10 %	±1,0 %
	$90 < S \leq 190$	±10 %	±0,5 %
	$190 < S \leq 410$	±5 %	±0,5 %
	$S > 410$	±5 %	±0,5 %
Obkladové prvky s vysokou nasákavostí Skupina BIII, $E > 10\%$	Obkladové prvky bez distančních výstupků	±10 %	+0,5%/-0,3% <sup>2a,b)</sup> ±0,5% <sup>2c)</sup>
	Obkladové prvky s distančními výstupky	±10 %	+0,8mm/-0,2mm <sup>2a,b)</sup> 0,5mm pro velikost $\leq 250\text{cm}^2$ 0,75mm pro velikost $> 250\text{cm}^2$ <sup>2c)</sup>
<sup>1)</sup> Odchylka v % průměrné tloušťky obkladového prvku od deklarovaného rozměru. <sup>2)</sup> Největší odchylka v %: a) Odchylka ve středu lící plochy vztažená k úhlopříčce vypočtené z deklarovaných rozměrů; b) Odchylka ve středu hrany vztažená k odpovídajícímu deklarovanému rozměru; c) Odchylka v rozích vztažená k úhlopříčce vypočtené z deklarovaných rozměrů.			

### Geometrická přesnost rozměrů Teracových dlaždic dle ČSN EN 13748-1

Odchylky skutečných rozměrů od uvedených výrobních rozměrů musí odpovídat požadavkům v Tabulce 5..

*Tabulka 5.: Odchytky skutečných rozměrů teracových dlaždic podle ČSN EN 13748-1*

<b>Rozměr</b>	<b>Mezní odchytky</b>
Délka hrany	±0,3%
Tloušťka dlaždice	±2mm (při tloušťce <40mm)
	±3mm (při tloušťce ≥40mm)

Rozdíl mezi dvěma rozměry tloušťky jednotlivé dlaždice musí být  $\leq 3$  mm. Pro tloušťku kalibrovaných dlaždic, které jsou jako takové vykazovány, platí tolerance  $\pm 1$  mm.

### **Geometrická přesnost provedení dlažeb a obkladů dle ČSN 73 3451**

Současně s normou ČSN 73 3451 platí i původní norma ČSN 73 3450. Původní předmět normy ČSN 73 3450 byl změnou Z1 z 12/2005 upraven a v současnosti platí pouze pro obklady a dlažby skleněné, pro keramické obklady a dlažby platí ustanovení normy ČSN 73 3451. Tato norma platí pro keramické obkladové prvky použitelné pro dlažby a obklady stěn uvnitř a vně budov kladené do cementových maltovin nebo lepené pomocí lepidel.

V rámci geometrické přesnosti dokončených obkladů a dlažeb se měří jejich rovinnost, která může dosahovat mezních odchylek  $\pm 3$ mm na dvoumetrové lati. Přičemž k této odchylce se musí připočíst ještě příslušná výrobní odchylka obkladového prvku.

### **3. Závěr**

Z požadavků normy ČSN 73 4130 – Schodiště a šikmé rampy – Základní požadavky sice vyplývá, že výšky a šířky schodišťových stupňů v jednom rameni by měly dosahovat nulových odchylek, nicméně musíme přihlídnout také k požadavkům konstrukcí a materiálů, ze kterých se schodiště skládá.

Je potřeba si uvědomit, že monolitické a prefabrikované betonové konstrukce nelze provádět s absolutní přesností na 0mm, stejně tak jako keramické a teracové dlaždice mají své výrobní odchylky.

Zde dochází k rozporu mezi normami, který měl být řešen v rámci projektové dokumentace, například vyrovnávací vrstvou pod obklad.

Vyrovňovací vrstva měla být navržena v takové tloušťce, aby umožnila vyrovnání nerovností železobetonové konstrukce.

Otázkou je, zda požadavek normy pro schodiště ČSN 73 4130 je vůbec splnitelný. Monolitická ani prefabrikovaná schodiště nelze s běžně používanými technologie vyrobit, tak aby měly schodišťové stupně nulové odchylky, navíc proč by to výrobci dělali, když jejich výrobní normy jim odchylky umožňují. Stejně tak nelze provést obložení schodišťových stupňů s nulovou odchylkou, protože samotné obkladové prvky mají výrobní odchylky a samotné obložení schodišťových stupňů může také dosahovat určitých odchylek.

Cílem tohoto příkladu je ukázat, že snahy tvůrců norem o jejich zjednodušování a zobecňování jsou sice chvályhodné, ale dle mého názoru nejsou použitelné obecně pro celé stavebnictví. V případě navrhování stavebních konstrukcí lze zjednodušení norem odůvodnit, protože každá konstrukce je jiná, navrhuje se do jiných podmínek a nelze tudíž aplikovat jedno společné měřítko na všechny konstrukce bez rozdílu.

Jiná situace dle mého názoru nastává v případě provádění konstrukcí, kde přílišné zjednodušování či zobecňování norem může vést k tomu, že generální dodavatel prací nebude mít prostředky k tomu, aby donutil svého subdodavatele k plnění přísnějších požadavků navazující normy, když ta jeho je mírnější nebo je požadavek navazující normy nesplnitelný.

## Literatura

- [1] ČSN 73 4130 – Schodiště a šikmé rampy – Základní požadavky, ČNI 04/2010.
- [2] ČSN 73 4130 – Schodiště a šikmé rampy – Základní požadavky, ČNI 04/2010.
- [3] ČSN EN 13670 – Provádění betonových konstrukcí, UNMZ 6/2010.
- [4] ČSN EN 14843 – Betonové prefabrikáty – Schodiště, ČNI 1/2008.
- [5] ČSN EN 14411 Keramické obkladové prvky – Definice, klasifikace, charakteristiky a označování, ČNI 8/2007.
- [6] ČSN EN 13748-1 Teracové dlaždice – Část 1: Teracové dlaždice pro vnitřní použití, ČNI 2005.
- [7] ČSN 73 3451 Obecná pravidla pro navrhování a provádění keramických obkladů, ČNI 12/2005.
- [8] ČSN 73 3450 Obklady keramické a skleněné, 5/1979.

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

## **Kontakt**

Ing. LINDA VESELÁ, tel: 00420 266 709 262, e-mail: linda.vesela@metrostav.cz, linda.vesela@fsv.cvut.cz, Útvar technologií a materiálů, Metrostav a.s., Koželužská 2246, 180 00 Praha 8 a Katedra technologie staveb, Fakulta stavební ČVUT v Praze, Thákurova 7/2077, 166 29 Praha 6.

## PRVÉ EXPERIMENTÁLNE VÝSLEDKY Z MERANÍ NA SKÚŠOBNOM POLI POMOCOU GEOSONDY HUMBOLDT H-4140

## FIRST EXPERIMENTAL RESULTS OF MEASURING ON THE TESTING FIELD WITH THE GEOGAUGE HUMBOLDT H-4140

**Dominika Ďureková, Katarína Zgútová**

Žilinská Univerzita v Žiline, Stavebná fakulta,  
Katedra technológie a manažmentu

***Anotace:***

*Článok je zameraný na možnosti použitia geosondy Humboldt pri kontrole kvality zemných konštrukcií. V hlavnej časti sú prehľadne uvedené výsledky experimentálnych meraní a tieto sú ďalej porovnávané s inými metódami využívanými pri kontrole miery zhutnenia.*

***Annotation:***

*The contribution is focus on the possibility of using geogauge Humboldt for quality control of earth structures. In the main part there are clearly referred the results of experimental measurements and these are compared with other methods to control the degree of compaction.*

***Klíčová slova:*** únosnosť podložia, geosonda Humboldt H4140, modul pružnosti, modul tuhosti, skúšobné pole

***Keywords:*** resistance of soil, geogauge Humboldt H4140, modulus of elasticity, stiffness modulus

## 1. Úvod

Nedeštruktivne metódy hodnotenia kvality (únosnosti) zemných konštrukcií sú bežne využívané v inžinierskej praxi. Prístroje, ktoré pracujú na princípe týchto metód sa veľmi jednoducho používajú a meranie je rýchle. Výskum, ktorý riešime v súvislosti s mojou dizertačnou pracou je zameraný na získanie korelácií deformačných charakteristík zemných konštrukcií získaných pomocou rôznych metód. Jednou zo skúmaných metód je dynamická metóda s využitím princípu metódy mechanickej impedancie.

## 2. Geosonda Humboldt H-4140

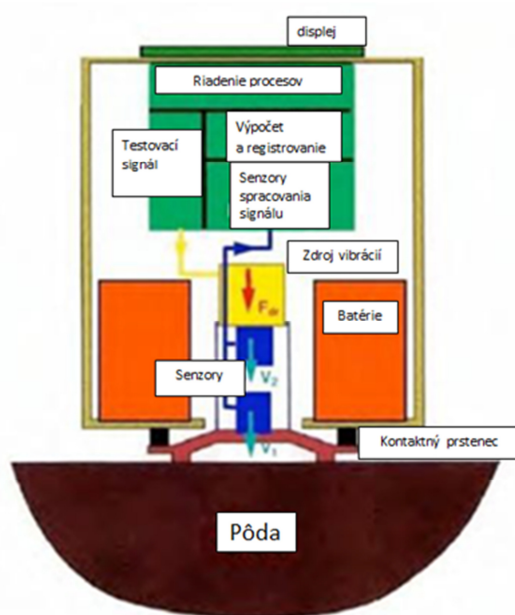
### 2.1. Popis prístroja

Ručne prenosný merací prístroj, ktorý poskytuje rýchle a presné spôsoby merania deformačných charakteristík zemných konštrukcií a vrstiev konštrukcie vozovky, a síce tuhosť a modul pružnosti materiálu. Skúšobná metóda je podľa výrobcu charakterizovaná ako dynamická metóda s využitím princípu metódy mechanickej impedancie. Geosonda meria mechanickú impedanciu skúšanej vrstvy, resp. meria vibračný tlak prenášaný na povrch vrstvy a výsledný povrchový priehyb ako funkciu frekvencie. Mechanická impedancia je veličina, ktorá charakterizuje odpor prostredia proti zmene jeho tvaru, alebo odpor prostredia proti pohybu telesa v ňom. Geosonda počas merania generuje elektromagnetickú energiu na úrovni 25 frekvencií v rozsahu od 100 Hz do 196 Hz, v jednom meracom intervale. Pri tom vykazuje veľmi malé posuny k zemi ( $< 1.27 \times 10^{-6}$  m) (obr. 1). Tuhosť je meraná pri každej frekvencii a priemer pri 25 frekvencii sa zobrazí na displeji. Tento proces vyhodnocovania trvá približne 70 sekúnd. Pri týchto nízkych frekvenciách je impedancia na povrchu kontrolovaná tuhosťou a úmerná modulu pružnosti v šmyku zeminy. [1]

Výstupné parametre každého meracieho intervalu sú:

- modul pružnosti, označovaný v pôvodnej literatúre [1] ako Youngov modul v zmysle Hookovho zákona pre izotropný, lineárne pružný materiál.
- tuhosť.

Technické špecifikácie sú prehľadne zobrazené v tabuľke 1.



Obr.1.: Schéma prístroja  
a princíp merania geosondou  
H-4140

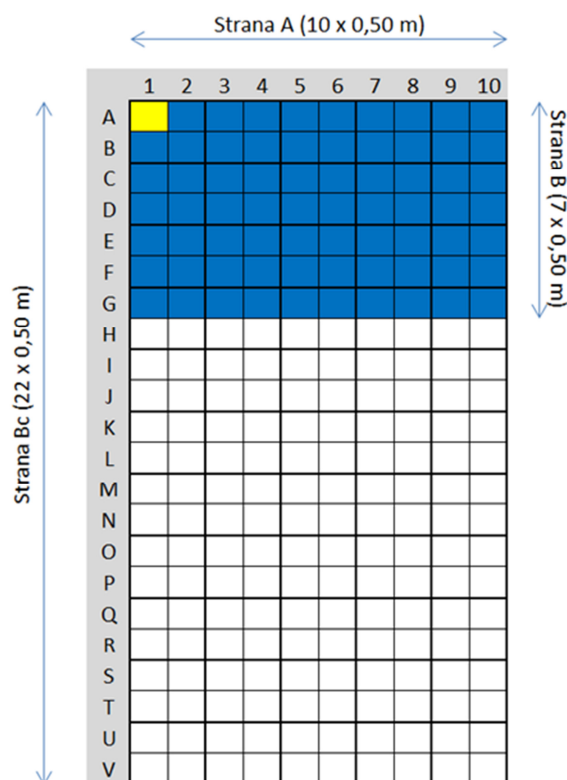
Tabuľka 1.: Technické špecifikácie Humboldt H-4140

Norma	ASTM D6758	
Rozsah merania:	od:	do:
Tuhosť:	3 MN/m	70 MN/m
Modul pružnosti:	26,2 MPa	610 Mpa
Koeficient variácie:	< 10%	
Hĺbka merania od povrchu	220 až 310 mm	
<b>Elektronika:</b>		
Napájací zdroj:	veľkosť pre jednorazové batérie	
Životnosť batérie:	vystačí na až 1500 meraní	
<b>Mechanické vlastnosti:</b>		
Vonkajší materiál:	Hliníkové puzdro a noha, gumové izolátory a tesnenie	
Vibrácie:	< $1.27 \times 10^{-6}$ m pri 125 Hz	
Vertikálna úroveň:	$\pm 5^\circ$	
Prevádzková teplota:	0°C to 38°C (okolitá teplota)	
Skladovacia teplota:	-20°C to 50°C	
Vlhkosť:	98% bez kondenzácie	
Rozmery:	priemer 280 mm, výška 255 mm (bez rukoväte)	
Hmotnosť:	bez puzdra 10kg, pri doprave s puzdrom 17,7 kg	

## 2.2. Skúšobné pole

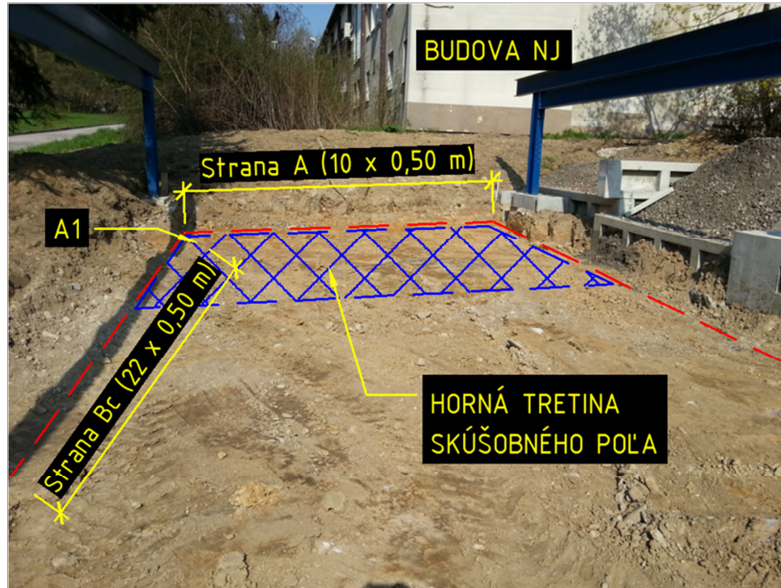
Skúšobné pole sa nachádza na pôde Žilinskej univerzity, na Veľkom diely, za budovou NJ. Toto miesto slúži ako experimentálne pole pre potreby rôznych výskumných aktivít rôznych kateder univerzity. Skúšobné pole sa začalo budovať na jeseň roku 2012. Odstránila sa vrchná časť zeminy v hrúbke od 0,3 m do 1,2 m kvôli vyrovnaniu sklonu. Povrch skúšobného poľa teda tvorí rastlý terén, ktorý nebol žiadnym spôsobom upravený. Rozmery skúšobného poľa sú 11x5 m.

Na úvod prebehli merania pomocou prístroja LDD100, Clegg – modely CIST 881 a 882. Pole sme rozdelili na parciálne časti o rozmeroch 0,5x0,5 m (obr.2), a na každom štvorci sme zmerali únosnosť pomocou týchto prístrojov. Z výsledkov meraní, ale tiež vizuálnou prehliadkou sme určili, že najhomogénnejšou časťou skúšobného poľa je horná tretina o rozmeroch 3,5x5 m (obr.3). Ďalšie merania na zisťovanie korelácií medzi prístrojmi LDD100 a Humboldt H4140 pri rôznych vlhkostiach skúšobného materiálu ďalej prebiehali už len na tejto časti.



Obr. 2.: Skúšobné pole s vyznačenou najhomogénnejšou tretinou





*Obr.3.: Horná tretina skúšobného poľa*

Výstupy meraní pomocou prístroja LDD 100 sú graficky znázornené na obr. 4. Priemer všetkých meraní pomocou prístroja LDD100:  $E_{vd}=18,2$  MPa.

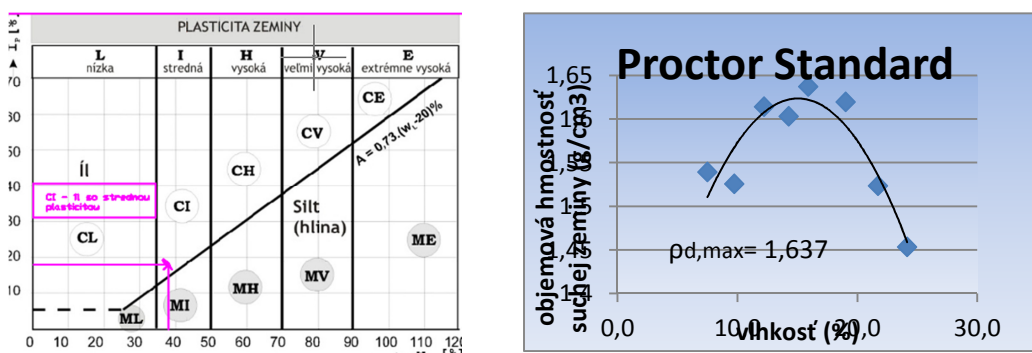


*Obr.4.: Povrchový graf skúšobného poľa*

Pred ďalšími meraniami bol vykonaný laboratórny rozbor zeminy skúšobného poľa. Okrem sitového rozboru, hustomernej skúšky, medze tekutosti a medze plasticity bola tiež vykonaná skúška Proctor Standard.(obr.5). Zistili sme, že zemina v podloží je íl so strednou plasticitou F6-CI a jej optimálna vlhkosť je 15,907%.

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví



Obr. 5.: Vyhodnotenie laboratórneho rozboru zeminy

### 2.3. Experimentálne merania pomocou prístrojov Humboldt H4140 a LDD100

Experimentálne merania prebiehali od 20.5 do 2.7. 2013 pri rozličných teplotách a vlhkosti podložia. (Tab. 2). Všetky merania (70x Humboldt a 70x LDD100) prebehli vždy v jeden deň, aby sme mohli určiť závislosť únosnosti od vlhkosti (obr.11). V týchto meraniach plánujeme pokračovať a odbornú verejnosť budeme informovať o nových výsledkoch.

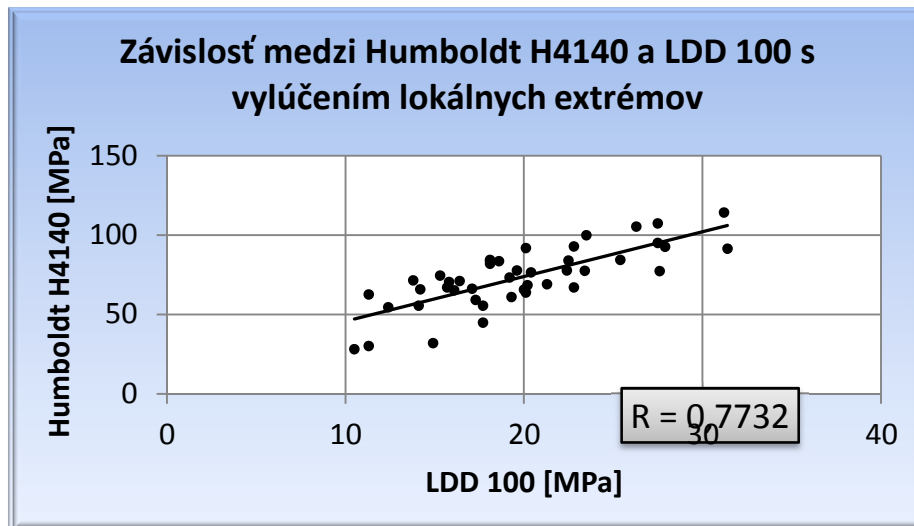
Tab. 2.: Klimatické podmienky pri meraniach

Dátum	20.5.	24.5.	29.5	19.6.	2.7.
Teplota	18°C	10°C	18°C	29°C	25°C
Vlhkosť	16,1224%	20,5079%	18,7381%	10,619%	12,72%

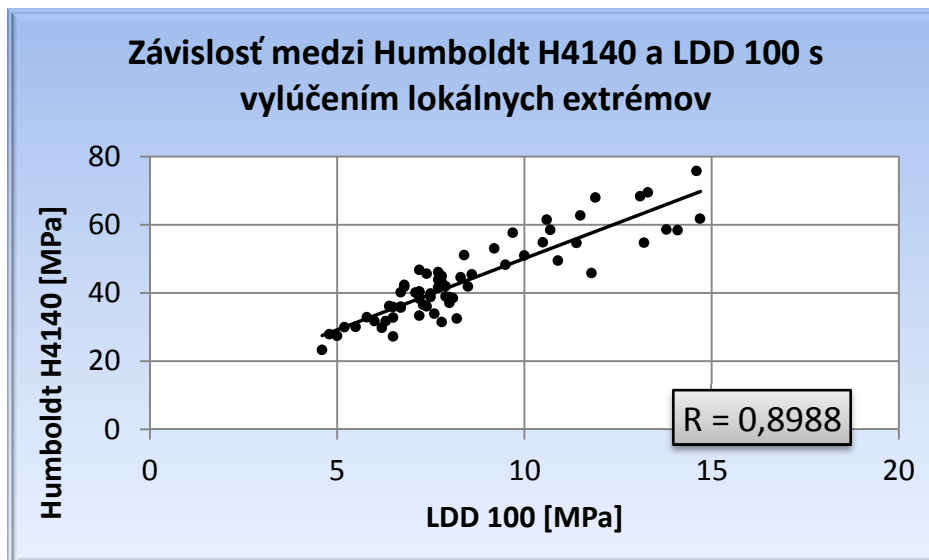
Tab.3.: Korelačné závislosti medzi prístrojom H-4140 a LDD100

Dátum	Korelačný koeficient	
	H/L – bez vylúčenia extrémov	H/L - s vylúčením extrémov
20.5	0,5161	0,7732
24.5	0,7522	0,8988
29.5	0,8089	0,9037
19.6	0,4600	0,7716
2.7	0,5889	0,8064
Priemer	0,62522	0,83074
Minimum	0,4600	0,7716
Maximum	0,8089	0,9037
Rozsah	0,3489	0,1321

V tabuľke 3 sú uvedené korelačné závislosti medzi prístrojmi LDD100 a H-4140 s vylúčením lokálnych extrémov ako aj bez vylúčenia lokálnych extrémov. Grafické znázornenie korelačnej závislosti medzi LDD100 a Humboldt H-4140 je zrejmé z obrázkov 6,7,8,9,10.



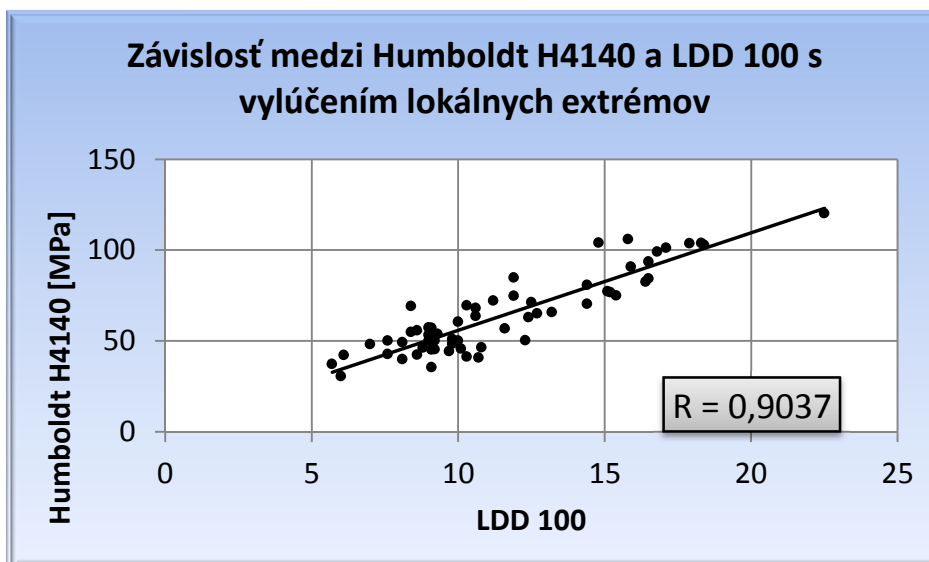
Obr. 6.: Korelačná závislosť (s vylúčením lokálnych extrémov) medzi LDD100 a H-4140 z meraní uskutočnených dňa 20.5. 2013 pri vlhkosti 16,1224%



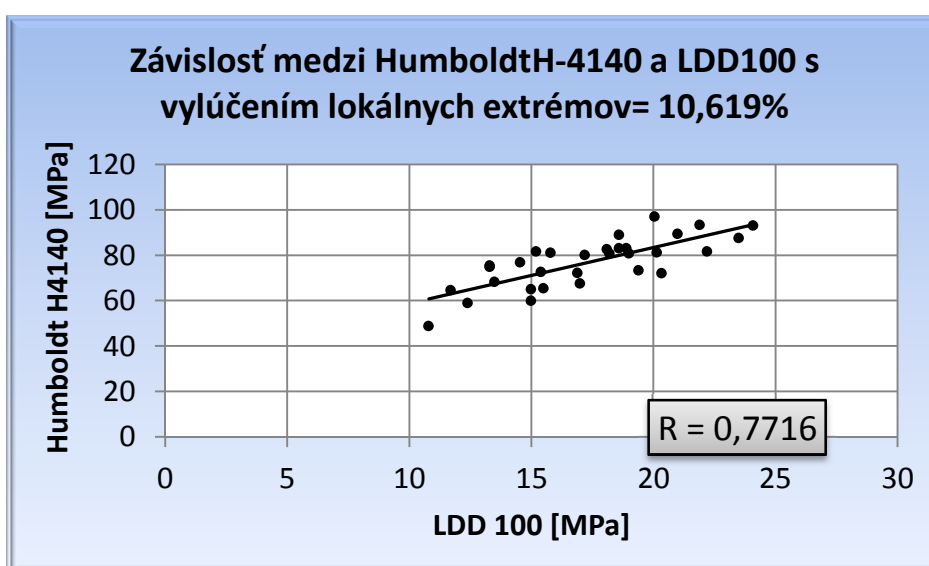
Obr. 7.: Korelačná závislosť (s vylúčením lokálnych extrémov) medzi LDD100 a H-4140 z meraní uskutočnených dňa 24.5. 2013 pri vlhkosti 20,5079%

1. – 2. října 2013

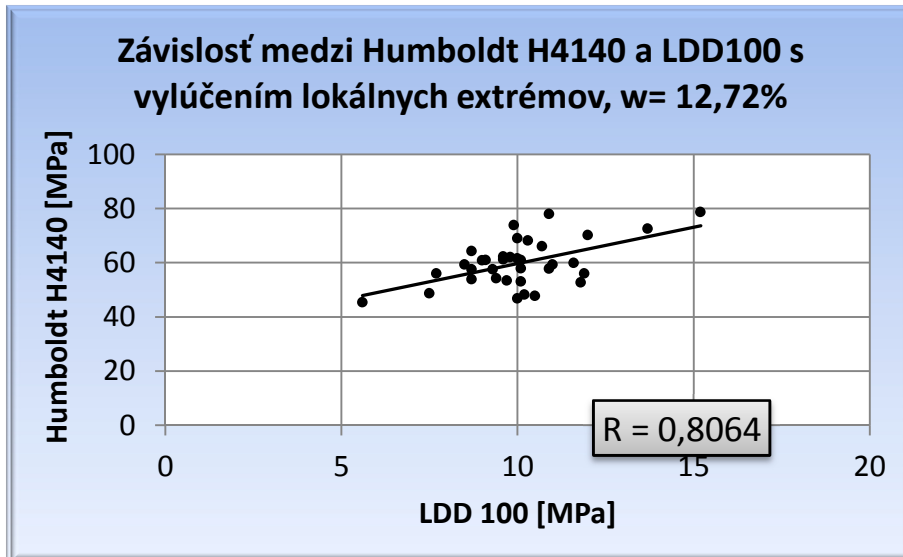
VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví



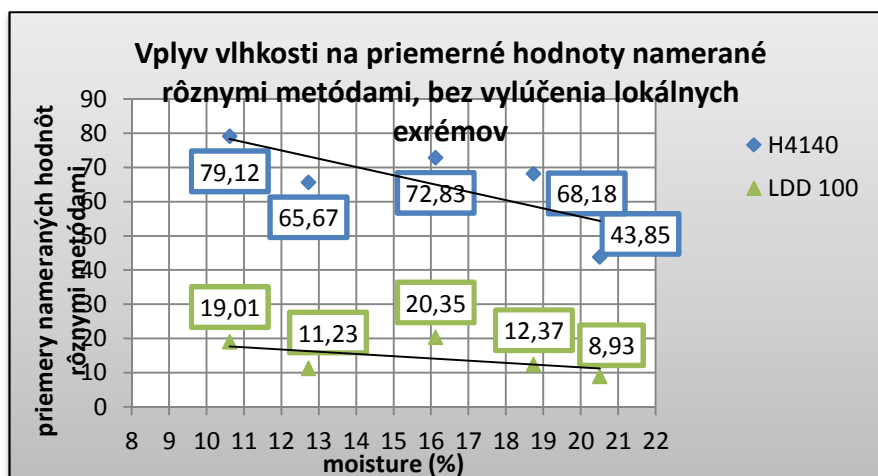
Obr. 8.: Korelačná závislosť (s vylúčením lokálnych extrémov) medzi LDD100 a H-4140 z meraní uskutočnených dňa 29.5. 2013 pri vlhkosti 18,7381%



Obr. 9.: Korelačná závislosť (s vylúčením lokálnych extrémov) medzi LDD100 a H-4140 z meraní uskutočnených dňa 19.6. 2013 pri vlhkosti 10,619%



Obr. 10.: Korelačná závislosť (s vylúčením lokálnych extrémov) medzi LDD100 a H-4140 z meraní uskutočnených dňa 2.7. 2013 pri vlhkosti 12,72%



Obr. 11.: Závislosť priemerných hodnôt únosti podložia zistených pomocou LDD100 a H-4140 od vlhkosti

### 3. Záver

Na základe výskumu uskutočňovaného na pracovisku autorov príspevku je možno vo vzťahu ku navrhovaniu a kontrole kvality zemných konštrukcií v podmienkach SR vysloviť nasledujúce odporúčania:

- pri kontrole miery zhutnenia súdržných zemín nepriamymi metódami vždy kontrolovať aktuálnu vlhkosť posudzovanej zemnej konštrukcie,
- veľkosť korelačného koeficientu sa pohybuje v rozmedzí od 0,7716 do 0,9037, teda pri všetkých meraniach bol zaznamenaný významný až veľmi vysoký stupeň závislosti,
- najnižší stupeň korelácie (0,7716) bol zaznamenaný pri najnižšej vlhkosti pri meraní.
- lokálne extrémny vznikajú najmä v miestach, ktoré sú povrchovo rozrušené.

Pri dobrej nadväznosti na výsledky iných, dlhodobo používaných a overených druhov skúšok a meraní je hodnovernosť a spoľahlivosť týchto výsledkov veľmi vysoká. Preto by bolo veľmi vhodné, keby spolu s mnohými ďalšími modernými metódami, dostali miesto aj v našich nových európskych normách, aby ich bolo možné využívať v súlade s platnou legislatívou.

## Poděkování

Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci OP Výskum a vývoj pre projekt „Nezávislý výskum inžinierskych stavieb na zvýšenie efektívnosti konštrukčných prvkov “ (ITMS: 26220220112) ktorý je spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



## Literatúra

- [1] HUMBOLDT MFG. CO., Geogauge™ User Guide, Model H – 4140. Norridge, IL. 60706, U.S.A., 2007.
- [2] Decký, M.; Drusa, M.; Zgútová, K.; Vangel, J.; Trojanová, M.; Benč, G.; Starší, B. 2009. Navrhovanie a kontrola zemných konštrukcií inžinierskych stavieb. Scientific monograph. University of Žilina. Žilina: BTO print. 479 p. ISBN 978-80-970139

## **Kontakt**

doc. Dr. Ing KATARÍNA ZGÚTOVÁ, katarina.zgutova@fstav.uniza.sk,  
Žilinská univerzita v Žiline, Stavebná fakulta, Katedra technológie  
a manažmentu stavieb, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina

Ing. DOMINIKA ĎUREKOVÁ, dominika.durekova@fstav.uniza.sk, Žilinská  
univerzita v Žiline, Stavebná fakulta, Katedra technológie a manažmentu  
stavieb, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---



**BLOK IV.  
PRAKTICKÉ UKÁZKY MĚŘENÍ  
A PŘÍSTROJOVÉ TECHNIKY  
NA ZKUŠEBNÍM POLYGONU**

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

## PRVNÍ ZKUŠENOSTI S GEORADAREM HILTI PS1000 PŘI STAVEBNĚ TECHNICKÝCH PRŮZKUMECH

### THE FIRST EXPERIENCE WITH THE USE OF HILTI PS1000 GPR IN BUILDING SURVEYS

**Ondřej Anton, Petr Cikrle,  
Věra Heřmánková**

VUT v Brně, Fakulta stavební,  
Ústav stavebního zkušebnictví

***Anotace:***

*Nedílnou součástí stavebně technických průzkumů je stanovení polohy ocelové výztuže v železobetonových prvcích konstrukce. V posledním desetiletí se mezi standardně užívané metody zařadilo užití georadaru, nicméně donedávna používané aparatury se vyznačovaly komplikovaností, zdoluhavostí měření a vyhodnocení měření vyžadovalo značnou odbornou erudovanost obsluhy. Přelomem se stal přístroj Hilti PS 1000, určený pro užití řadovými technikami při provádění stavebně technických průzkumů.*

***Annotation:***

*An integral part of a building survey is determining the location of steel reinforcements in building construction elements made of reinforced concrete. In the last decade, GPR came as one of the standard diagnostic methods. However, the equipment used until recently was characterized by its complexity and lengthy measurements, evaluation of which required a considerably professionally knowledgeable staff. The turning point was Hilti PS 1000, a GPR intended for use by common technicians during building surveys.*

***Klíčová slova:*** Stavebně technický průzkum, georadar

***Keywords:*** Building survey, GPR

## **1. Úvod – georadar a jeho užití při stavebně technických průzkumech**

Georadar (v anglofonní oblasti GPR – ground penetrating radar) je metoda založená na principu vysílání vysokofrekvenčních elektromagnetických pulzů (frekvence řádově stovky MHz až jednotky GHz) do zkoumaného prostředí a na následné registraci jejich odrazů od překážek. Dosah georadaru dle prostředí činí až 15 m. Metoda je dnes již standardně využívána k lokalizaci nehomogenit v zemním prostředí (archeologické průzkumy, vyhledávání polohy potrubí apod.), dále k lokalizaci dutin za stěnami a ostěním tunelů, chodeb a stok a v poslední době je metoda využívána pro lokalizaci ocelové výztuže a dalších nehomogenit v betonu při diagnostice železobetonových konstrukcí.

Zatímco ve světě, především v USA, patří georadar ke standardně používaným diagnostickým metodám, a na toto téma se pořádají specializované odborné konference, v České republice není metoda GPR ve stavebnictví zatím příliš rozšířená a odbornou veřejností dostatečně akceptovaná. Lze konstatovat, že příčina spočívá nejspíše ve faktu, že donedávna používané aparatury se vyznačovaly komplikovaností, zdlouhavostí měření, a vyhodnocení měření vyžadovalo značnou odbornou erudovanost obsluhy. Přelomem se stal přístroj Hilti PS 1000, určený pro užití řadovými technikami při provádění stavebně technických průzkumů. Následující řádky mají za cíl popsat první zkušenosti pracovníků Ústavu stavebního zkušebnictví, Fakulty stavební VUT v Brně s daným zařízením v rámci provádění stavebně technických průzkumů.

## **2. Lokalizace ocelové výztuže v železobetonu při stavebně technických průzkumech.**

Nedílnou součástí stavebně technických průzkumů je stanovení polohy ocelové výztuže v železobetonových prvcích konstrukce, ať již z důvodu možnosti statického přepočtu konstrukce, nebo např. při odběru vzorků betonu jádrovými vývrty, kdy je třeba minimalizovat riziko přerušování výztuže při vrtání. V současnosti lze užít několik metod k dosažení cíle, nicméně každá z nich má své limity a omezení.

### **2.1. Metoda destruktivní – odstranění krycí vrstvy betonu**

Často používanou možností, vyžadující jen minimální vybavení, je destruktivní odstranění krycí vrstvy betonu, s cílem vizuálně vyhodnotit

obnaženou výztuž. Pomineme-li fakt, že dochází k vizuálnímu poškození konstrukce, které často bývá více než „kosmetické“, základním omezením je u složitěji vyztužených prvků velké riziko nekompletnosti výsledků, kdy výztuže uložené hlouběji pod povrchem nejsou často zjištěny. Jde o metodu použitelnou pouze pro velmi jednoduché případy vyztužení.

## **2.2. Metoda elektromagnetických indikátorů výztuže.**

Magnetická metoda zjišťování polohy výztuže je založena na využití feromagnetického jevu nebo vířivých proudů, které způsobují změnu charakteristik magnetického pole sondy při jejím přiblížení k prutům výztuže.

Zásadní omezení metody spočívá v hloubkovém dosahu přístroje (60 – 220 mm dle druhu přístroje a použité sondy), v nemožnosti lokalizovat více vrstev výztuží nad sebou a stanovit druh výztuže či míru koroze. Rovněž v případě hustého vyztužení (malá vzdálenost prutů výztuže) tato metoda zčásti, nebo zcela selhává! Předností elektromagnetických indikátorů je rychlost a jednoduchost kontroly polohy výztuže, nevýhodou řada omezení vyplývajících z možností přístrojů, jež jsou dána fyzikálními principy této měřicí metody.

## **2.3. Radiografie**

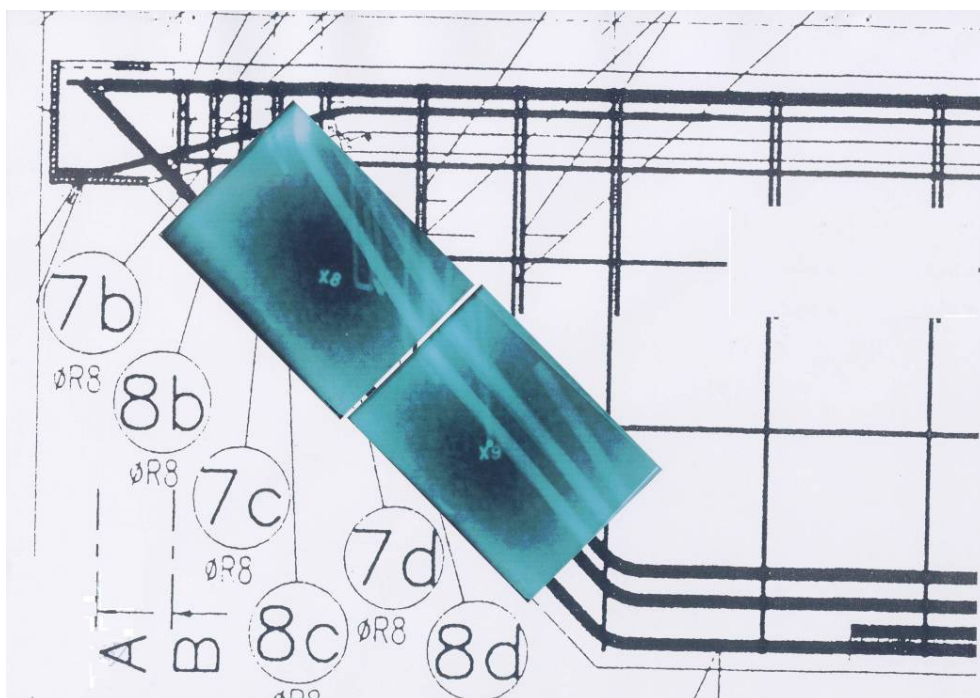
Radiografická metoda je založena na specifických vlastnostech záření gama (zdrojem je nejčastěji izotop Co60), které je rozptylováno a absorbováno prostředím, kterým prochází. Míra zeslabení při stejné energii záření je závislá na prozařované tloušťce a na objemové hmotnosti materiálu. V technické praxi jde tedy o metodu, umožňující zobrazení vnitřních nehomogenit v materiálech a prvcích konstrukcí zcela bez porušení.

V případě železobetonu je například záření zeslabováno výrazněji ocelovou výztuží, nežli betonem. Míra zeslabení záření po průchodu materiálem je dosud obvykle zaznamenávána na radiografickém filmu, který po vyvolání zobrazuje vnitřní strukturu kontrolovaného místa. U železobetonu se rozložení výztuže v prozařované části konstrukce projevuje světlejšími stopami nižšího zčernání na vyvolaném filmu, způsobeným centrálním průmětem výztuže na radiografický film. Metoda umožňuje v kompletním rozsahu stanovení polohy, druhu a průměru hledané výztuže, omezujícími faktory jsou časová náročnost a složitost

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

metody, a rovněž nutnost vyloučení pohybu osob v okolí prováděných zkoušek z důvodu ochrany před zářením.



*Obrázek 1.: Příklad radiogramů, které stanovily polohu výztuže ve vazníku, která neodpovídala projektové dokumentaci.*

#### **2.4. Georadar**

Z popisu výše uvedených metod je zjevné, že každá z metod vykazuje nedostatky či omezení, ať už dané rizikem neúplnosti výsledků, nebo komplikovaností při provádění. Na to, stát se vhodným doplňkem, jakýmsi funkčním mezičlánkem mezi elektromagnetickými indikátory a radiografií, od počátku aspirovaly georadary. Jejich zavedení v širším měřítku donedávna bránila jak cena, tak především velikost zařízení a komplikovanost provádění měření i vyhodnocení georadarového záznamu. Georadarové aparatury rozhodně nebyly určeny pro užití řadovými technikami, navíc, většina aparatur nebyla prvoplánově určena pro průzkumy železobetonových prvků. Z toho důvodu, navzdory snahám řady subjektů, se v České republice nikdy nestal georadar zcela plnohodnotnou, a běžně užívanou metodou v rámci stavebně technických průzkumů.

### 3. Hilti PS 1000

Přelomem ve využívání principu georadaru při stavebně technických průzkumech se stalo uvedení na trh přístroje PS 1000 firmy Hilti. Jak konstrukce zařízení, tak používaný software, jsou přímo určeny pro diagnostiku železobetonu, s předpokládanou možností určit jak polohu ocelových výztuží, tak dalších případných nehomogenit v prvcích betonových konstrukcí. Na rozdíl od klasických georadarů je sonda, určená k pohybu po povrchu konstrukce relativně malá (viz Obr. 1), a pro dokonalé určení polohy i několika objektů ležících nad sebou je osazena trojicí antén. Vzhledem k tomu, že na volbě vysílací frekvence závisí jednak hloubkový dosah zařízení, jednak minimální velikost detekovatelného objektu zvolil výrobce řešení, umožňující detekci objektů s následující přesností:

- Hloubka detekce do 300mm
- Přesnost lokalizace  $\pm 10$ mm
- Přesnost určení hloubky  $\pm 10$ mm



*Obrázek 2.: Sonda přístroje Hilti PS 1000 při liniovém skenování stropní konstrukce*

Pohybem koleček vozíku sondy je detekován a zaznamenáván její pohyb po povrchu konstrukce. Připojený software poté přímo vytváří na monitoru

jak sondy, tak později v počítači nebo dodaném monitoru, přímo vykreslení polohy zachycených objektů, a to buď jako 2D zobrazení (půdorys skenované plochy + řezy ve dvou, na sebe kolmých rovinách), nebo přímo 3D zobrazení skladby zjištěných objektů ve zkoumané části konstrukce).

V praxi lze použít buď jednodušší liniový sken (pohyb sondy jen v jednom směru, zde je použití do jisté míry analogické k užívání magnetického indikátoru výztuže), nebo lze užít plošný sken, kdy sondou pohybujeme po povrchu konstrukce v předem nastaveném rastru buď na ploše 600 x 600 mm, nebo 1200 x 1200 mm.

Nevýhodou principu georadaru je fakt, že v případě lokalizace ocelové výztuže není zařízení schopné stanovit průměr lokalizované výztuže, ten je třeba stanovit užitím některé alternativní zkušební metody.

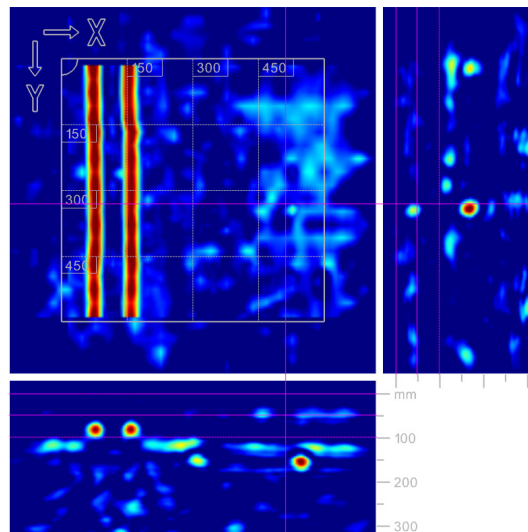
## **4. Praktické testy Hilti PS 1000 při stavebně technických průzkumech.**

### **4.1. Lokalizace výztuže ve stropu při odběru jádrových vývrtů**

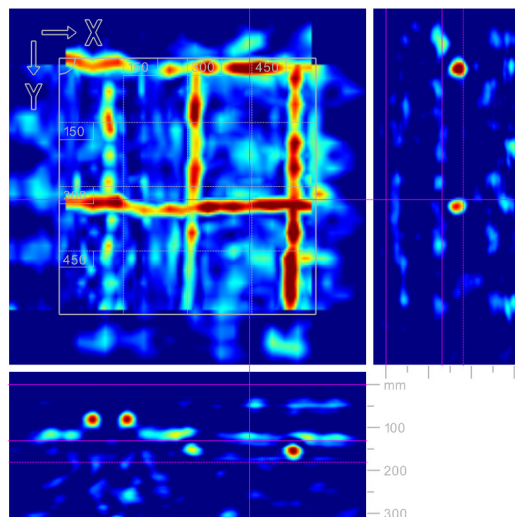
Při provádění diagnostiky železobetonového stropu, vestavěného do historického objektu, bylo nutno provést několik průvrtů stropem, jak pro zjištění jeho skladby, tak pro následné určení vlastností betonu železobetonové desky. Bylo žádoucí nepřerušit žádnou z výztuží v oboustranně armované železobetonové desce (jak ze statických důvodů, tak pro zajištění možnosti z odebraných vzorků vytvořit relevantní zkušební těleso pro stanovení pevnosti betonu v tlaku). Odhadovaná celková tloušťka stropu byla 300 mm včetně skladby podlahových vrstev. Strop byl (z důvodu umístění podhledu) přístupný pouze s horní strany. Pro zjištění polohy výztuže nebyla použitelná žádná z konvenčních metod - pro elektromagnetické indikátory i sekané sondy byla konstrukce nepřístupná, radiografie nebyla zvažována z důvodu rozpočtového omezení průzkumu.

V místech plánovaných průvrtů byly provedeny plošné skeny přístrojem Hilti PS 1000. Zařízení spolehlivě zachytilo jak horní, tak dolní výztuž v železobetonové desce, a současně lokalizovalo rozvod vody, vedený ve vrstvách vyrovnávacích betonů (viz Obr. 3 - 5). Lze konstatovat, že v tomto případě byl georadar jedinou prakticky použitelnou metodou pro zjištění polohy veškerých výztuží v zájmové oblasti. Radiografie by podala obdobné výsledky (navíc s určením průměru výztuže), nicméně až po vyhodnocení v laboratoři, což by chod průzkumu zpomalilo a zkomplikovalo.

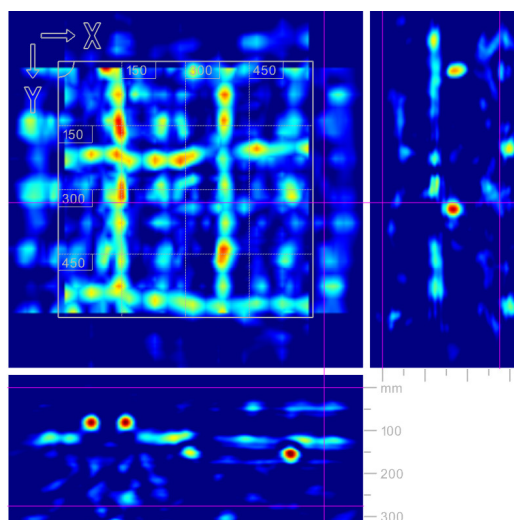




*Obrázek 3.: Oblast budoucího vývrtnu skenovaná přístrojem PS1000, v půdorysu skenu zobrazena dvojice trubek v hloubce cca 70 mm od povrchu podlahy (zobrazen je půdorys skenované plochy s objekty v hloubce od 0 do 100 mm, a svislé řezy v navzájem kolmých rovinách)*



*Obrázek 4.: Oblast budoucího vývrtnu skenovaná přístrojem PS1000, v půdorysu skenu zobrazena horní výztuž železobetonové desky v hloubce cca 150 – 170 mm od povrchu podlahy. (zobrazen je půdorys skenované plochy s objekty v hloubce od 130 do 180 mm, a svislé řezy v navzájem kolmých rovinách).*

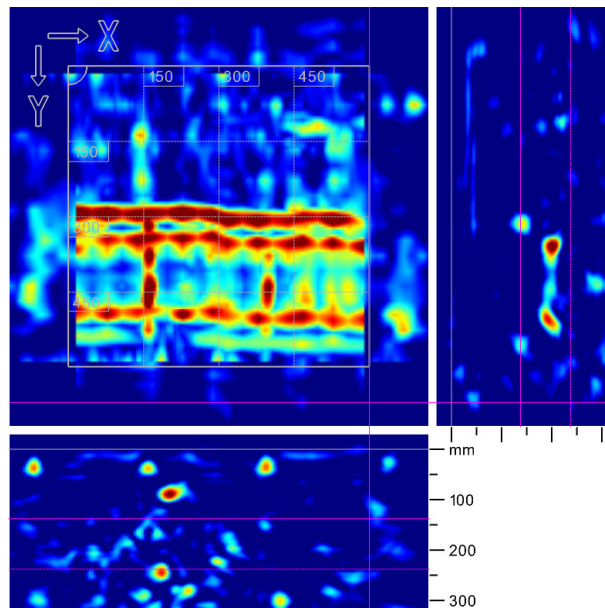


*Obrázek 5.: Oblast budoucího vývrtnu skenovaná přístrojem PS1000, v půdorysu skenu zobrazena spodní výztuž železobetonové desky v hloubce cca 300 – 320 mm od povrchu podlahy (zobrazen je půdorys skenované plochy s objekty v hloubce od 270 do 230 mm, a svislé řezy v navzájem kolmých rovinách). Poloha takto hluboko uložené výztuže byla zobrazena vlastně již mimo deklarovaný hloubkový dosah zařízení!*

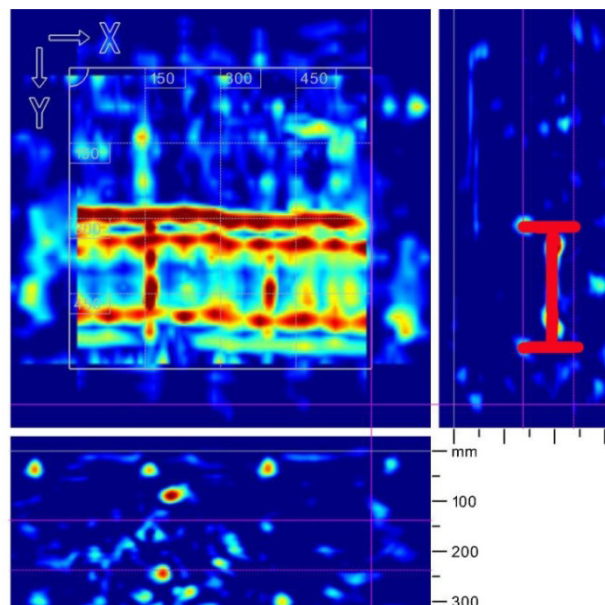
#### 4.2. Lokalizace ocelového I profilu

Při provádění diagnostiky historického objektu, v minulosti přestavěného. V objektu byla vytvořena nová příčka, obsahující nový nosný prvek, trám, nacházející se nad stropní deskou. V trámu byl předpokládán vložený I profil, předpoklad bylo třeba potvrdit. Vzhledem k šířce trámu byl předpokládán I profil na samé hranici dosahu elektromagnetických indikátorů, jejich použití komplikovala konstrukční výztuž umístěná blíže povrchu prvku. Sekaná sonda nebyla možná z důvodu požadavku na nepoškození interiéru. Radiografie byla navržena jako poslední možnost při selhání ostatních metod. Na líci vestavěného trámu byly provedeny skeny v ploše 600 x 600 mm, na jejich výsledcích byla patrná jak poloha třmínků a konstrukční výztuže, tak poloha vloženého I profilu.

Poloha I profilu se zobrazila v podobě výrazných bodů v okrajích pásnic a v koutech mezi pásnicemi a stojkou profilu. Zde je již třeba jisté zkušenosti vyhodnocovatele, aby byl schopen identifikovat typ zobrazeného objektu.



Obrázek 6.: Oblast trámu skenovaná přístrojem PS1000, v půdorysu skenu je jasně patrný ocelový I profil (pro názornost v půdorysu potlačeno zobrazení třmínků a další výztuže). Profil je v řezu zobrazen okraji pásnic a kouty mezi stojkou a pásnicemi).

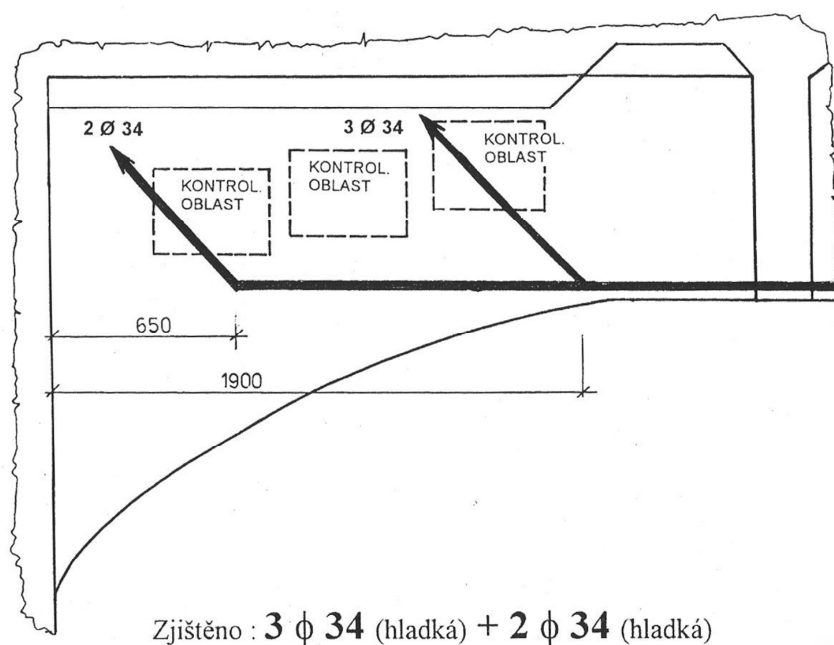


Obrázek 7.: Oblast trámu skenovaná přístrojem PS1000, poloha ocelového I profilu zde pro názornost vyznačena červeně.

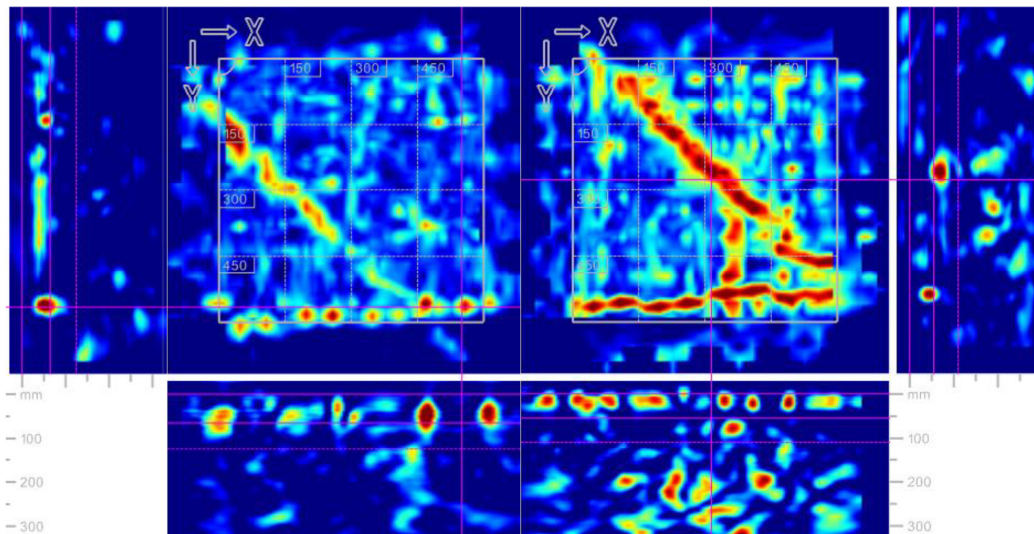
### 4.3. Lokalizace ohybů smykové výztuže v trámech silničního mostu

Při provádění diagnostiky silničního mostu v obci Ivančice, byla v minulosti využita radiografie pro stanovení polohy ohybů smykové výztuže v trámech mostu. Radiografie byla provedena formou bočních expozic, kdy zdroj záření byl umístěn na jednom bočním líci trámu, radiografický film na druhé, a takto byla provedena řada expozic. Vzhledem k šířce trámu 600 mm byla tato radiografie komplikovaná, zejména extrémně dlouhými expozicemi, nutnými k prozáření této tloušťky betonu. Radiografie nicméně zcela přesně stanovila polohu ohybů smykové výztuže.

Na téže konstrukci byl ke stejnému účelu v současnosti otestován přístroj Hilti PS 1000. Byla provedena řada plošných skenů z obou stran trámu mostu, ve shodných místech, kde byla provedena radiografie. Lze konstatovat, že georadar zobrazil všechny hledané ohyby smykové výztuže. Na rozdíl od radiografie nebylo pochopitelně možné ze záznamu určit profily výztuží, nicméně v současné praxi by bylo vhodné k tomuto účelu nakombinovat řadu měření georadarem a dílčí měření radiografií.



Obrázek 8.: Poloha ohybů smykové výztuže v trámu mostu tak, jak byla v minulosti určena radiografickým průzkumem



*Obrázek 9.: Poloha ohybů smykové výztuže v trámu mostu tak, jak byla zobrazená na části skenů přístrojem PS 1000.*

## 5. Závěr

Na základě dosavadních testů přístroje Hilti PS 1000, je možno konstatovat, že pro stanovení polohy ocelové výztuže v železobetonu při stavebně technických průzkumech toto zařízení tvoří dlouho postrádaný mezistupeň mezi elektromagnetickými indikátory a radiografií. V řadě případů dokáže ostatní metody vhodně doplnit, v některých případech částečně nahradit. Mezi zásadní klady patří relativně vysoký hloubkový dosah, možnost přehledného zobrazení více objektů nad sebou a okamžitého vyhodnocení. Nedostatky plynou z fyzikální podstaty metody, a jsou to jednak nemožnost určení profilu výztuže, a v některých případech nejednoznačnost druhu lokalizovaného objektu. Při dalších měřeních bylo například zjištěno, že zcela selhává v případě použití drátkobetonu.

Přístroj je schopen do jisté míry identifikovat i jiné objekty a materiály, než ocel, včetně dutin, ale to je již téma mimo rozsah tohoto článku a bude zpracováno v dalších publikacích.

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

## Poděkování

Tento příspěvek vznikl za podpory centra kompetence TAČR TE01020168, s názvem "Centrum pro efektivní a udržitelnou dopravní infrastrukturu (CESTI)"

## Literatura

[1] ANTON, O.; ŠTAINBRUCH, J.; KORDINA, T., Rozvoj a použití georadaru při diagnostice železobetonových konstrukcí, článek v Beton TKS, ISSN 1213-3116, Beton TKS s.r.o., Praha, 2011

[2] ANTON, O.; KORDINA, T.; ŠTAINBRUCH, J., Influence of GPR scanning method for measuring the quality of raw and processed data, příspěvek na konferenci 8th Workshop NDT 2010 Non Destructive Testing in Engineering Practice, ISBN 978-80-7204-723-9, FAST, VUT v Brně, Brno, 2010

[3] CIKRLÉ, P.; ANTON, O.; DANĚK, P.; KUCHARCZYKOVÁ, B.; MISÁK, P., NDT Zkoušení ve stavebnictví. Příručka kurzu ČZV., , ISBN 978-80-214-4198-9, Ústav stavebního zkušebnictví, VUT v Brně FAST, Brno, 2010

[4] KORDINA, T.; KADLECOVÁ, Z.; ANTON, O., Evaluation of the Influence of a Scanning Method on the Resulting Quality of the GPR Images, příspěvek na konferenci *Proceedings of the XIII International Conference on Ground penetrating Radar Lecce (Italy), 21-25 June 2010*, ISBN 978-1-4244-4605-6, 2010

## Kontakt

Ing. ONDŘEJ ANTON, Ph.D., tel: 00420 541 147 823, e-mail: anton.o@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. PETR CIKRLÉ, Ph.D., tel: 00420 541 147 814, e-mail: cikrle.p@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

Ing. VĚRA HEŘMÁNKOVÁ, Ph.D., tel: 00420 541 147 817, e-mail: hermankova.v@fce.vutbr.cz, Ústav stavebního zkušebnictví, FAST VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

## **PŘÍSTROJE PRO KONTROLU POVRCHOVÝCH ÚPRAV STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ**

**Libor Keller**  
TSI System s.r.o.

Přístroje amerického výrobce DeFelsko Corp. jsou známé již více než 40 let. Modelová řada PosiTector<sup>®</sup> představuje nejuniverzálnější přístroj pro kontrolu povrchových úprav. Díky konstrukčnímu řešení základní jednotky přístroje PosiTector<sup>®</sup> s použitím systémového konektoru pro snímače a sondy se podařilo obsáhnout všechny potřebné měřicí metody jednotným typem přístroje. Tak je možné přístroj PosiTector<sup>®</sup> konfigurovat jako povlakoměr, jako měřidlo klimatických podmínek, jako profiloměr a nebo jako tloušťkoměr.

### **PosiTector<sup>®</sup> Standard a Advanced**

Základní jednotka PosiTector<sup>®</sup> se nabízí ve dvou provedeních, ve standardním a pokročilém. Standardní model s monochromatickým displejem umožňuje využívat všechny měřicí metody, přitom má základní paměť pro 250 naměřených hodnot a pro komunikaci využívá USB rozhraní. Pokročilý model je vybavený vysoce kontrastním barevným displejem, který umožňuje zobrazit grafy výsledků měření a snímky měřených konstrukcí. Tento model disponuje velkou pamětí dat, která umožňuje uložit až 100 000 naměřených hodnot rozdělených až do 1 000 souborů.

Pokročilá základní jednotka je navíc vybavena bezdrátovým rozhraním Bluetooth a WiFi, která rozšiřují její komunikační možnosti. Tak je možné jednoduše pomocí počítače, tabletu nebo chytrého telefonu připojit přístroj k internetu a synchronizovat měření s internetovou aplikací PosiSoft.net. Také je možné bezprostředně stahovat aktualizace přístroje PosiTector<sup>®</sup> a mít tak vždy k dispozici poslední verzi programového vybavení. Pomocí aplikace PosiSoft Mobile Manager v tabletu nebo telefonu se také snadno doplní poznámky k měření a označení datových souborů a je možné ihned vkládat pořízené fotografie měřených míst. Navíc lze připojit k jednomu WiFi bodu několik přístrojů PosiTector<sup>®</sup> současně a sledovat průběžně postup měřicích prací.

### **PosiTector® 6000**

Povlakoměr vznikne, připojíme-li k základní jednotce jeden ze snímačů: magnetoinдуктивní (F) pro feromagnetické podklady, vířivoproudý (N) pro neferomagnetické a kombinovaný (FN) s automatickým přepínáním měřicí metody. K dispozici jsou kompaktní a kabelové varianty standardních snímačů, mikrosnímače a širokorozsahové snímače, pokrývající měřicí rozsah od jednotek  $\mu\text{m}$  až do 63 mm tloušťky povlaku s rozlišením až 0,1  $\mu\text{m}$ . Je možné vybírat z celkem 24 typů snímačů. Typické snímače pro kontrolu tloušťky povrchových úprav ocelových stavebních konstrukcí jsou v provedení F s rozsahem do 1,5 mm, FT s rozsahem do 10 mm, robustní snímač FHX s rozsahem do 10 mm a s teplotní odolností do 250°C, vysokorozsahové snímače FK a FL s rozsahy do 13 a 38 mm a extrémně vysokorozsahový snímač FNG pro měření tloušťky povlaků do 63 mm, který umožňuje měřit na všech kovech.



*Obr. 1: PosiTector® 6000 v pokročilém a standardním provedení*



## PosiTector® 200

Unikátní ultrazvukový povlakoměr PosiTector® 200, který umožňuje měřit povlaky na nekovových podkladech, lze vytvořit připojením jedné ze tří sond B, C nebo D ke standardní nebo pokročilé základní jednotce PosiTector®. Sonda B umožňuje měřit polymerové povlaky na plastech a dřevě do tloušťky 1000  $\mu\text{m}$ . Pro povlaky na betonu a laminátu je určena sonda C s rozsahem do 3,8 mm a pro silné měkké polymerové nebo polyuretanové povlaky do 7,6 mm je k dispozici nová sonda D. Ve standardním provedení měří PosiTector® 200 celkovou tloušťku povlaku, pokročilé provedení umožňuje rozlišit až 3 vrstvy povlaku a zobrazit jejich tloušťky.



*Obr. 2: PosiTector® 200 měří tloušťku povlaku betonu*

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

### **PosiTector® DPM**

Pro měření klimatických podmínek, které jsou důležitým parametrem při aplikaci povrchových úprav, je možné využít snímač DPM, který obsahuje prostorový a kontaktní povrchový teploměr a vlhkoměr. Je možné připojit i teploměrnou sondu s magnetickým upínačem a dlouhým kabelem. Přístroj určí hodnotu rosného bodu a vypočítá potřebné teplotní rozdíly. Může fungovat i jako dlouhodobý záznamník klimatických podmínek.



*Obr. 3: PosiTector® DPM s magneticky upnutým snímačem teploty*

### **PosiTector® SPG**

Měření povrchového profilu je důležité při povrchových úpravách abrazivně čištěných konstrukcích. Snímač DPM měří odolným hrotem z karbidu wolframu hloubku prohlubní v povrchu konstrukce vůči ocelové základně. Stejně jako u ostatních měřicích metod lze naměřené hodnoty ukládat do paměti přístroje pro další zpracování, dokumentaci a archivaci.



*Obr. 4: PosiTector® SPG při měření profilu povrchu*

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

### **PosiTector® Kit**

Povlakoměr, měřidlo klimatických podmínek a profiloměr tvoří skupinu přístrojů, které najdou společné využití při každé kontrole povrchových úprav. Proto je v nabídce sestava vytvořená z jedné základní jednotky, která může být standardní nebo pokročilá, z vhodného snímače tloušťky povlaku a ze snímačů DPM a SPG. Sestava je doplněna praktickým plastovým kufříkem.



*Obr. 5: PosiTector® Kit umožňuje vytvořit sestavu podle požadavku*

## PosiTector® UTG

Měření tloušťky povrchově upravovaného materiálu je důležité například pro stanovení životnosti udržovaných konstrukcí. Nyní je možné ultrazukové sondy tloušťkoměru připojit k základní jednotce PosiTector® a vytvořit tak z povlakoměru tloušťkoměr. Dvojitá sonda (C) slouží hlavně pro měření horších, korozí napadených povrchů. Jednoduchá sonda (M) najde uplatnění zejména při měření tloušťky materiálu přes vrstvu povrchové úpravy.



Obr. 6: PosiTector® UTG měří tloušťku základního materiálu

## **PosiSoft®**

Pro dokumentaci výsledků měření je k dispozici programové vybavení PosiSoft® ve verzi 3.0, které umožňuje stahování dat z přístroje, jejich prohlížení, tisk a archivaci. Program PosiSoft® lze uživatelsky konfigurovat a vytvářet tak individuální náhledy na naměřená data.

Všechny přístroje PosiTector® mají použítu technologii PosiSoft USB Drive, která poskytuje jednoduché rozhraní pro stahování změřených dat stejným způsobem jako z běžných USB pamětí. Přitom není zapotřebí instalace žádného programu ani připojení k internetu. K zobrazení naměřených dat stačí libovolný prohlížeč.

Základní jednotka PosiTector® umožňuje moderní způsob přenosu a zpracování naměřených dat využitím internetové aplikace PosiSoft.net. Tato volně dostupná aplikace nabízí bezpečnou centralizovanou správu naměřených hodnot. Měření se po připojení k internetu okamžitě synchronizují na zabezpečeném serveru, do přístroje se také mohou stahovat zaznamenané komentáře a doplňující obrázky. Připojení je snadné pomocí standardního prohlížeče z libovolného místa na světě. Pak už nic nebrání vytváření dokonalých protokolů se všemi podklady právě tam, kde je to zapotřebí. Data je možné také sdílet s autorizovanými spolupracovníky nebo exportovat do dalších aplikací. Výhodou je také volba libovolného jazykového prostředí v aplikaci PosiSoft.net pro bezproblémovou komunikaci.

Program PosiSoft Mobile umožňuje komunikaci přístrojů PosiTector® v pokročilém provedení prostřednictvím sítě WiFi s mobilní technikou, jako jsou notebooky, tablety a chytré mobilní telefony. Aplikace PosiSoft Mobile umožňuje uživateli nahlížet přes mobilní zařízení do přístroje PosiTector® a prohlížet tak naměřené hodnoty, statistické údaje, grafy, obrázky a poznámky. Také je možné k souborům naměřených dat přidávat vlastní obrázky a komentáře.



*Obr. 7: PosiSoft představuje univerzální komunikační řešení*

PosiTector<sup>®</sup> představuje komplexní přístrojový systém, který umožňuje měření významných veličin při posuzování kvality povrchových úprav. Kombinace měření tloušťky povlaků, sledování klimatických podmínek, hodnocení profilu povrchu a možnost měření tloušťky povlakovaného materiálu spolu s širokými možnostmi ukládání naměřených dat a s možností vytvářet podrobnou měřicí dokumentaci s bezpečnou archivací dat poskytuje zcela nový dokonalý uživatelský komfort při práci s přístroji PosiTector<sup>®</sup>.

## **Kontakt**

Ing. LIBOR KELLER, TSI System s.r.o., Mariánské nám. 1, 617 00 Brno,  
tel. +420 545 129 462, [info@tsisystem.cz](mailto:info@tsisystem.cz), [www.tsisystem.cz](http://www.tsisystem.cz)

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---



## VYUŽITÍ MĚŘICÍCH PŘÍSTROJŮ TESTO VE STAVENICTVÍ

## MEASUREMENT INSTRUMENTS TESTO FOR BUILDING CONSTRUCTION

**Jaroslav Kmoch**

Testo, s.r.o.

***Anotace:***

*Měřicí přístroje testo umožňují lépe stanovit stav měřeného objektu. Využití měřicích přístrojů testo ve stavebnictví je jednou z hlavních oblastí aplikace těchto měřicích přístrojů. Tento text si bere za cíl informovat o jejich možnostech. Především se jedná o vlhkoměry, teploměry, termokamery, prostup tepla.*

***Annotation:***

*Testo measuring instruments to better identify the status of the object. Applications testo instruments in the construction branch is one of the major areas of usage. This text aims to inform about their options. For example, it is a hygrometers, thermometers, thermal imagers, thermal transmittance*

***Klíčová slova:*** *Testo měřicí přístroje, termokamery, teploměry, vlhkoměry, prostup tepla*

***Keywords:*** *Testo measuring instruments, thermal imager, thermometers, hygrometers*

## 1. Termokamery testo

Termokamery testo a oblasti jejich aplikací nalezneme v nejrůznějších oblastech lidského konání. Mimo jiné je možné termokamery používat také při kontrole staveb. Díky vysoké citlivosti a vysokému rozlišení vytváření termokamery testo velice kvalitní snímky.

### 1.1. Aplikace termokamer

Termokamery převádí infračervené záření do viditelného spektra. Díky tomu je možné zobrazit rozložení povrchových teplot. To znamená, že termokamery se využijí všude tam, kde změna v rozložení povrchové teploty přináší informaci o stavu měřeného objektu. Například se termokamery používají v těchto oblastech:

- Diagnostika staveb
- Diagnostika strojů v průmyslu
- Kontrola elektrických spojů
- Výzkum a vývoj
- Lékařství
- Bezpečnostní složky
- Fotovoltaická zařízení

Termokamery zobrazují pouze teploty na povrchu. Objekty v pozadí termokamery nezobrazují.

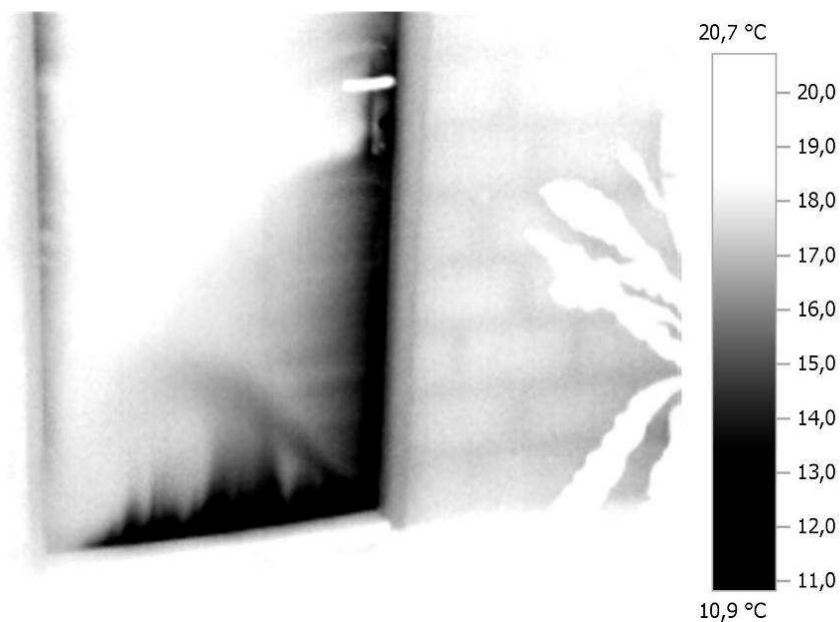
### 1.2. Stavební termografie

Termokamery testo mají dva objektivy jeden pro infračervené spektrum a druhé pro viditelné spektrum. V tomto textu jsou však uvedeny pouze termografické snímky. Uvedeny jsou v černobílé paletě, aby byla zachována jejich věrnost i při černobílém tisku. Barevnou paletu je možné libovolně měnit podle požadavků.

Obrázek 1 zobrazuje panelový dům, jehož levá část je zateplená a pravá není. Mezery mezi panely způsobují tepelné ztráty a povrchová teplota nezateplené části se zvýší. Vyšší teploty jsou zobrazeny jako tmavší oblasti. Na dalším obrázku 2 je uvedeno, jak se na termogramu projeví netěsné dveře. Proudící chladný vzduch z exteriéru snižuje povrchovou teplotu dveří. Díky této změně jsou netěsněná místa snadno rozpoznatelná.



*Obrázek 1.: Termogram zateplené a nezateplené části panelového domu. Levá část je zateplená – má menší povrchovou teplotu. Čím vyšší je teplota povrchu tím tmavší je barva.*



*Obrázek 2.: Termogram Vadného těsnění vchodových dveří. Snímek byl pořízen z interiéru a studený vzduch (tmavá místa) proudil do budovy.*

### **1.3. Technické parametry termokamer**

Pro využití termokamer ve stavebních aplikacích je velice důležité dbát na to, aby byly dodrženy některé důležité parametry termokamer.

- Dostatečně širokoúhlý objektiv, alespoň 30°
- Rozlišení termografického detektoru, alespoň 320 x 240 pixelů
- Teplotní citlivost NETD lepší než 100 mK
- Provozní teplota termokamery od -15°C

### **1.4. SuperResolution**

Všechny termokamery testo mohou být vybaveny funkcí SuperResolution. Tato funkce přináší čtyřikrát vyšší počet naměřených pixelů než kolik jich termokamera fyzicky má. SuperResolution využívá přirozeného chvění ruky během pořizování termografického snímku. Termokamera pořídí sekvenci snímků, ze kterých se ve vyhodnocovacím SW složí snímek s vyšším rozlišením. Funkce využívá mezer na detektoru, které zde musí být z důvodu tepelné izolace. V těchto mezerách se neměří, ale díky pohybu se aktivní část pixelů přemístí do neaktivní části a zde se znova změří teplota.

Díky funkci SuperResolution je možné například s termokamerou s rozlišením 320 x 240 pixelů pořízením snímků s rozlišením 640 x 480 pixelů.

## **2. Vlhkoměry testo**

Společnost testo vlastní patent na kapacitní vlhkostně teplotní čidlo. Toto čidlo měří relativní vlhkost vzduchu a vyniká vysokým rozsahem, vysokou přesností a dlouhodobou stabilitou.

Díky vlhkoměrům testo je možné snadno kontrolovat vlhkost jak vzduchu tak také materiálů. Dlouhodobý záznam vlhkosti napoví hodně o chování uživatele nemovitosti. V zateplených objektech s vyměněnými okny se zpravidla méně větrá. V budově pak dochází k hromadění vlhkosti a tím k nebezpečí vzniku plísní. Pro tento účel se velice hodí použití záznamníků vlhkosti. Vyhodnocením je možné zjistit, jak pravidelně se v nemovitosti větrá. Viz obrázek číslo 3.



*Obrázek 3.: Dlouhodobý monitoring teploty a vlhkosti ve sledované místnosti.*

Další aplikací měřicích přístrojů je měření vlhkosti materiálů. Například pomocí přístroje testo 635 a tenké vlhkostní sondy.



*Obrázek 4.: Měření vlhkosti zdiva pomocí metody rovnovážné vlhkosti.*

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

### 3. Měření prostupu tepla

Měřicí přístroje testo 435 a testo 635 umožňují měření prostupu tepla  $U$  [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ]. Měření probíhá na základě měření tří teplot. Měření teploty v interiéru, v exteriéru a povrchové teploty na povrchu stěny v interiéru budovy. Díky dlouhodobému záznamu těchto tří teplot přístroj vypočítá prostup tepla.

Pro správný výpočet je nutné, aby byl dostatečný teplotní rozdíl mezi interiérem a exteriérem (alespoň  $15^\circ\text{C}$ ) a také není vhodné používat tento přístroj na nové budovy, kde je prostup tepla malý a přístroj má vysokou chybu. U nových budov je většinou přesnější využít dostupné dokumentace a provést výpočet.



Obrázek 5.: Měření prostupu tepla pomocí měření tří teplot

### 3.1. Výpočet prostupu tepla

Výpočet prostupu tepla v přístroji testo 435 a testo 635 probíhá na základě následujícího vzorce:

$$U_{hodnota} = \alpha_i \frac{T_{Li} - T_{Wi}}{T_{Li} - T_{La}} \quad (1)$$

Kde  $\alpha_i$  je hodnota přestupu tepla mezi vnitřní stěnou a vnitřním prostorem. Pro většinu měření je tato hodnota  $7,69\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ .

## 4. Závěr Společnost Testo AG

Německá společnost Testo AG má více jak 55ti-letou tradici ve vývoji a prodeji elektronické měřicí techniky. Nabídka přístrojů je velice široká a proto dceřiná společnost v České republice Testo, s.r.o. doporučuje, kontaktovat své obchodní oddělení pro výběr nejvhodnějšího měřicího přístroje.

## Literatura

Texty byly zpracovány z firemní literatury společnosti Testo AG

## Kontakt

Ing. Jaroslav Kmoch, tel: 00420 733 734 686, e-mail: kmoch@testo.cz, Testo, s.r.o., Jinonická 80, 158 00 Praha 5.

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---



**VYUŽITÍ MAGNETOLEASTICKÉHO  
DYNAMOMETRU DYNAMAG<sup>®</sup>  
PRO MĚŘENÍ MECHANICKÉHO NAPĚTÍ  
V PŘEDPJATÝCH KONSTRUKCÍCH**

**USAGE OF MAGNETOELASTIC DYNAMOMETER  
DYNAMAG<sup>®</sup> FOR MEASUREMENT  
OF MECHANICAL TENSION  
IN PRESTRESSED CONSTRUCTIONS**

**Pavel Obluk, Peter Fabo, Jiří Tkáč**

INSET s.r.o., Divize Ostrava

***Anotace:***

*Magnetoelastický dynamometr DYNAMAG<sup>®</sup> umožňuje bezkontaktní měření mechanického napětí feromagnetických materiálů. Může být s výhodou využíván pro monitoring a diagnostiku stavu předpjatých železobetonových konstrukcí, jako jsou zavěšené a předpjaté mosty, opěrné zdi, prefabrikované železobetonové nosníky a zemní kotvy.*

***Annotation:***

*Magnetoelastic dynamometer DYNAMAG<sup>®</sup> allows non-contact measurement of mechanical tension of ferromagnetic materials. It can be used for both monitoring and diagnostics of the state of prestressed constructions like cable stayed or extradosed bridges, piling walls, prefabricated beams and ground anchors.*

***Klíčová slova:*** *magnetoelastický dynamometr, permeabilita, mechanické napětí, předpjaté konstrukce*

***Keywords:*** *magnetoelastic dynamometer, permeability, mechanical tension, prestressed constructions*

## 1. Úvod

Magnetoelastický dynamometr DYNAMAG<sup>®</sup> je určen k měření mechanického napětí feromagnetických materiálů a může být s výhodou využíván pro monitoring a diagnostiku stavu předpjatých železobetonových konstrukcí, jako jsou např. zavěšené a předpjaté mosty, opěrné zdi, prefabrikované konstrukce a zemní kotvy.

## 2. Měřicí systém DYNAMAG<sup>®</sup>

### 2.1. Fyzikální princip měřicí metody

Fyzikální princip měřicí metody je založen na magnetoelastickém jevu, tedy na měření změn magnetických vlastností feromagnetických materiálů, které jsou způsobeny mechanickým namáháním. Při mechanickém namáhání – tlaku, tahu, torzi nebo ohybu – dochází ke změně tvaru hysterezní smyčky feromagnetického materiálu. Z toho je možno určit změnu permeability, která souvisí s působícím mechanickým napětím. Současným měřením v několika pracovních bodech s různým stupněm magnetického nasycení se získá sít kalibračních charakteristik – závislost relativní permeability  $\mu_r$  na působící síle  $F$ . Inverzní charakteristiku lze již přímo využít pro stanovení síly na základě naměřené hodnoty  $\mu_r$ .

### 2.2. Prvky měřicího systému

Magnetoelastické snímače DSCS mají tvar dutého válce, který se nasune na měřený prvek (ocelová lana, tyče, kabely). Jsou vybaveny elektronickým identifikátorem a přesným teploměrem. Mohou být umístěny ve volných částech předpjatých prvků nebo být zality do betonu. Vyrábějí se standardně v typizovaných nejčastěji používaných rozměrech 20-102 mm, lze však vyrobit i jiný rozměr dle konkrétních požadavků.



Obrázek 1.: Základní řada typizovaných snímačů

Tabulka 1.: Technické parametry snímačů

Typ snímače	Vnitřní průměr	Délka snímače	Vnější průměr	Měřicí rozsah
DSCS20	20 mm	121 mm	35 mm	300 kN
DSCS28	28 mm	182 mm	44,5 mm	600 kN
DSCS33	33 mm	182 mm	54 mm	800 kN
DSCS40	40 mm	220 mm	63,5 mm	1200 kN
DSCS50	50 mm	220 mm	76,1 mm	1900 kN
DSCS65	65 mm	260 mm	88,9 mm	3300 kN
DSCS80	80 mm	260 mm	108 mm	5000 kN
DSCS102	102 mm	260 mm	129 mm	8000 kN

Přenosná měřicí jednotka NT801 je určena k jednorázovým měřením v terénu. Jednotka se připojuje k měřicímu počítači (notebooku), který provádí řízení a vyhodnocování měření. Jednotka NT804 je vybavena čtyřkanálovým multiplexerem a umožňuje připojení 1-4 snímačů.

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---



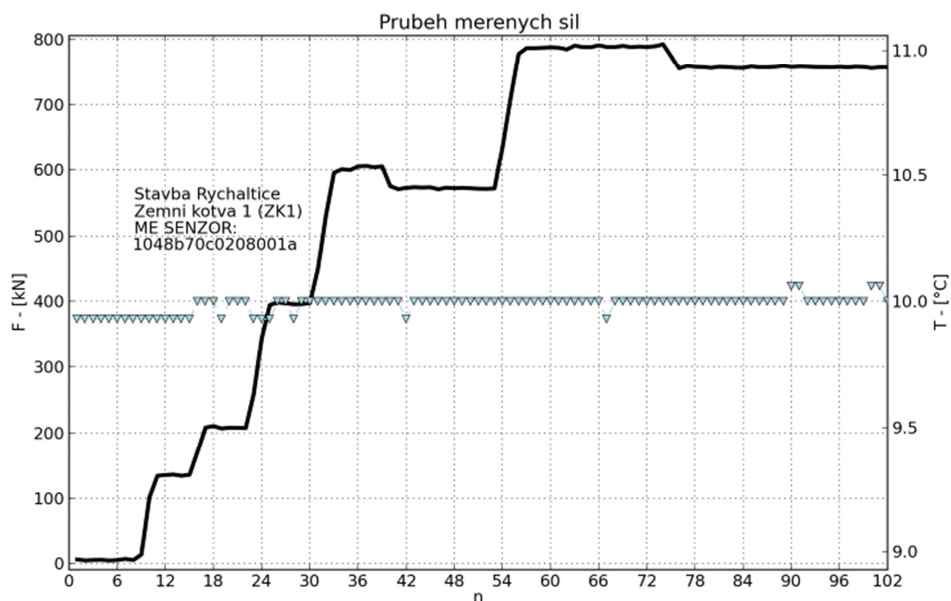
*Obrázek 2.: Přenosná měřicí jednotka*

Modulární měřicí systém zahrnuje měřicí jednotku NT800 a 1-16 multiplexerů MPX804R, z nichž každý umožňuje připojení 4 snímačů DSCS. Jednotlivé komponenty jsou připraveny k montáži na DIN lištu do rackových systémů. Měřicí systém je určen pro dlouhodobý monitoring stavebních konstrukcí.



*Obrázek 3: Modulární stacionární systém*

Měřicí systém je vybaven uživatelským softwarem, který automaticky vytváří výstupy z naměřených hodnot ve formě grafů. Umožňuje pořízení přehledného záznamu z procesu napínání předpjaté konstrukce i zobrazení vývoje napětí dlouhodobě monitorovaných prvků v konstrukci přímo na místě.



Obrázek 4: Záznam z napínacího procesu zemní kotvy

### 2.3. Možnosti využití

Měřicí systém DYNAMAG® lze využít ke kontrole stavu nejrůznějších předpjatých konstrukcí, jako jsou zemní kotvy, nosníky a desky, železobetonové konstrukce, zavěšené a předpjaté mosty. Lze sledovat samotný předpínací proces a dodržení předepsaného technologického postupu, provádět jednorázové či periodické kontroly stavu konstrukce nebo dlouhodobý kontinuální monitoring. Měřicí systém je možné začlenit do komplexního monitorovacího systému (Bridge Monitoring System) a využít pro pravidelnou diagnostiku sledovaných konstrukcí.

## 2.4. Aplikace

Měřicí systému DYNAMAG<sup>®</sup> byl aplikován na řadě staveb v ČR, SR i zahraničí. K nejvýznamnějším aplikacím patří:

- kontrola napětí v trvalých a dočasných zemních kotvách na stavbě tunelu Blanka v Praze
- kontinuální monitoring napětí v zemních kotvách na železničním tunelu Turecký vrch v Novém Meste nad Váhom
- kontrola napětí v zemních kotvách osazených v opěrné stěně podél rychlostní komunikace R1 Nitra
- kontrola napětí v konstrukci protipovodňové hráze v přístavu Mělník
- kontrola napětí v táhlech zavěšeného mostu v průmyslové zóně Třinec-Baliny
- monitoring napětí v dodatečné předpínací výztuži mostu v Chotěbuzi během statické zatěžovací zkoušky
- kontinuální monitoring napětí v závěsech střechy stadionu ve Vancouveru, sloužící k automatickému řízení odolnosti střešní konstrukce vůči sněhové zátěži

## 2.5. Výhody měřicího systému

Výhodou měřicího systému DYNAMAG<sup>®</sup> je především vysoká odolnost snímačů a dlouhodobá použitelnost v náročných terénních podmínkách. Odolávají působení tlakové vody, agresivnímu zemnímu prostředí, vlivům eroze a počasí. Vzhledem k tomu, že se jedná o bezkontaktní nedestruktivní metodu, není nutné zasahovat do měřené konstrukce a měření lze realizovat bez přímého fyzického kontaktu, např. přes antikorozi ochranu. Snímače mohou být zality v betonu a kompletně zakryty v rámci dalších technologických procesů výstavby.

## 3. Závěr

Měřicí systém DYNAMAG<sup>®</sup> nalezne uplatnění zejména v oblasti diagnostiky a dlouhodobého monitoringu stavu sledovaných konstrukcí v náročných terénních podmínkách.

## Literatura

- [1] Praščák, M., Fabo, P.: Advanced method of the electromagnetic sensors calibration. In: Advance in Electrical and Electronic Engineering – Vol. 3, No. 2 (2004) Žilina, pp. 247-248.
- [2] Fabo, P, Blažek, P., Tkáč, J., Obluk, P., Turčák, J.: Měření vývoje sil v kotvách pomocí magnetoelastického dynamometru Dynamag. In Sborník příspěvků 15. mezinárodního semináře Zpevnování, těsnění a kotvení horninového masivu a stavebních konstrukcí 2010, Ostrava, pp. 115-117.

## Kontakt

RDNr. PAVEL OBLUK, tel: 420596123565, e-mail: obluk.pavel@inset.com, INSET s.r.o., Divize Ostrava, Rudná 21, 700 30 Ostrava.

RNDr. PETER FABO, PhD., e-mail: peter.fabo@dynamag.com, DYNAMAG-GROUP a.s., Kožušnicka 7, 911 05 Trenčín.

Ing. JIŘÍ TKÁČ, tel: 00420 596 123 565, e-mail: tkac.jiri@inset.com, INSET s.r.o., Divize Ostrava, Rudná 21, 700 30 Ostrava.

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---





## New NDT instruments for construction industry.

### Trends in development.

Presented by Mr. Lubos Misak






### List of content:


- Section 1 ..... Company Proceq
- Section 2 ..... NDT for Compressive Strength
- Section 3 ..... NDT of Rebars
- Section 4 ..... NDT Ultrasonic measurements
- Section 5 ..... Pull-off testing
- Section 6 ..... NDT of Rebar Corrosion
- Section 7 ..... NDT of Resistivity
- Section 8 ..... NDT of Permeability
- Section 9 ..... New Trends








## Company Proceq

Section 1



Company Overview

- Proceq SA, derived from the terms **PRO**cesses and **E**quipment
- Founded in 1954
- Head office in Schwerzenbach, Switzerland
- Subsidiaries worldwide (Europe, UK, USA, Asia, China, Middle East, Brazil, Russia)
- Distribution network through a worldwide network of subsidiaries and partners
- Innovative in-house Technology department
- ISO 9001 certificate since 1994
- 98 employees worldwide (75 in head office, 23 in subsidiaries)

4

Company Mission

- **Innovative** and **Leading** Market Player
- **Portable, Precise** and **Professional** Instruments for **Non-Destructive Testing**
- Main Industries:
  - **Concrete** / Construction
  - **Metal Working**
  - **Paper & Film** Production






5

Typical Customer Segments

**Concrete**

- Contractors
- Civil Engineers, Consultants
- Quality Control, Site Supervision
- Geologists
- Laboratories
- University, Education and Research Establishments

**Paper & Film**

- Paper Production
- Film Production
- Printing Industry




**Metal**

- Metal Production and Processing
- Machinery and Power Plants
- Aerospace and Shipyards
- Automotive and Transportation
- Petrochemical and Refineries
- Testing Services and Laboratories
- University, Education and Research Establishments





6



## NDT for Testing Compressive Strength


Section 2

**proceq**

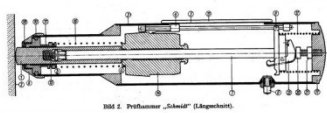
### Original Schmidt Development

The Original Schmidt rebound hammer was invented and patented by Mr. Ernst Schmidt more than 60 years ago.

Design changed with the time, but principle remain same.



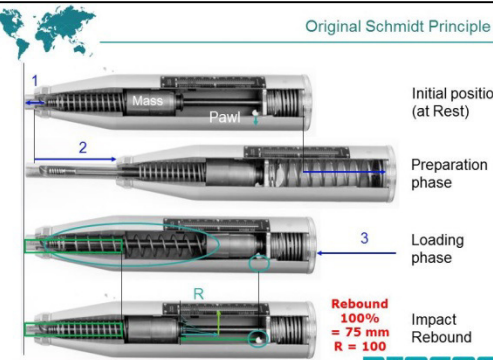
nach 60 Jahren?



First Model used

**proceq**

### Original Schmidt Principle

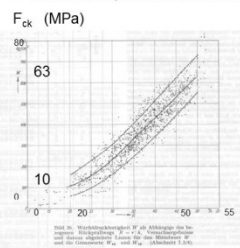


**Rebound 100% = 75 mm R = 100**

**proceq**

### Correlation Rebound R vs. Compressive Strength $f_{ck}$

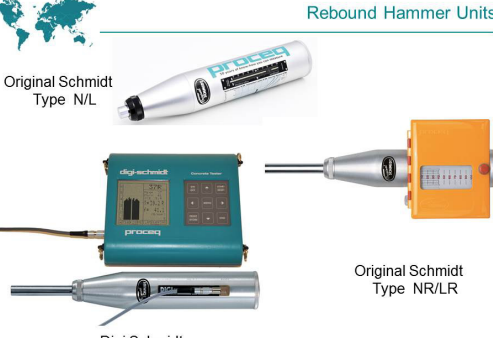
- Standard conversion curves based crushing over 2'000 concrete samples
- Still used today in over 60 countries



Conventional rebound hammers measurements are significantly affected by gravity.

**proceq**

### Rebound Hammer Units



**proceq**


### Different Models of Rebound Hammers



**proceq**

55 years later..... SilverSchmidt

**A unique design.....**



Sealed

Tip contact

Cut away USB connector with cover that fits into the anvil

Single button operation

Housing can be separated into two parts

Housing is a rounded triangle – does not roll

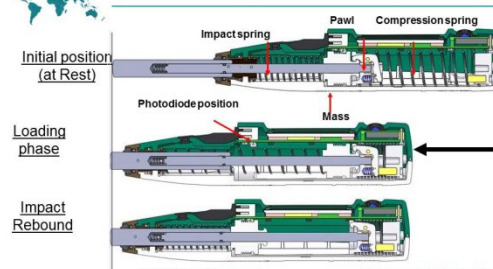
Graphical/numerical display showing Unit – Measurement – Counter

Pseudo analog display.

13

proceq

SilverSchmidt Measurement Principle



Initial position (at Rest)

Impact spring

Pawl

Compression spring

Photodiode position

Mass

Loading phase

Impact Rebound

Impact velocity

Rebound velocity

$Q = 100x$

Energy (restored)

Energy (impact)

14

proceq


Silver Schmidt – Very Low Maintenance Factor

- **Sealing:** Dust and dirt which is a typical problem in conventional rebound hammers has been practically eliminated in the SilverSchmidt by the use of seals.
- **Calibration:** A conventional rebound hammer typically requires re-calibrating after 1000 impacts.
- The SilverSchmidt automatically checks the calibration by measuring the standard impact energy (e.g. 2.207 Nm) each and every impact.
- **Life Expectancy:** The life expectancy of the impact spring in the SilverSchmidt has been increased to >10'000 impacts.


(We have example of hammers lasting up to 15'000 and even 19'000 Impacts without maintenance!)

- The impact spring in a conventional rebound hammer is good for around 5000 impacts before it needs replacing.

> 10'000



< 5000




15

proceq

User Benefits – Intelligent Operation

**The new SilverSchmidt Menu**


Single shot    Statistics    Review list    Reference curve    Units    Form factor    Carbonation



16

proceq

Schmidt OS-120PT Applications



The Schmidt OS-120PT has an impact energy of 0.833 Nm (0.614 ft lbf).

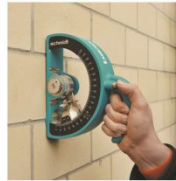
He is well suited to test on any concrete structure or element with a compressive strength between 1 MPa (1'45 psi) and 10 MPa (1'450 psi). Therefore the OS-120PT is often used to measure the compressive strength at the time of formwork removal. E. g. the Austrian Guideline for inner linings of tunnels specifies a compressive strength between 2 MPa (290 psi) and 3 MPa (435 psi). However, with the OS-120PT tests can only be done on horizontal and vertical surfaces.

Measurements with the OS-120PT on a vertical front face surface of an inner tunnel lining

17

proceq

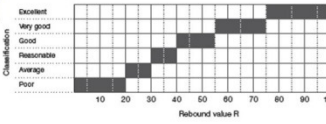
OS-120PM Application



The Schmidt OS-120PM has an impact energy of 0.833 Nm (0.614 ft lbf).

He is well suited to test the mortar quality of joints in brick walls.

Based on the rebound value the client can classify the mortar joints either by his own experience or he may use the classification chart provided with the operation instructions.



The test procedure is based on the TNO Report BI-88-009/61.8.2060-VOE from IBBC Delft Netherlands (Mortar joint testing).

18

proceq

### Schmidt Family Applications

	Concrete Compressive Strength Range				
	1 - 5 MPa 145 - 725 psi	5 - 10 MPa 725 - 1,450 psi	10 - 20 MPa 1,450 - 4,381 psi	20 - 100 MPa 4,381 - 10,153 psi	> 100 MPa > 14,504 psi
	Fresh Concrete Very Low Strength Concrete		Normal Concrete	High Strength Concrete	Ultra High Performance Concrete
<b>SilverSchmidt</b>			SilverSchmidt ET-PC Type M SilverSchmidt ET-PC Type L		Only with user defined custom curves
<b>Original Schmidt Digi-Schmidt</b>		SilverSchmidt PC Type L with Multiscore Plunger			
<b>Schmidt OS-120</b>			Original Schmidt Type N/ND/NE Original Schmidt Type L/LD/LR		
	Schmidt OS-120FT				

**Type M:** Standard impact energy. Test object should have a minimum thickness of 100 mm (3.9") and be firmly fixed in the structure.  
**Type L:** Low impact energy. Suitable for brittle objects or structures less than 100 mm (3.9") thick.

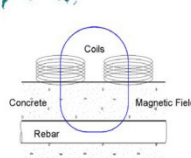
**proceq**

## Rebar detection

Section 3

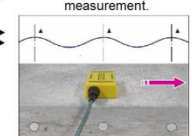
**proceq**

### Measurement Method



The pulse-induction method is using the coils in the probe, which are periodically charged by current pulses and thus generate a magnetic field. On the surface of any electrically conductive material which is in the magnetic field eddy currents are produced. They induce a magnetic field in opposite direction. The resulting change in voltage can be utilized for the measurement.

Beep  
Signal strength displayed here as curve. Available as Signal Value, Vaniscore and Flow Bar.




Moving direction of probe

**proceq**

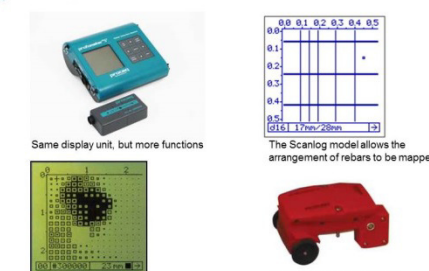
### Measuring Possibilities of Pulse Induction Method

- Pulse induction method is well suited for detecting first and second layer of rebars.
- The functions are:
  - Detection of rebar location (up to 180 mm depth)
  - Measuring the Diameter of the rebar (up to 65 mm depth)
  - Cover depth measuring (up to 180 mm depth)

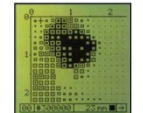


**proceq**

### Profometer 5+ Model SCANLOG



Same display unit, but more functions



Display of concrete cover of a large area


The Scanlog model allows the arrangement of rebars to be mapped out

Probe attached to ScanCar

**proceq**


### Profoscope(+) Rebar Detection

**Searching for Rebars**



Arrows indicate proximity of rebars off-screen

**Rebar has been centered**



Diameter Estimation

**proceq**

### Profoscope(+) Rebar Location / Mid Point

Rebar detectors

**How to distinguish between a rebar and a "midpoint"?**  
This feature is a world's first and only available from Proceq

WHEN CENTERED RED LED IS ON

LED OFF

WHEN CENTERED RED LED IS ON

25

proceq

### Ultrasonic measurements on concrete

Section 4

26

proceq

### Ultrasonic Pulse Velocity Principle

$$V = \frac{L}{\Delta t}$$

Pulse velocity is determined by measuring the transmission time and the distance between the probes.

For concrete it is typically between 3000 m/s and 5000 m/s.

27

proceq

### P-Wave and S-Wave Movement

28

proceq

### Ultrasonic Testing of Concrete

- The ultrasonic pulse velocity in a material depends on its density and its elastic properties, which in turn are related to the quality and the compressive strength of the material.

It is therefore possible to obtain information about the properties of concrete structures by ultrasonic investigations:

- Uniformity of the concrete
- Cavities, cracks, defects due to fire and frost
- Thickness of structure (if US-velocity known)
- Modulus of elasticity
- Concrete strength (US and Sonreb)

29

proceq

### Measuring with Shear Wave Transducers

The waveform display **MUST** be used to manually locate the onset of the shear wave echo, as it is always preceded by a relatively weak longitudinal echo


The diagram shows a typical echo signal obtained, with an experimental setup according to figure 1. The first echo arrives at approximately 25.4 μs and corresponds to the weak longitudinal wave generated by the shear wave transducer. After 50.6 μs the much stronger shear wave echo appears in the signal.

30

proceq

**PC Software – Pundit Link**

- Included as standard. (English, German, French, Spanish, Italian, Portuguese, Russian and Chinese)
- Up to 500 Measuring Series can be stored and transferred to the PC
- Export to third party software in tabular form or in graphical form.
- "Live view" mode allows remote control of all parameters and waveform display directly on PC including manual setting of trigger point.



- Calculator for E-modulus and Poisson's Ratio.
- Programmable data logging for applications such as monitoring of curing rates.
- Programming of user defined curves for compressive strength (Pundit Lab+).

31 **proceq**

**Pull-off testing**


Section 5

**proceq**

**Overview of Mess Method and applications**


Overview:

- To check the quality of adhesion and adhesive strength of different materials (concrete, plaster work, coatings, color, etc.) depending on customer specifications.
- To check the surface strength of concrete and other materials



Automatic instrument


**Manual Instrument**



33 **proceq**

**Automatic Instrument**

- Fully automated motor driven pull-off tester with load rate control
- Maximum load of 25 kN / Maximum hub of 5mm
- Accuracy: Class 1 possible. (1%)
- 2 or 3-leg configuration possible. Adaptor plate for large test discs.
- Battery driven with a capacity for about 80 cycles Rechargeable via USB in 3h
- Contrast rich OLED Display with 128x64
- Intuitive user interface / language independent.
- Automatic conversion in desired units



34 **proceq**

**Failure Mode Recording - ASTM C1583**

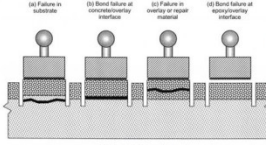


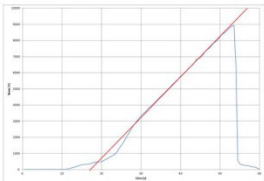
FIG. 3 Schematic of Failure Modes

- Record the failure mode as
  - (a) in the substrate,
  - (b) at the bond line between the substrate and the repair or overlay material,
  - (c) in the repair or overlay material, or
  - (d) at the bond line between the repair or overlay material and the epoxy adhesive used to bond the steel disk.
- If failure occurs at the bond line between the steel disk and the epoxy adhesive, discard the test result and perform another test.

35 **proceq**

**Load Rate diagram in software integrated**

- A constant load rate is the key parameter to obtaining repeatable results in pull-off testing.
- DY-225 is unique in being able to save the load development curve and print it out for reports
- For the first time users can prove the load rate they applied to the test disc.
- DY-225 is the only instrument to provide a complete record of a pull-off test.
- It is the only instrument that can guarantee the test was carried out according to the requirements of the standard.




36 **proceq**

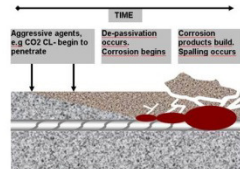


## Testing of Rebar Corrosion

Section 6






## Corrosion of Rebars in Concrete

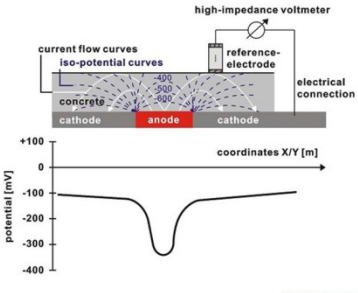


- Concrete is highly alkaline (pH ca. 13-14), causes a passive oxide layer to form on rebar – slowing corrosion to almost zero
- Acidic gases in air, carbon dioxide and sulfur dioxide penetrate the concrete and cause loss of alkalinity. With air and moisture present, steel corrodes
- Corrosion process leads ultimately to a total failure of the structure.
- In the first stage, aggressive elements such as chloride or carbon dioxide penetrate into the structure.
- On reaching the rebars, high concentrations of these aggressive elements attack the passive layer of hydrated iron oxide that protects the rebar against corrosion.
- If moisture and oxygen is present, rust begins to form which eventually leads to structural failure.



38

## Measuring Principle of Half Cell Measurement




39





## Measurement Procedure


Connection to the steel bar




Rode electrode





The Canin+ 4-wheel electrode system is the fastest corrosion survey



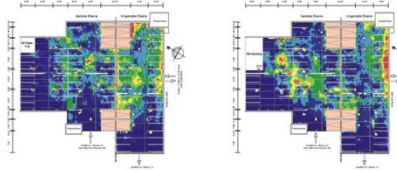
One wheel electrode



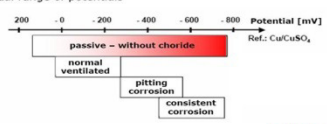
40


## Results in ProVista Software



usual range of potentials



41




## Resistivity of concrete

Section 8



### Resipod Measuring Principle

A current is applied to the two outer probes and the potential difference is measured between the two inner probes. The current is carried by ions in the pore liquid. The calculated resistivity depends on the spacing of the probes.

Resistivity  $\rho = 2\pi aV/I$  [kΩcm]

43

proceq

### Applications

- The AASHTO TP 95 – 11 describes the measurement of chloride penetration (on saturated concrete)
- Resistivity of dry concrete (samples of different shape)
- The Impedance relation to humidity in concrete
- Checking the cover concrete on corrosion resistance (together with Corrosion analysis instrument)

44

proceq

### Measuring Resistivity with Resipod

The concrete surface must not be coated with any electrically insulating coating and it should be clean. The rebar grid beneath the surface should be marked out with the help of a rebar locator. (E.g. Profoscope)

Dip the contacts in water several times before making a measurement.

Press the Resipod firmly down until the outer two rubber caps rest on the surface to be tested

45

proceq

### Resipod Bulk Resistivity, Results Interpretation

A further application with Resipod is the Bulk Resistivity measurement. In this case the resistivity is measured between metal plates at either end of the cylinder. The measurement is very quick and the geometry factor is simple.

$$\rho = K \cdot R_{\text{cylinder}}$$

where  $K = \text{Area}/\text{Length}$

- > 20 kΩ cm Low corrosion rate
- 10-20 kΩ cm Low to moderate corrosion rate
- 5-10 kΩ cm High corrosion rate
- < 5 kΩ cm Very high corrosion rate

46

proceq

### Permeability of concrete

Section 8

47

proceq

### Covercrete

Aggressive agents: e.g.  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_4$

- The "Covercrete" is the layer of concrete that protects the rebars from aggressive elements that cause corrosion.
- The quality of this covercrete layer is affected greatly by the quality of the installation.
- It is typically of poorer quality than the inner concrete due to segregation, compaction, curing, bleeding, finishing and microcracks.
- The permeability of this layer is a major factor in determining the durability of the structure.

48

proceq





### Measuring principle

**Vacuum Cell Cross Section**

- By means of a vacuum pump, a partial vacuum is created in a test chamber and in a surrounding guard chamber, both of which are open against the concrete surface.
- Once achieved, the connection between the test chamber and the vacuum pump is hermetically sealed.
- During the test, the pressure in the guard chamber is regulated to keep it equal to the pressure in the test chamber.
- The pressure rise in the test chamber, induced by the flow of air through the concrete, is measured as a function of time.
- The air permeability is calculated from the variation in pressure over time and other parameters.

49 **proceq**

### Results

Quality of cover concrete	Index	kT(10-16m2)
very bad	5	> 10
bad	4	1.0 - 10
normal	3	0.1 - 1.0
good	2	0.01 - 0.1
very good	1	< 0.01

Applicable to dry concrete only.

When the concrete is „moist“, this Nomogram is used to determine the quality class of cover concrete, by combining the permeability co-efficient (kT) with the resistivity ( $\rho$ ) measurement.

**The resistivity may be measured with a Resipod.**

50 **proceq**

## New trends

Section 9

**proceq**

### Applications

#### Portable Ground Penetrating Radar (GPR): Handy Search

The Handy Search portable Ground Penetrating Radar (GPR) system incorporates radar technology enabling users to conduct surveys deeper into a concrete structure for high resolution sensing of **rebars** and other **metallic and non-metallic objects**. Understanding and pinpointing the location of these objects is critical to avoid the potential problem of accidentally cutting through a rebar, electrical conduit, gas pipes or plumbing. The Handy Search can also detect voids within the concrete structure.

The device radiates electromagnetic waves through a concrete surface and catches reflected waves from embedded objects that have different electrical characteristics than concrete. Object location and depth are then recorded and displayed as simple image data.

52 **proceq**

## Thank you for your attention

Lubos Misak

**proceq**

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

**Poznámky:**

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

**Poznámky:**

**Poznámky:**

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

**Poznámky:**

**Poznámky:**

1. – 2. října 2013

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

---

Vysoké učení technické v Brně



Sborník recenzovaných příspěvků konference  
ZKOUŠENÍ A JAKOST VE STAVEBNICTVÍ 2013  
[www.zkouseniajakost.cz](http://www.zkouseniajakost.cz)

1. - 2. října 2013, Fakulta stavební VUT v Brně

Editor:  
Ing. Věra Heřmánková, Ph.D.  
Náklad: 130 ks

Rok vydání: 2013

Kontaktní adresa:  
VUT v Brně, Fakulta stavební  
Ústav stavebního zkušebnictví  
Veveří 95, 602 00 Brno

ISBN 978-80-214-4777-6