

Nové silniční cementy pro CBK a kompozitní kluzné trny

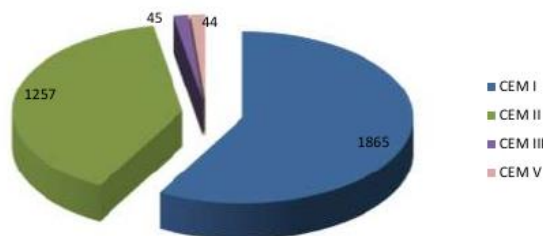
*Prof. Vít Šmilauer / Dr. Martin Doškář
ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra mechaniky*

Nové silniční cementy pro CBK

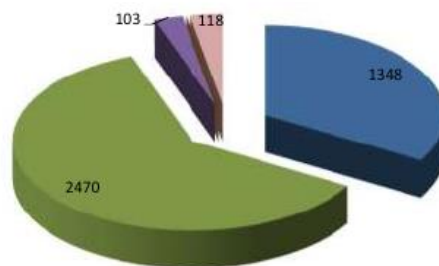
Proč nové cementy

Celosvětově náhrada slínku minerálními příměsmi (energie, cena, CO₂)

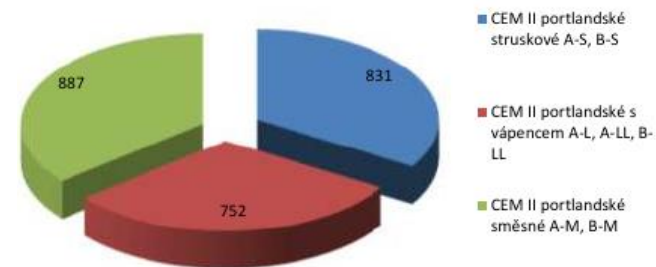
Podíl cementů 2015 v ČR



Podíl cementů 2022 v ČR



Cementy CEM II 2022 v ČR



SVAZ VÝROBCŮ CEMENTU ČR

ČSN EN 197-1

Hlavní druhy cementu		Obsah hlavních složek			Standard ČSN EN
		Slínek	Dalších hlavních složek ¹⁾	Doplňující složky	
CEM I	Portlandský cement	95-100	0	0-5	197-1
CEM II/A-D	Portlandský cement směsný	90-94	6-10	0-5	
CEM II/A		80-94	6-20	0-5	
CEM II/B		65-79	21-35	0-5	
CEM II/C		50-64	36-50	0-5	197-5
CEM III/A	Vysokopecní cement	35-64	36-65	0-5	197-1
CEM III/B		20-34	66-80	0-5	
CEM III/C		5-19	81-95	0-5	
CEM IV/A	Pucolánový cement	68-89	11-35	0-5	
CEM IV/B		45-64	36-55		
CEM V/B	Směsný cement	40-64	18-30	0-5	197-5
CEM V/A		20-38	31-49	0-5	
CEM VI		35-49	31-59	0-5	

Poznámka: 1) bez rozlišení jejich druhu

S = vysokopecní struska
 D = křemičitý úlet
 P = přírodní pucolán
 Q = kalcinovaný pucolán
 T = kalcinovaná břidlice
 V = křemičitý popílek
 W = vápenatý popílek
 L,LL = vápenec
 M = více příměsí (multiple)

ČSN EN 197-5

Pevnostní třída	Pevnost v tlaku MPa			
	Počáteční pevnost		Normalizovaná pevnost	
	2 dny	7 dnů	28 dnů	
32,5 N	-	≥ 16,0	≥ 32,5	≤ 52,5
32,5 R	≥ 10,0	-		
42,5 N	≥ 10,0	-	≥ 42,5	≤ 62,5
42,5 R	≥ 20,0	-		
52,5 N	≥ 20,0	-	≥ 52,5	-
52,5 R	≥ 30,0	-		

CEM II/A-S 42,5 N
 CEM II/B-S 42,5 N
 CEM II/B-M (S-LL) 42,5 N

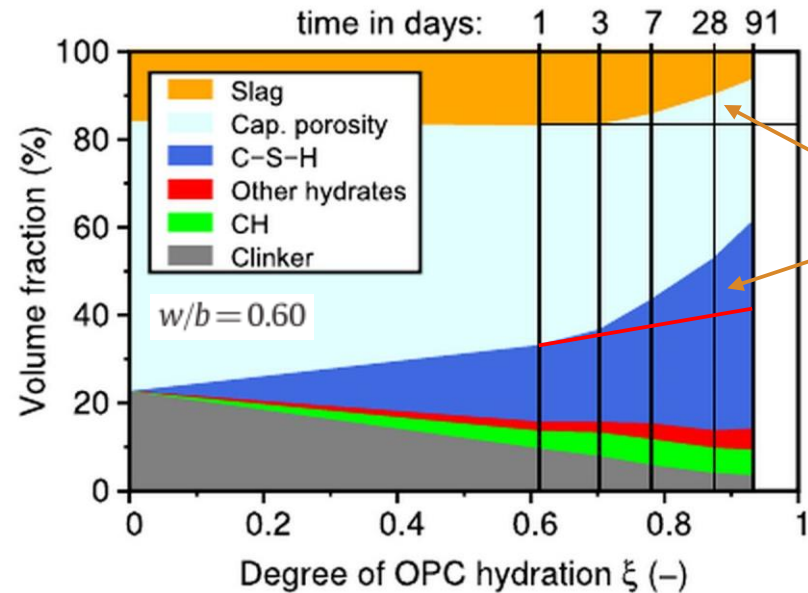
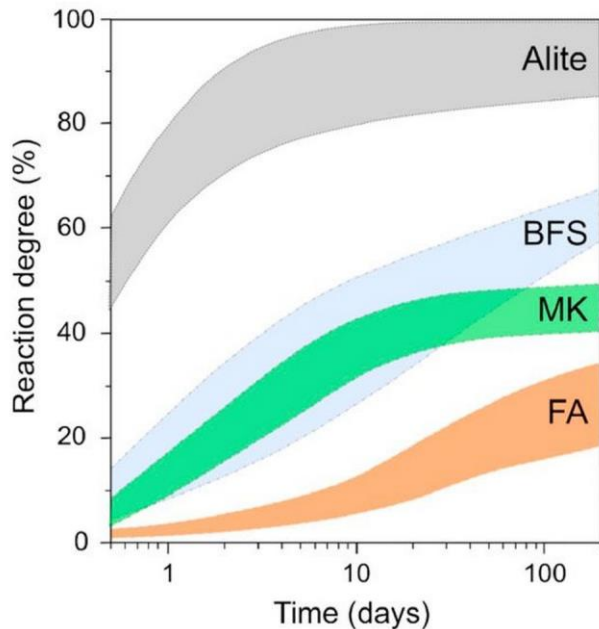
Vhodné minerální složky cementu pro CBK v ČR

Vysokopecní mletá granulovaná struska (A-S, B-S) – výborná trvanlivost

Mikromletý vápenec – zhoršuje mrazuvzdornost, jemné částice **NE**

Úletový popílek – SCR/SNCR → amoniak, velká variabilita **NE**

Metakaolin a kalcinované jíly – obecně snížení mrazuvzdornosti **NE**



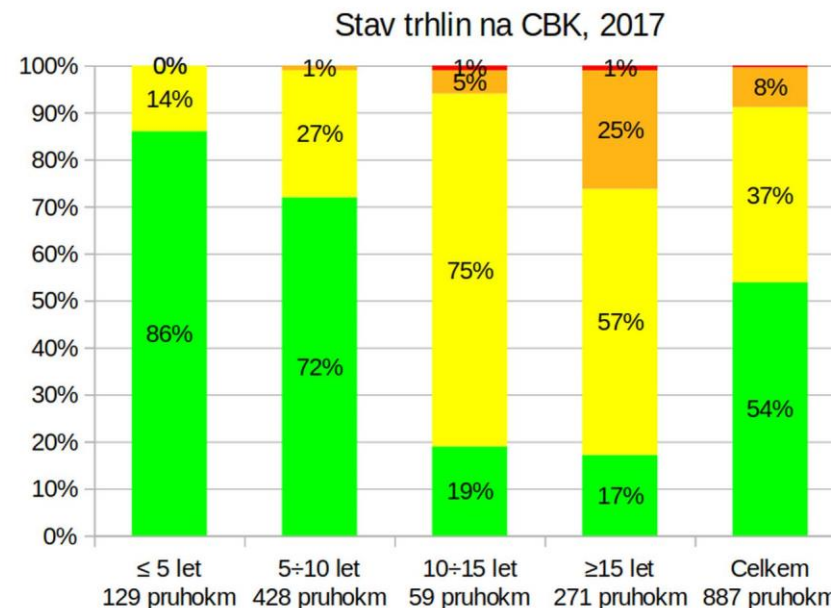
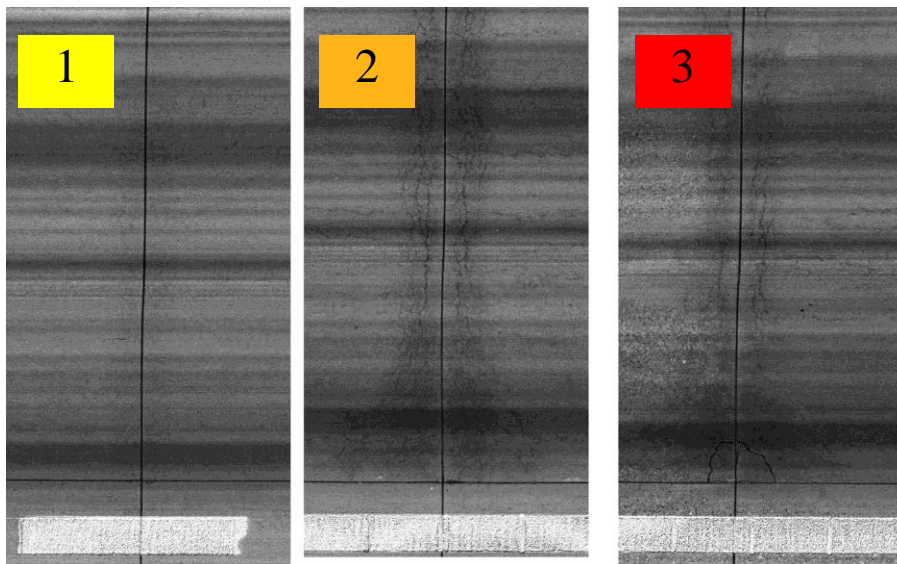
Latentně-hydraulická reakce strusky

[J. Skibsted and R. Snellings: Reactivity of SCMs in cement blends, ICCI 2019]

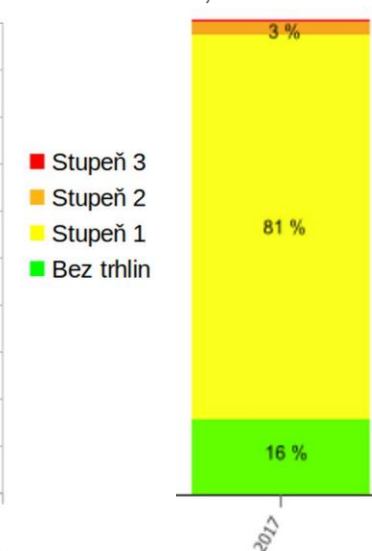
[M. Hlobil, V. Šmilauer, G. Chanvillard. Cement and Concrete Research. 2016]

Proč nové cementy

1998: ukončení výroby silničního cementu CEM I 32,5 R Maloměřice
 Nástupce CEM I 42,5 R sc Mokrá → síťové trhliny na povrchu CBK
 Životnost CBK zkrácena z ~50 let na ~30 let → vhodnější cementy ?



D1 km 93,74-95,03,
 *1979, 38 let



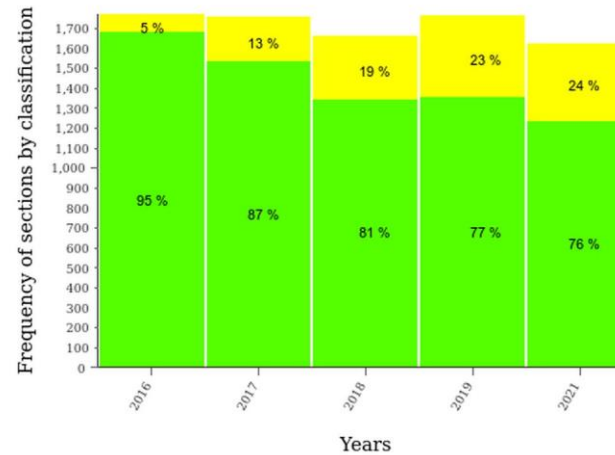
Příklad výskytu povrchových trhlin

D0 km 75,240 - 78,600, *2009

2019



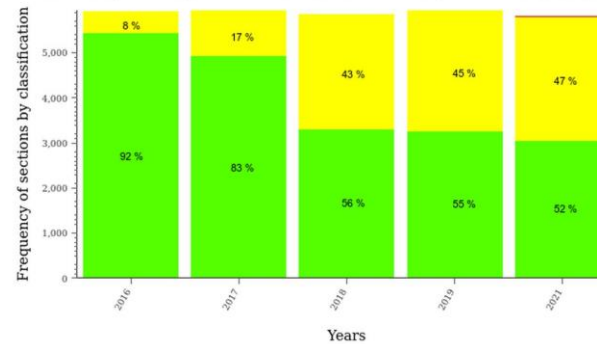
2019



STATISTICS

Classification	2016			2017		
	Sections	Length	%	Sections	Length	%
0	1 684 x	3.350 km	95 %	1 538 x	3.071 km	87 %
1	92 x	0.183 km	5 %	221 x	0.441 km	13 %
2	0 x	0.000 km	0 %	0 x	0.000 km	0 %
3	0 x	0.000 km	0 %	0 x	0.000 km	0 %
Total	1 776 x	3.533 km		1 759 x	3.512 km	

Mikrotrhliny according to the classification within the range selected in the map



STATISTICS

Classification	2016			2017			2018		
	Sections	Length	%	Sections	Length	%	Sections	Length	%
0	5 433 x	10.811 km	92 %	4 927 x	9.837 km	83 %	3 305 x	6.574 km	56 %
1	500 x	0.995 km	8 %	1 028 x	2.052 km	17 %	2 547 x	5.067 km	43 %
2	0 x	0.000 km	0 %	2 x	0.004 km	0 %	17 x	0.034 km	0 %
3	0 x	0.000 km	0 %	0 x	0.000 km	0 %	1 x	0.002 km	0 %
Total	5 933 x	11.806 km		5 957 x	11.893 km		5 870 x	11.677 km	

ČSN 73 6123-1 (2014) → revize 2025

Tabulka 3 – Doplnující vlastnosti cementů do vozovkových betonů

Druh zkoušky	Parametr pro skupinu cementobetonových krytů	
	CB I	CB II, CB III
Ztráta žiháním (platí jen pro CEM I)	max. 3,5% hmotnosti cementu	Bez požadavku
Obsah trikalciinaluminátu C ₃ A ve slínku (C ₃ A = 2,65 Al ₂ O ₃ – 1,69 Fe ₂ O ₃)		
CEM I	max. 8%	Bez požadavku
CEM II/A-S	max. 10 %	
CEM II/B-S	max. 12 %	
Počátek tuhnutí	min. 2 h	
Jemnost mletí (Blaine)		
– pro CEM I	max. 300 m ² ·kg ⁻¹	max. 450 m ² ·kg ⁻¹
– pro CEM II/A-S	max. 350 m ² ·kg ⁻¹	
– pro CEM II/B-S	max. 400 m ² ·kg ⁻¹	
– pro CEM I pro kombinaci s příměsí MGVS	max. 340 m ² ·kg ⁻¹	
Na ₂ O _{ekv.} ^{a)}		
– pro CEM I	max. 0,80 %	Bez požadavku
– pro CEM II/A-S	max. 0,85 %	
– pro CEM II/B-S	max. 1,00 %	

Omezení TP137 – max. 3,5 kg/m³

Rizikovitost kameniva (viz tab. 2)	Nízká	Střední	Vysoká
	obsah Na ₂ O eq. na 1 m ³ betonu		
Vhodnost do prostředí	E1	bez omezení	bez omezení
	E2	max. 4,5 kg/m ³ ²⁾	max. 3,5 kg/m ³ ¹⁾
	E3	max. 3,5 kg/m ³ ¹⁾	max. 2,5 kg/m ³ ¹⁾

Tabulka 7 – Ztvrdlý beton Cement 350-420 kg/m³

Vlastnost	Požadavky pro cementobetonové kryty		
	CB I	CB II	CB III
Třída pevnosti v tlaku podle ČSN EN 206	C 30/37		C 25/30
Třída pevnosti v tahu ohybem (zkoušeno podle ČSN EN 12390-5:2020, obrázku 1) ^{a)}	F 4,5 ^{b)}		F 4,0
Třída pevnosti v příčném tahu na válcích (zkoušeno podle ČSN EN 12390-6)	nepředepisuje se		
Třída pevnosti v příčném tahu na krychlicích (zkoušeno podle ČSN EN 12390-6)	S 3,0		S 2,7
Třída pevnosti v příčném tahu (zkoušeno na válcových kotoučích podle ČSN EN 13863-6)	nepředepisuje se		
Stupeň vlivu prostředí podle ČSN EN 206	XF4, XD3		podle dokumentace
Odolnost povrchu proti zmrazování a rozmrazování podle ČSN 73 1326 ^{c)} metoda A/metoda C			podle dokumentace
– nejmenší počet cyklů	100/75	75/50	
– maximální odpad (g/m ²)	1000	1000	
Maximální součinitel prostorového rozložení vzduchových pórů podle ČSN EN 480-11 [mm]	0,24	0,24 ^{d)}	nepředepisuje se

^{a)} Vyžaduje se pouze, je-li předepsáno v dokumentaci stavby.

^{b)} Pro letiště mohou platit zvýšené požadavky.

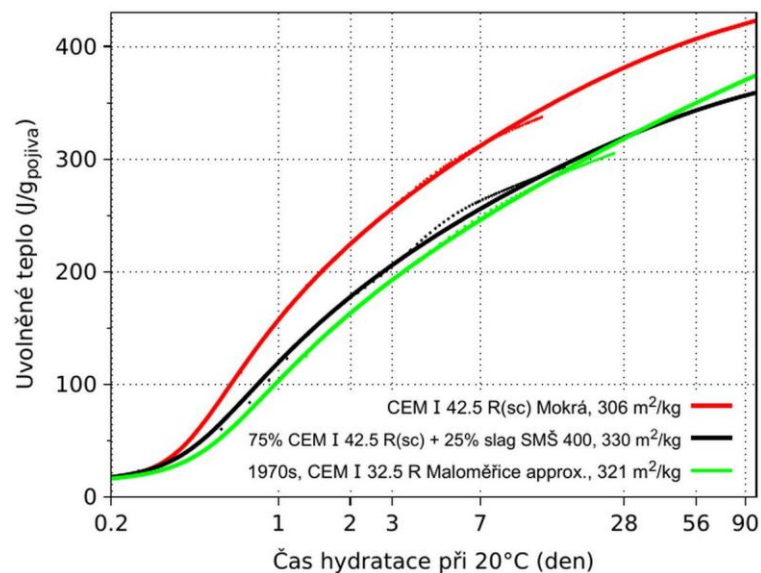
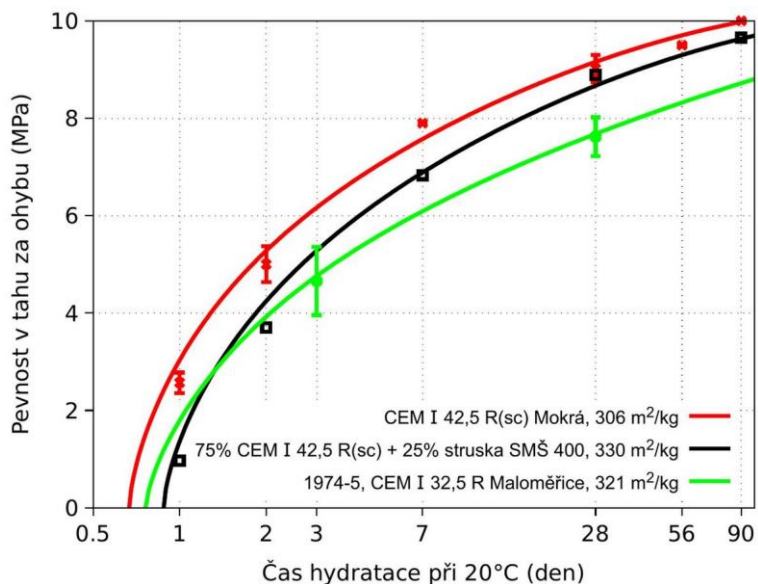
^{c)} Metoda stanovení odolnosti proti zmrazování a rozmrazování se stanoví ve smlouvě.

^{d)} Parametr je pro CB II doporučený.

Vývoj rychlosti hydratace cementů

Po roce 1998 došlo k ~2-3× zrychlení hydratace → mapové trhliny

Pilotní úsek D1 0137 Přerov-Lipník CEM II/B-S 42,5 N (černě)



Pasta v/c=0.40. Stav po 14 dnech vysychání



CEM I 32,5R
250 m²/kg

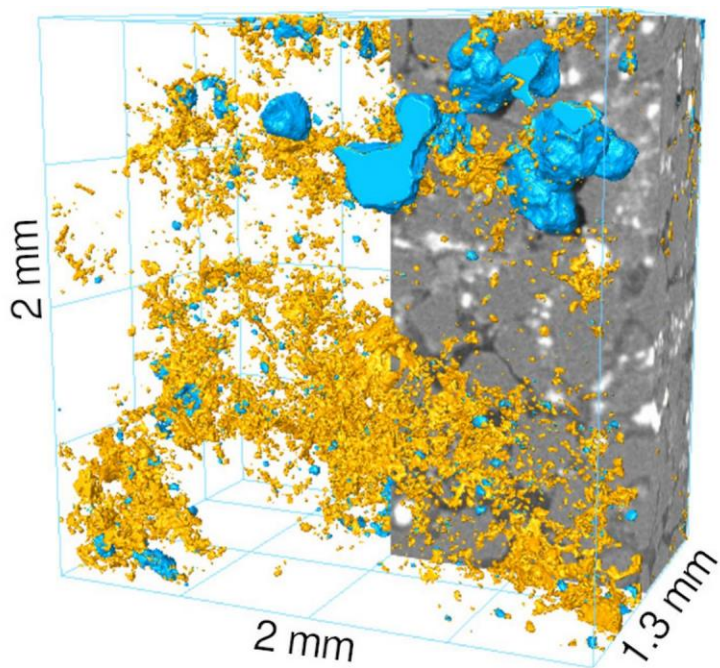
CEM I 42,5N
339 m²/kg

CEM I 42,5R
415 m²/kg

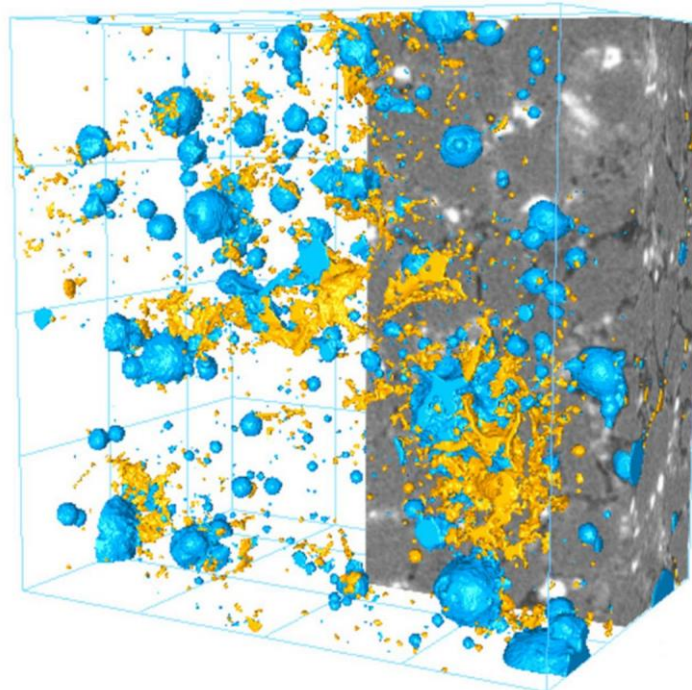
Vliv rychlosti hydratace cementů na mikrotrhliny

Rychlejší chemické smrštění způsobuje vyšší výskyt mikrotrhlin

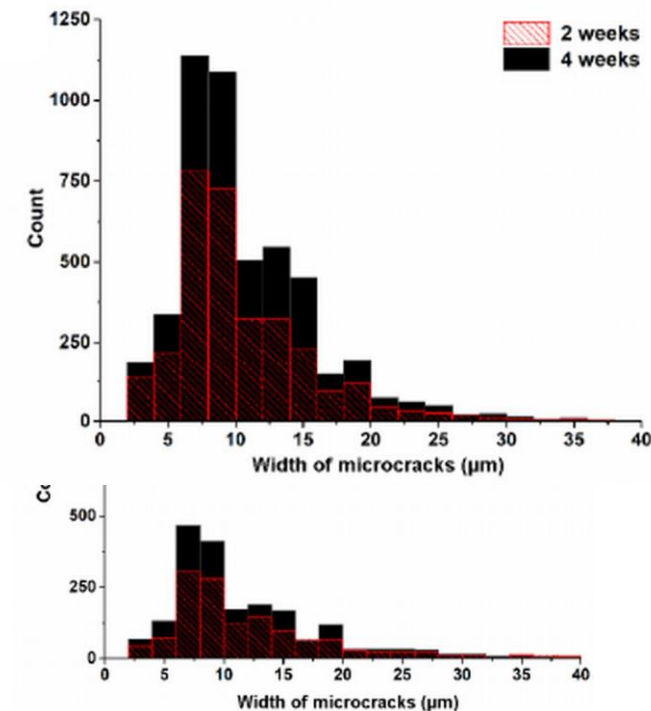
Mikrotomografie, rozlišení 2,2 μm, 4 týdny hydratace v uzavřeném pr.



CEM I 42,5 R
391 m²/kg



CEM I 32,5 R
273 m²/kg



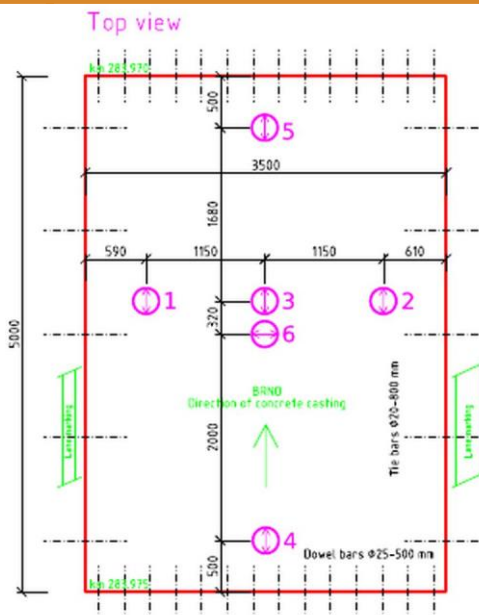
[Ševčík, R., et al.: Microcrack and Porosity Development in Sealed Cement Mortars Measured with Micro-Computed Tomography. Materials. 2024]

Pilotní úsek D1 0137 Přerov - Lipník n. Bečvou, 2018-2019

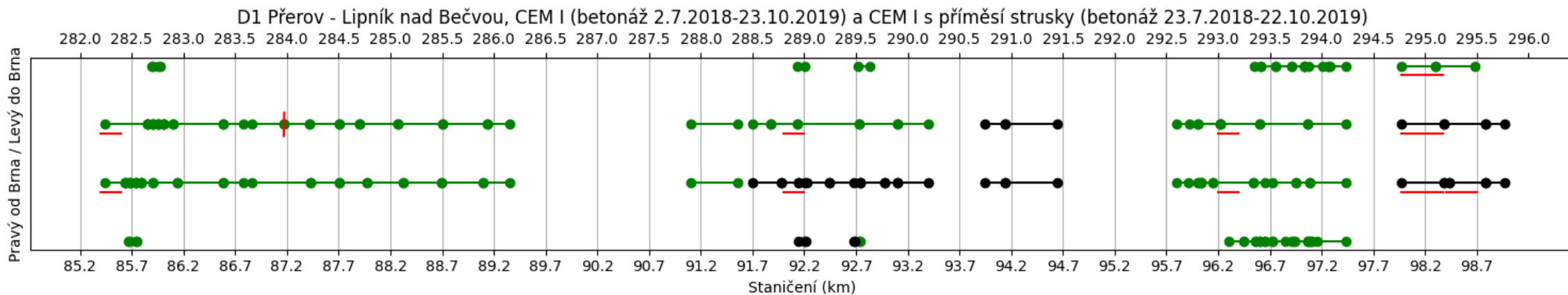
První masivní využití CEM II/B-S na CBK v ČR, zhotovitel Skanska a.s.

Osazení 6×3 čidel do 1 desky CBK

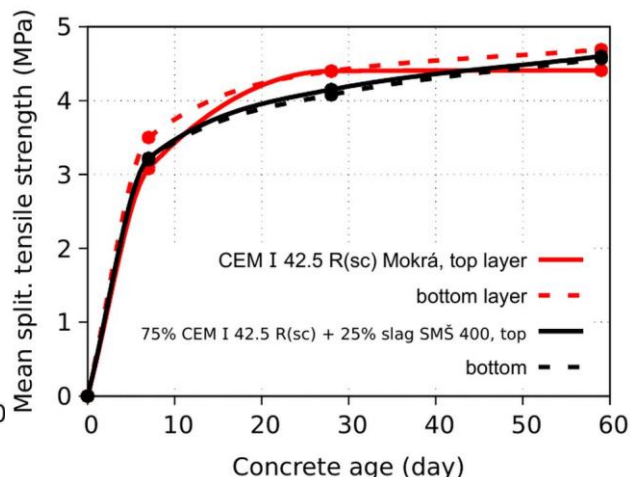
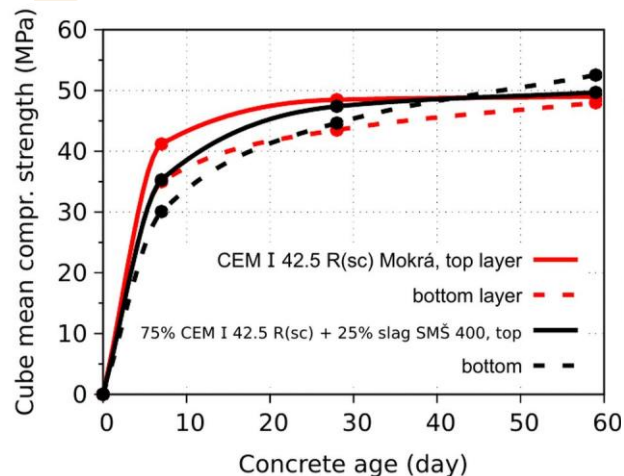
Beton z pojiva	Délka	Beton spodní + horní = celkem	CEM I 42,5 R (sc)	SMŠ
CEM I 42,5 R (sc) = ref.	2 713 m	14 962 + 3999 = 18 361 m ³	6 940 t	-
CEM II/B-S 42,5 N = 75% ref.+ 25% SMŠ	8 978 m	43 982 + 10 753 = 54 735 m ³	15 566 t	5 158 t



Pilotní úsek D1 0137 Přerov Lipník n. Bečvou



Pevnosti C30/37, ČSN 73 1326 (CHRL), 59 dní, metoda A, 100 cyklů



Beton z pojiva

CEM I 42,5 R (sc) = ref

CEM II/B-S 42,5 N = 75%
ref.+ 25% SMŠ

Laboratorní
krychle 150 mm

210 ± 130 g/m²

360 ± 190 g/m²

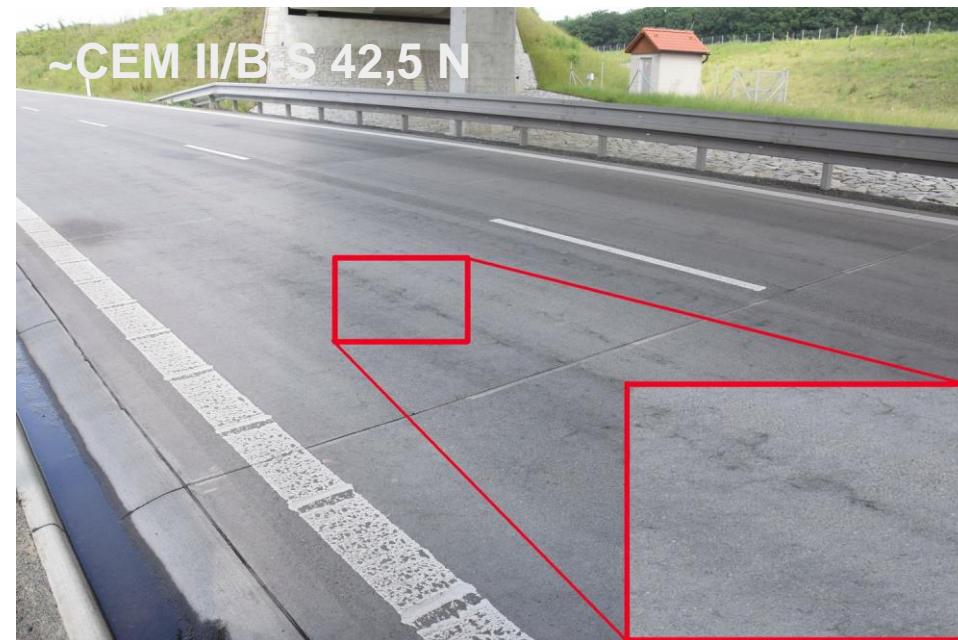
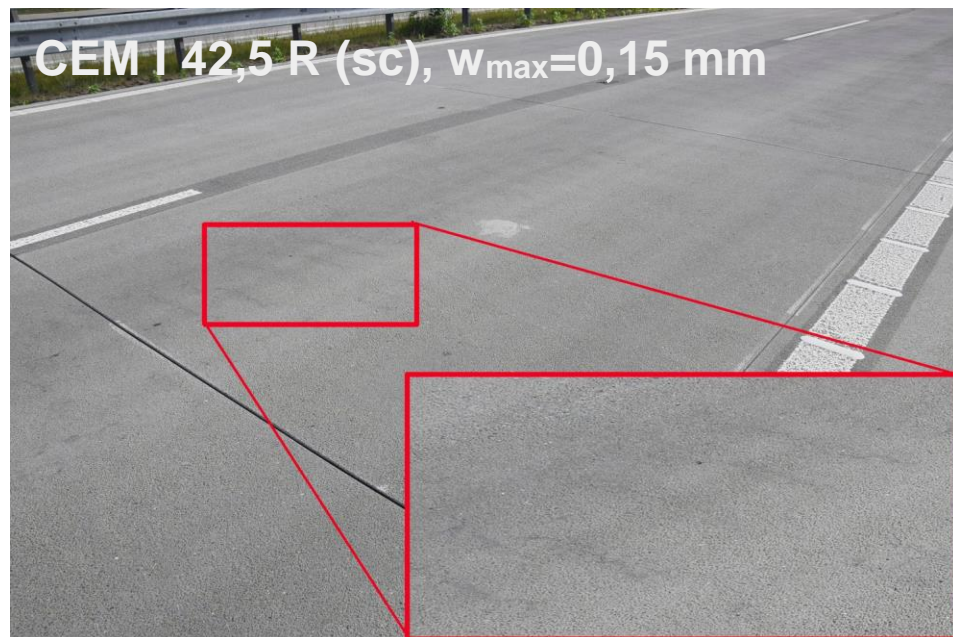
Vývrty Ø100
mm

232 ± 125 g/m²

156 ± 84 g/m²

Prohlídka po 3-4 letech od betonáže (provoz 2,5 let)

Nejhorší povrchy CBK s viditelnými trhlinami



Beton z pojiva

CEM I 42,5 R (sc) = ref.

CEM II/B-S 42,5 N = 75% ref.+ 25% SMŠ

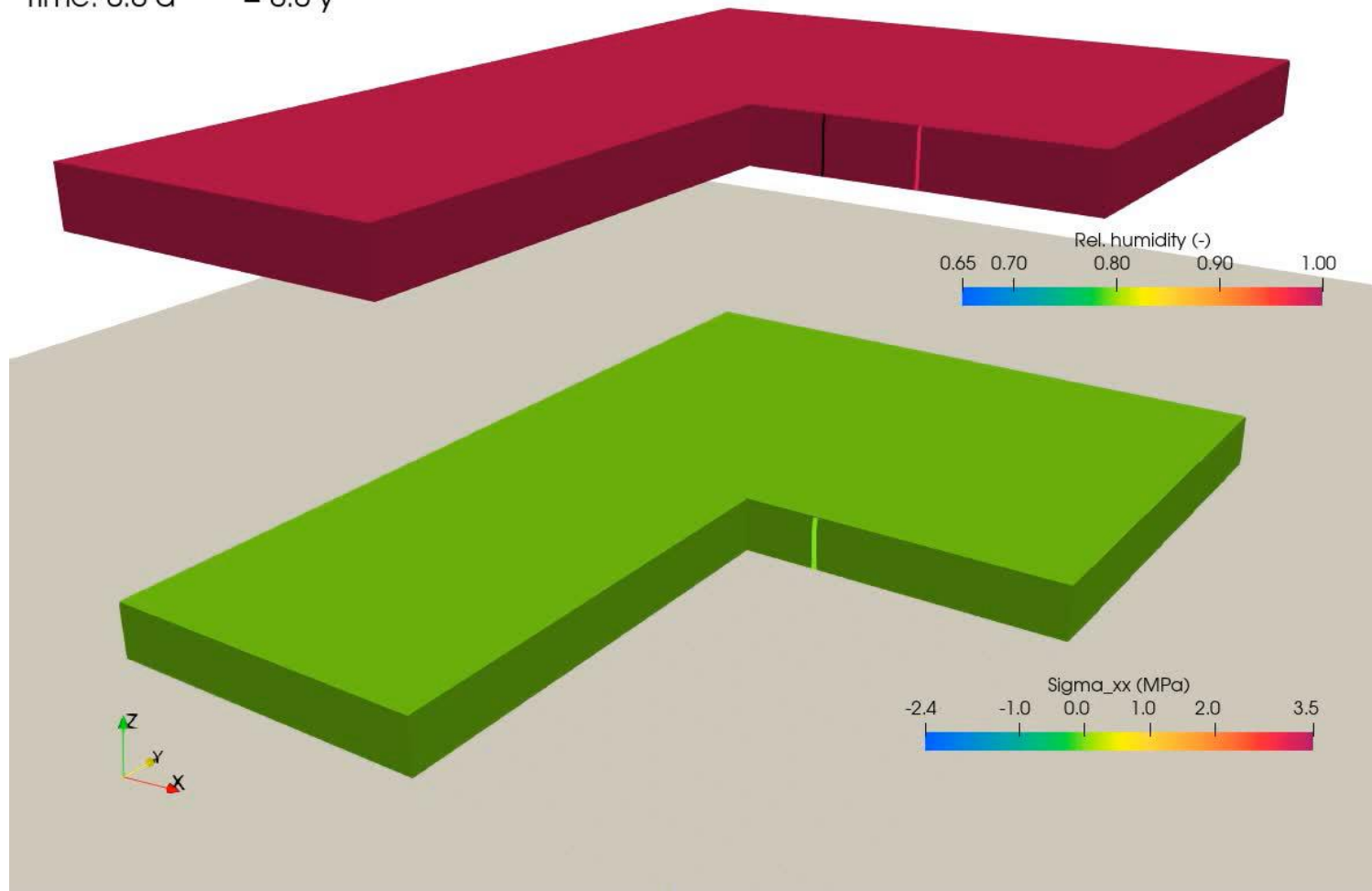
Procento plochy s viditelnými trhlinami

7 %

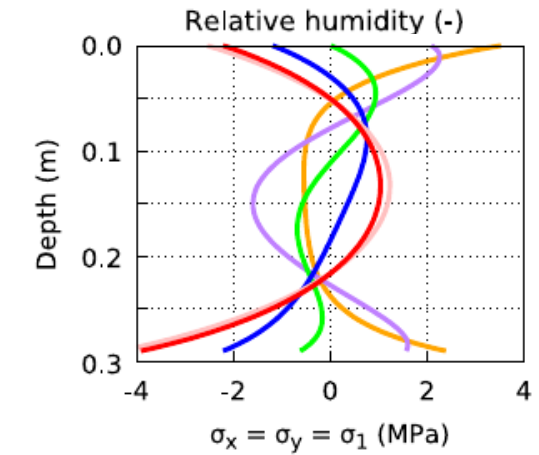
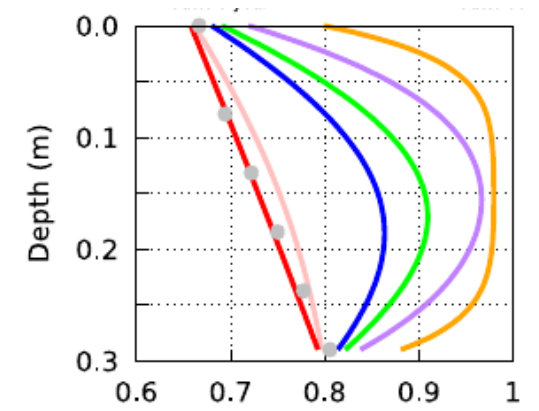
2 %

Vysychání desky CBK, $\sigma_{1,max}=3,53$ MPa

Time: 0.0 d = 0.0 y



Počátek vysychání 14 dní



- After 60 days
- After 1 year
- After 3 year
- After 5 years
- After 15 years
- After 30 years

Vysychání desky CBK

Max. napětí σ_1 ze simulací monitorované desky

- Vysychání 3,53 MPa
- Letní cykly teplot 1,81 MPa
- Doprava 0,53 MPa

Dlouhodobá tahová pevnost $0,75 \cdot 4,2 = 3,15$ MPa

Krátkodobé vysychání je zejména záležitost materiálová konstrukční

- Tloušťka desky neřeší povrchové trhliny
- Není podchyceno v TP170 (Navrhování vozovek)
- Test odolnosti cementu (betonu) proti vzniku trhlin při vysychání poskytuje mimonormová zkouška vázaného smrštění na prstencích (ASTM C1581 a AASHTO T334)

Ověření nových cementů pro betony CBK

Projekt ISPROFIN 500 116 0007, 2023-2024



Testy 9 vytipovaných cementů z ČR

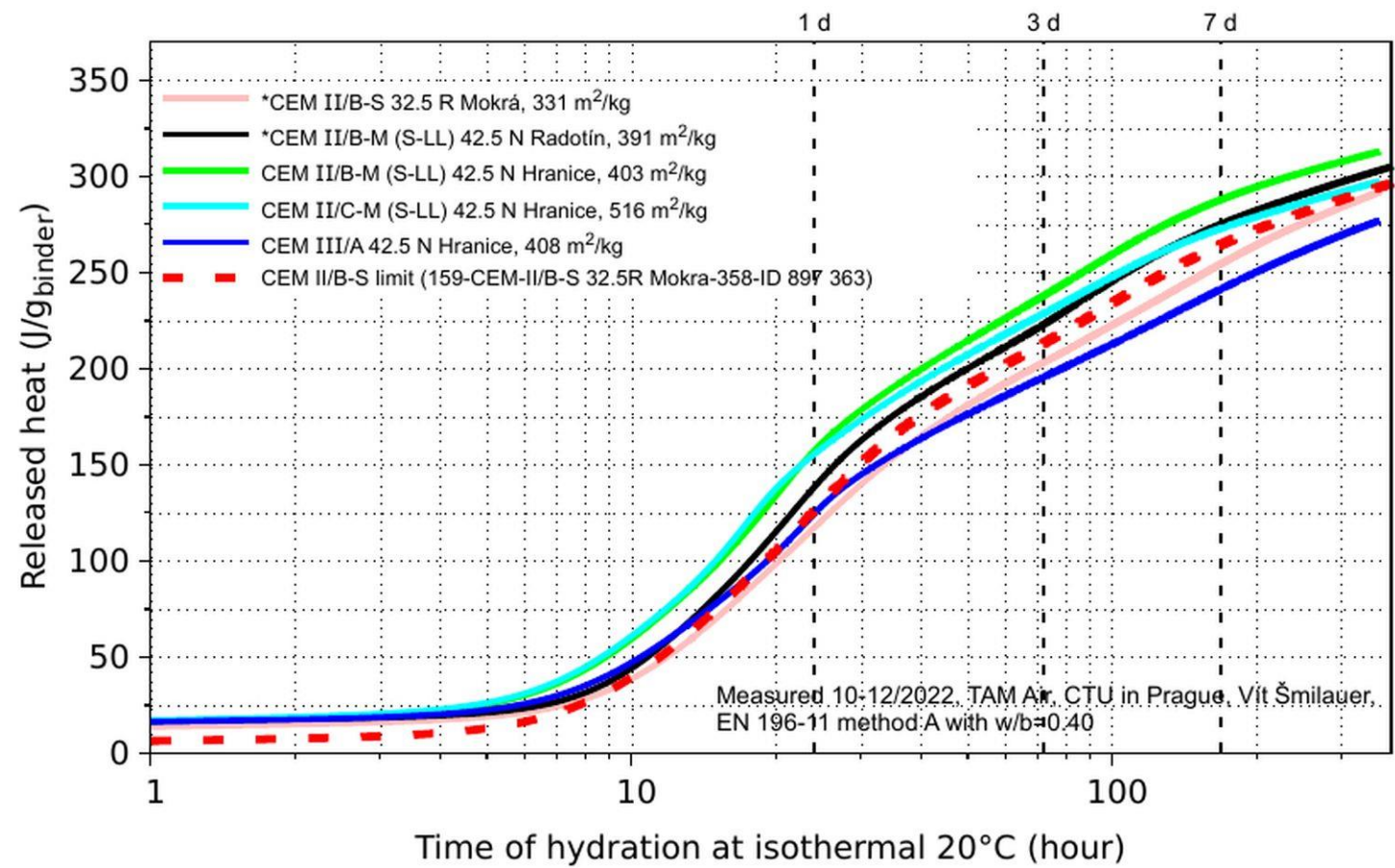
Cement	Blaine (m ² /kg)	Koláčková zkouška	Kalorimetrie	Čas prasknutí prstenců (>40 dní)
CEM I 42,5 R (sc), Mokrá	263	Vyhovující	Vyhovuje	>115
CEM II/A-S 42,5 N, Mokrá	343	Podm. vyhovující	Vyhovuje	>118
CEM II/B-S 32,5 R, Mokrá	331	Vyhovující	Vyhovuje	>170
CEM II/B-M (S-LL) 42,5 N, Radotín	391	Téměř vyhovující	Vyhovuje	35
CEM II/A-S 42,5 R, Mokrá	457	Podm. vyhovující	Nevyhovuje	8
CEM II/A-LL 42,5 R, Radotín	460	Objemově nestálý	Nevyhovuje	8
CEM II/B-M (S-LL) 42,5 N, Hranice	403	Téměř vyhovující	Nevyhovuje	14
CEM II/C-M (S-LL) 42,5 N, Hranice	516	Podm. vyhovující	Nevyhovuje	23
CEM III/A 42,5 N, Hranice	408	Objemově nestálý	Nevyhovuje	10

Ověření nových cementů pro betony CBK

Koláčková zkouška



Izotermální kalorimetrie



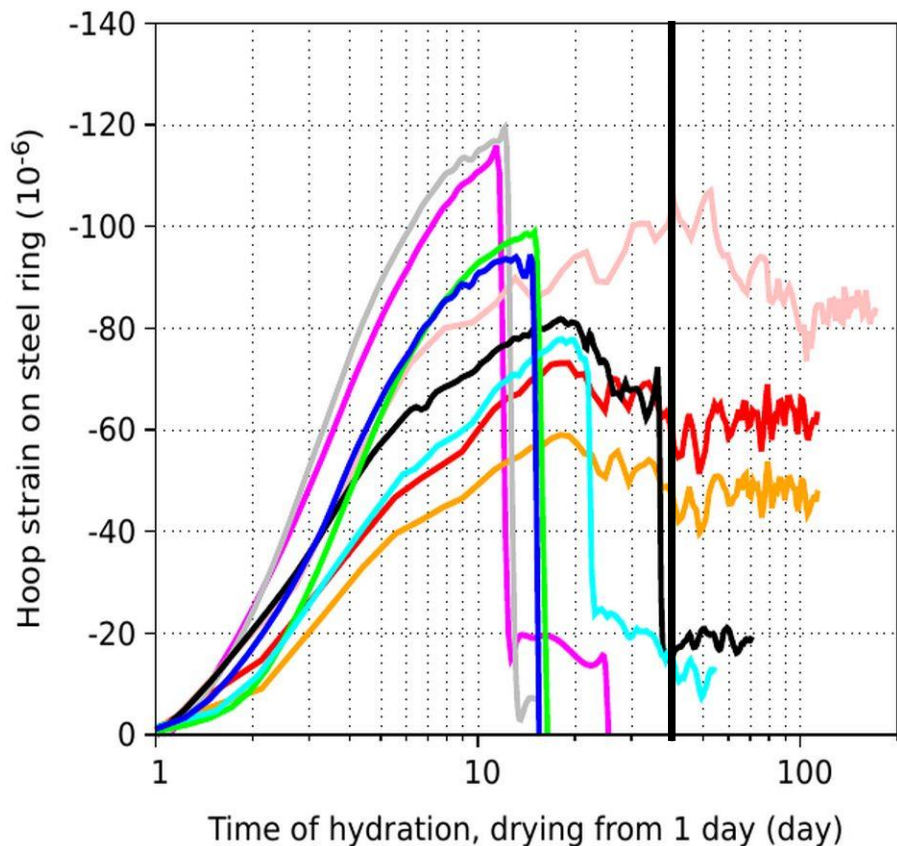
[V. Šmilauer, P. Reiterman, R. Šulc, P. Schořík: Crack-Resistant Cements under Drying: Results from Ring Shrinkage Tests and Multi-Physical Modeling. Materials. 2022].

Ověření nových cementů pro betony CBK

Prstence, písek / pojivo = 3:1, v/c=0.45

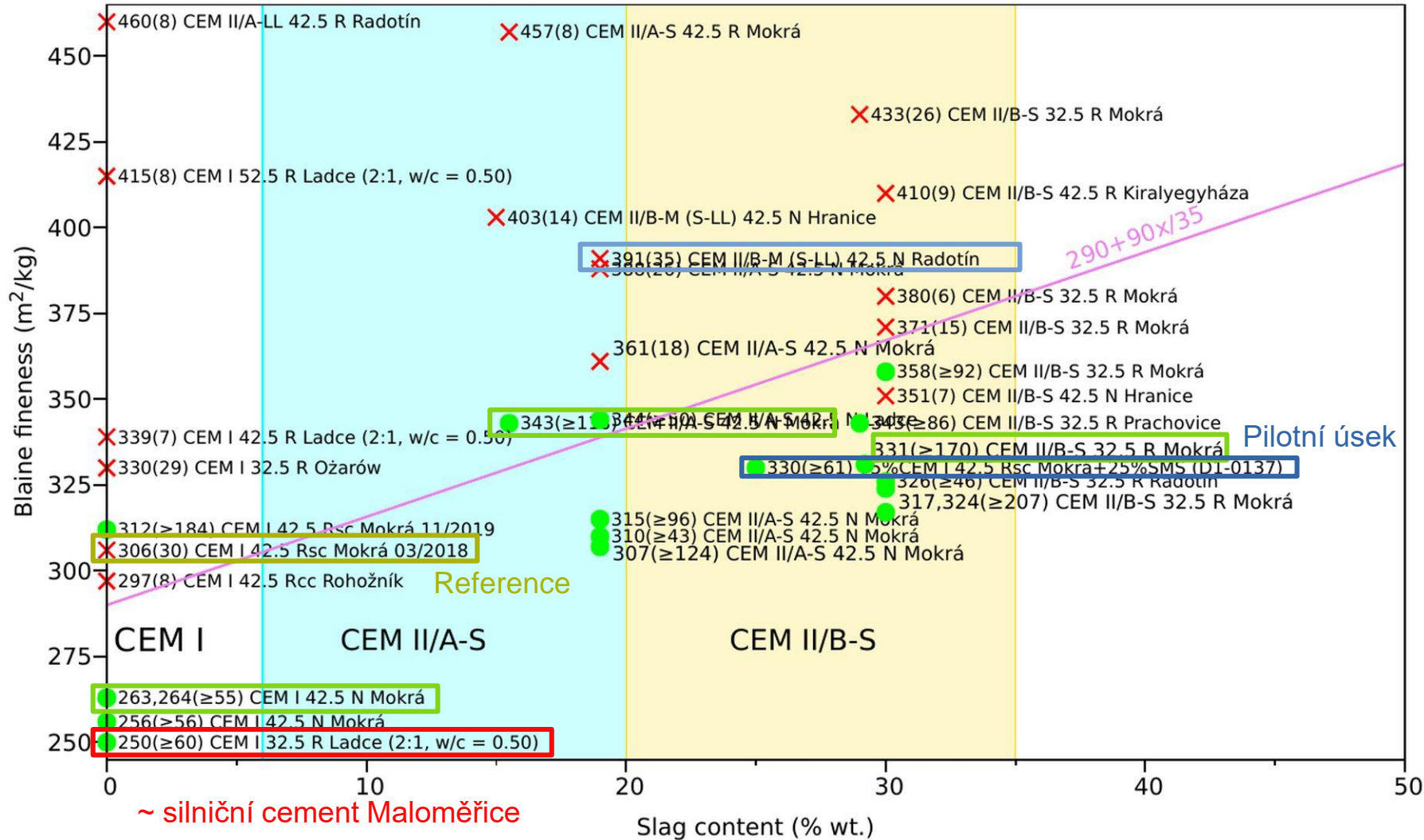
Vysychání po 1 dni

Kritérium >40 dní



- *CEM I 42.5 R(sc) Mokrá, 263 m²/kg
- CEM II/A-S 42.5 R Mokrá, 457 m²/kg
- *CEM II/A-S 42.5 N Mokrá, 343 m²/kg
- *CEM II/B-S 32.5 R Mokrá, 331 m²/kg
- CEM II/A-LL 42.5 R Radotín, 460 m²/kg
- *CEM II/B-M (S-LL) 42.5 N Radotín, 391 m²/kg
- CEM II/B-M (S-LL) 42.5 N Hranice, 403 m²/kg
- CEM II/C-M (S-LL) 42.5 N Hranice, 516 m²/kg
- CEM III/A 42.5 N Hranice, 408 m²/kg

Ověření nových cementů pro betony CBK



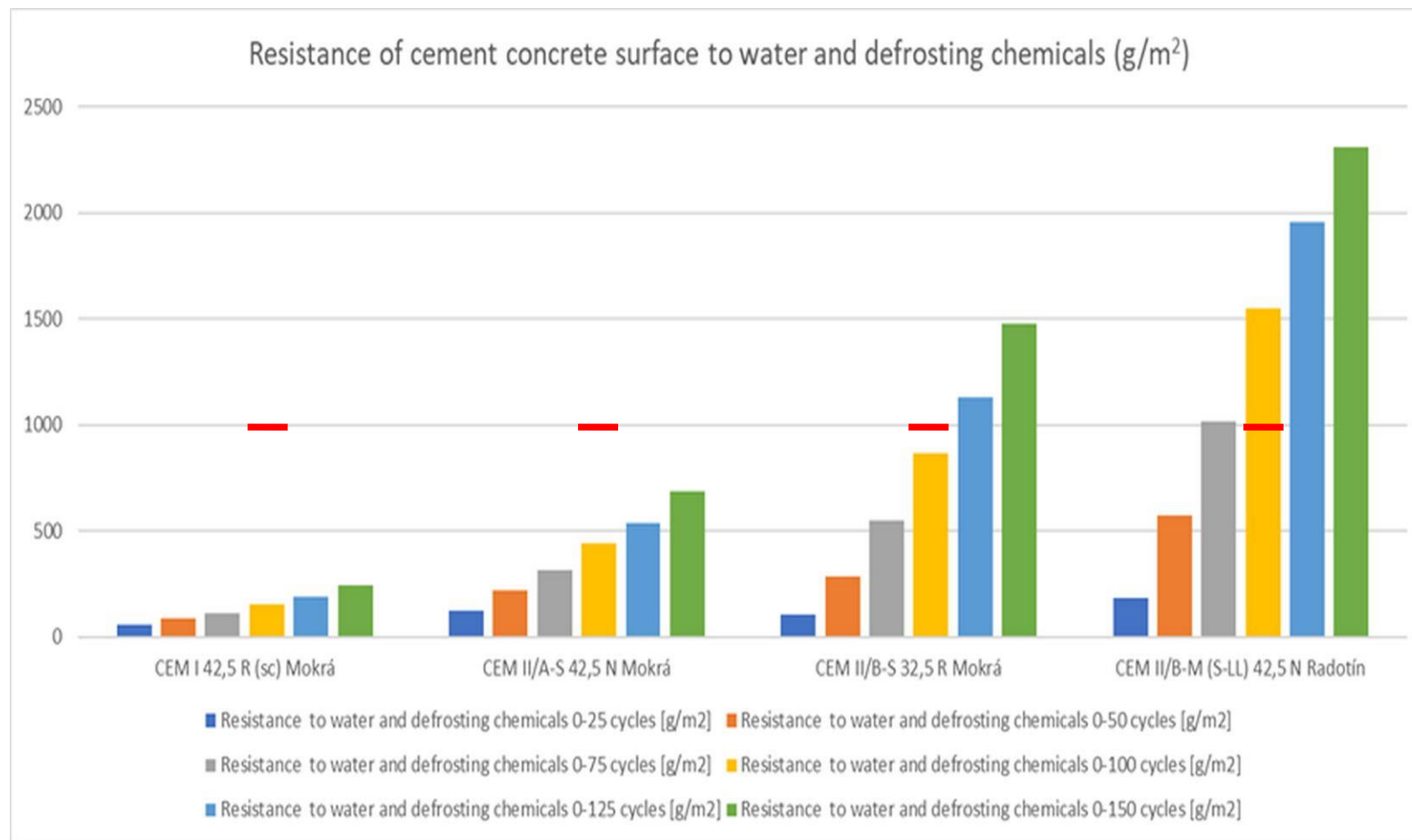
Výsledky z testů 9+25 cementů:
zpomalení hydratace vede k vyšší odolnosti proti vzniku trhlin při vysychání

Pro silniční cementy nutno používat cementy s pomalým náběhem pevností.

Klíč k trvanlivosti CBK.

Mrazuvzdornost betonů C30/37 z nových cementů

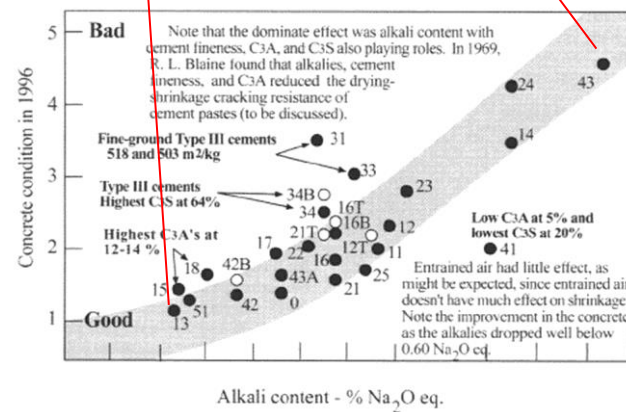
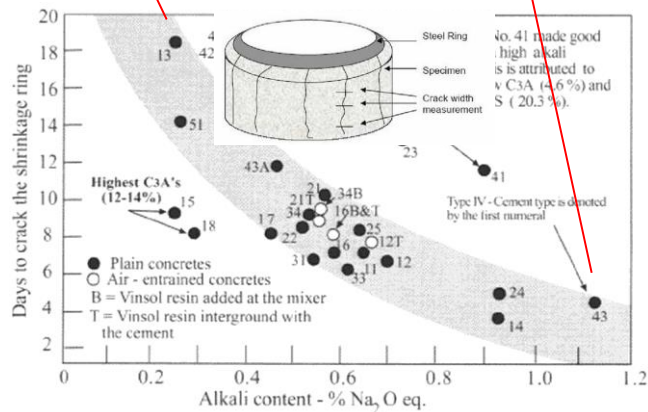
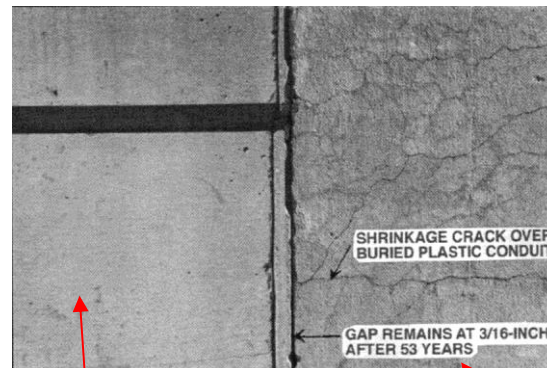
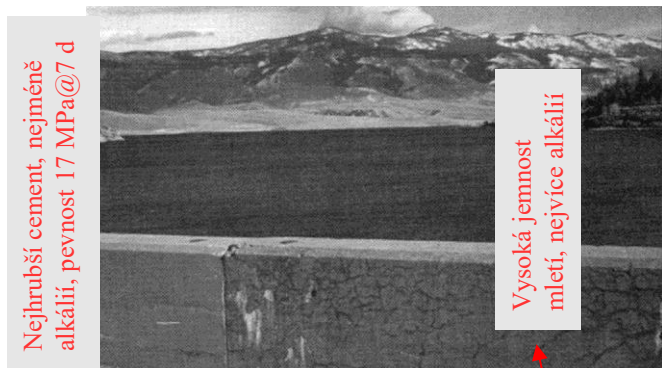
Cement 420 kg/m³, v/c=0,48 (Horní vrstva), ČSN 73 1326, metoda A



Cykly běží od 28 dní stáří betonu, pro směsné cementy s pomalejšími náběhy se dosáhne lepších výsledků zkoušením mezi 28-59 dny (ČSN 73 6123-1, Tab 10).

Vliv alkálií na povrchové trhliny

Betony Green Mountain Dam, Colorado, 1943 (podhorská oblast ČR)
 28 cementů, 104 panelů, nulová expanze (není ASR), stav po 53 letech



Zkoušky na prstencích prokázaly korelaci s dlouhodobým stavem povrchových trhlin.

Zvýšené alkálie snižují duktilitu C-S-H → vznik trhlinek.

[R.W. Burrows: Visible and invisible cracking of concrete, ACI, 1998]

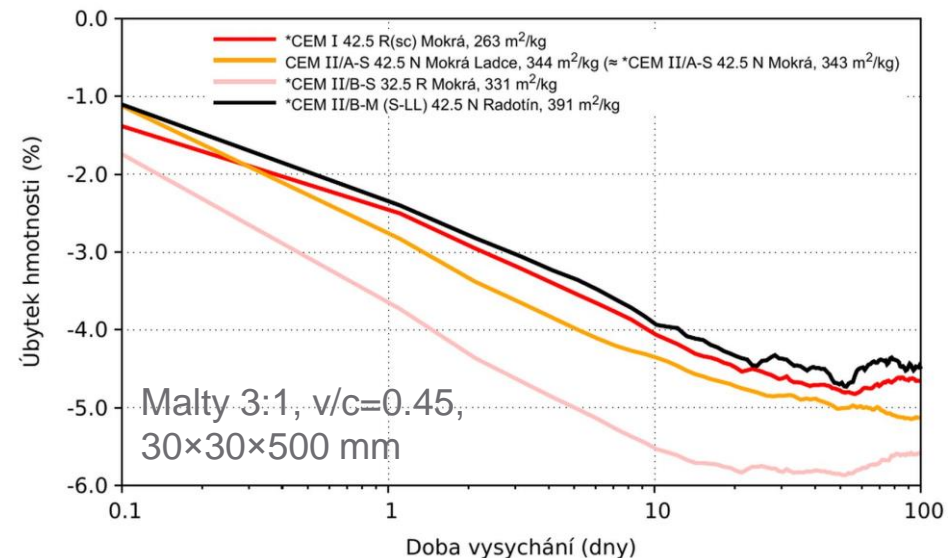
Rozdíly v chování nových cementů CEM II/A-S a CEM II/B-S

Rychlejší odpar vody při vysychání

- Vyšší vliv vysokých teplot či větru

Vyšší citlivost hydratace na teplotu

Změna teploty z CEM I	CEM I	CEM II/A-S	CEM II/B-S
Aktivační energie (kJ/mol)	34	45	49
20 → 30°C	1.58	1.84	1.94
20 → 40°C	2.44	3.25	3.61
20 → 10°C	0.61	0.52	0.49
20 → 5°C	0.47	0.37	0.34



ČSN 73 6123 teplota čerstvého betonu musí být
 $5^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{beton}} \leq 30^{\circ}\text{C}$

[F. Kanavaris, M. Soutsos, J.-F. Chen, Journal of Building Engineering, 2023]

Závěr

CEM II/A-S 42,5 N (sc) Mokrý je nástupce CEM I 42,5 R (sc) Mokrý Cement vykazuje pomalejší a dlouhodobější hydrataci (pevnosti)

- Delší doba na zpracování (výhodné v létě, zpomalení v zimě)
- Posunutí času na vymetání a řezání spár
- Obecně vyšší odpad v testu CHRL při 28 dnech (lze posunout až do 59 dní)

Cement je citlivější na odpařování vody a vliv teploty

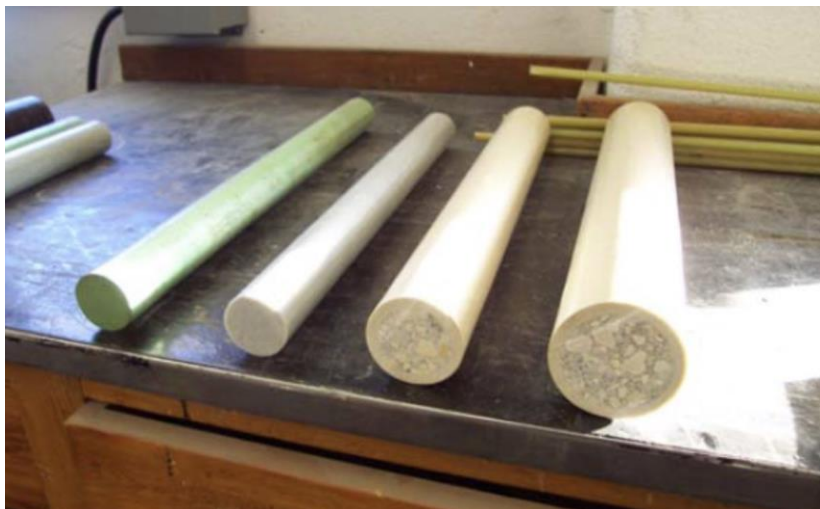
CBK by měl vykazovat méně povrchových trhlin → delší životnost

Kompozitní kluzné trny

Současné řešení



Alternativní konstrukční řešení



Dowel Type	Plan View	Cross Section	Uses
Round Dowel Bar			I, CNT, CNST
Square Dowel Bar			I, CNT, CNST
Rectangular Plate Dowel			CNT, CNST
Diamond Plate Dowel			CNST
Tapered Plate Dowel			CNT
Double-Tapered Plate Dowel			CNT

I = Isolation Joints CNT = Contraction Joints CNST = Construction Joints

[Murison, Shalaby a Mufti: Laboratory evaluation of concrete-filled GFRP dowels, 2004]
 [Snyder: New Alternative Dowel Bar Materials, 2016]
 [Grošek: Výzkum v oblasti konstrukčních prvků a dimenzování CB krytů, 2017]
 [Anderson et al.: Glass Fiber Reinforced Polymer Dowel Bar Evaluation, 2012]
 [ACPA: Plate Dowels An Innovation Driven by Industrial Concrete Paving, 2010]

Kompozitní kluzný trn

- Patent CZ 309683 (16mm jádro B500B)
Užitný vzor 38251 (16-20 mm jádro čedič)
- Zachování ceny
- 2 kg/ks → 0,9 kg/ks → 0,45 kg/ks

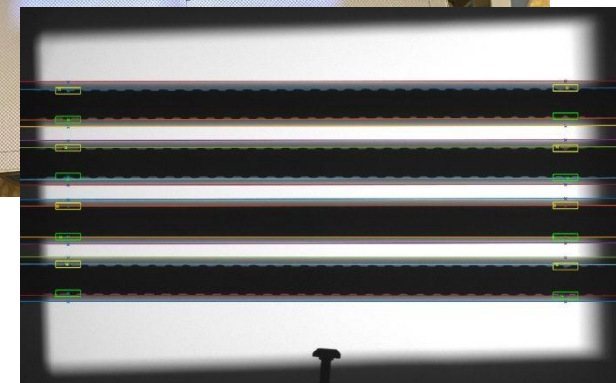
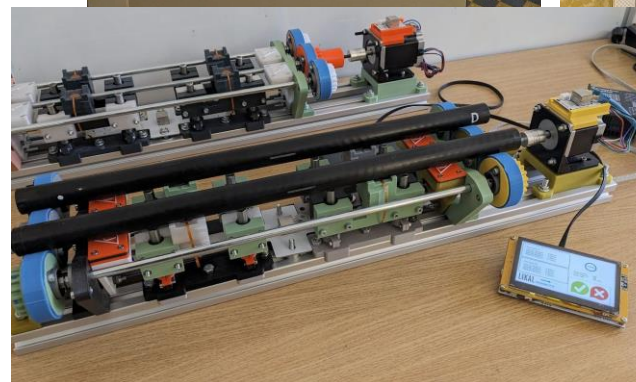


[O. Dolan, EUROVIA, Kompozitní kluzný trn, Betonové vozovky 2024]



Změna pojetí výroby

- plně robotická linka (robotická ramena + vstřikolis)
- automatická kontrola kvality



Normové požadavky

ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA

ICS 93.080.20

Květen 2006

Cementobetonové kryty – Část 3: Specifikace pro kluzné trny

ČSN
EN 13877-3

73 6150

4 Požadavky

Kluzné trny musí mít **pevnost v tahu nejméně 250 MPa** podle EN ISO 15630-1.

Průměr a tolerance průměru trnů musí splňovat požadavky EN 10060. Minimální průměr musí být 16 mm.
Tolerance délky musí být max. ± 10 mm.

NA.4 Požadavky

Text kapitoly 4 Poznámka 1 a 2 se doplňuje:

Trny, používané pro cementobetonové kryty CB I podle národní přílohy k ČSN EN 13877-2:2006 musí mít **minimální průměr 25 mm a minimální délku 500 mm**. Celá délka trnu musí být pokryta tenkým filmem z **plastu minimální tloušťky 0,3 mm**, který musí zaručit ochranu proti korozi a zároveň umožnit prokluz trnu

Normové požadavky NOVÉ

ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA
ICS 93.080.20

3. návrh

Měsíc 2025

**Stavba vozovek – Cementobetonové kryty –
Část 1: Provádění a kontrola shody**

ČSN 73 6123-1

5.3.7.1 Kluzné trny

Kluzné trny musí splňovat ustanovení ČSN EN 13877-3. Trny pro cementobetonové kryty dálnic, místních rychlostních komunikací a letištní plochy musí mít minimální průměr 25 mm a minimální délku 500 mm. U ostatních staveb mohou být navrženy trny menšího profilu, minimálně však 16 mm podle ČSN EN 13877-3.

Mohou být použity i alternativní kluzné trny, splňující funkční požadavky pro použití v cementobetonovém krytu. Shoda výrobku s požadavky musí být prokázána podle příslušného předpisu¹⁾.

Kluzné ocelové trny mají být uloženy tak, aby osa kluzného trnu byla ve výšce $h/2$ plus poloměr kluzného trnu měřeno od povrchu vozovky (kde h je tloušťka cementobetonového krytu, v jedné rovině, rovnoběžně s povrchem cementobetonového krytu a s podélnou osou betonovaného pruhu, zpravidla ve vzájemné vzdálenosti 250 mm, případně 500 mm.)

¹⁾ Např. Nařízení vlády č. 163//2002 Sb., v platném znění nebo Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 305/2011, v platném znění.

6.5.1 Kluzné trny

Kluzné trny musí splňovat ustanovení ČSN EN 13877-3 a dokumentace stavby.

Celá délka trnu musí být pokryta tenkým filmem z plastu minimální tloušťky 0,3 mm, který musí umožnit prokluz trnu v betonu. Může být použit i jiný povlak, splňující článek 5.3.7.1 této normy.

Plastový povlak musí být na trny nanesen továrensky.

Normové požadavky NOVÉ

EUROPEAN STANDARD

EN 13863-5

ČSN EN 13863-5

NORME EUROPÉENNE

EUROPÄISCHE NORM

March 2024

ICS 93.080.20

English Version

Concrete pavements - Part 5: Determination of the bond stress of dowels to be used in concrete pavements

ČSN
EN 13863-5

73 6181

Červenec 2024

Cementobetonové kryty –
Část 5: Stanovení přídržného napětí hmoždinek pro použití
v betonových vozovkách

~ Pull-out test

7.2 Procedure of load application

The tensile load shall be applied in the axis of the dowel with a non-slip traction.

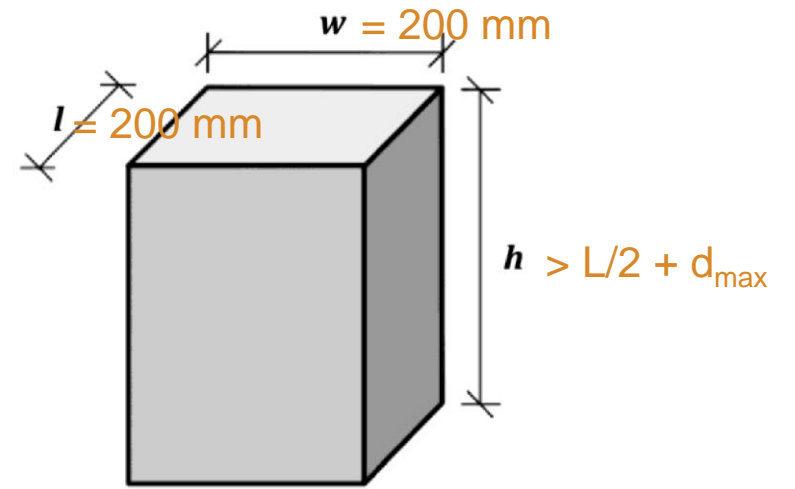
The force shall be applied with a loading rate of 13 ± 3 kN/min ($0,22 \pm 0,05$) kN/s up to a maximum pull-out distance of $(5,0 \pm 0,1)$ mm controlled by the load equipment. The force-displacement diagram shall be recorded. The displacement corresponds to the pull-out distance and shall be measured with a dial gauge. The applied pull-out force $F_{P,i,N}$ at a displacement of $0,25$ mm shall be recorded.

The dowel shall be pushed back into the concrete block with a rate of $(0,5 \pm 0,2)$ mm/s to its primary position.

This procedure shall be done four times on the same dowel.

Pull-out test

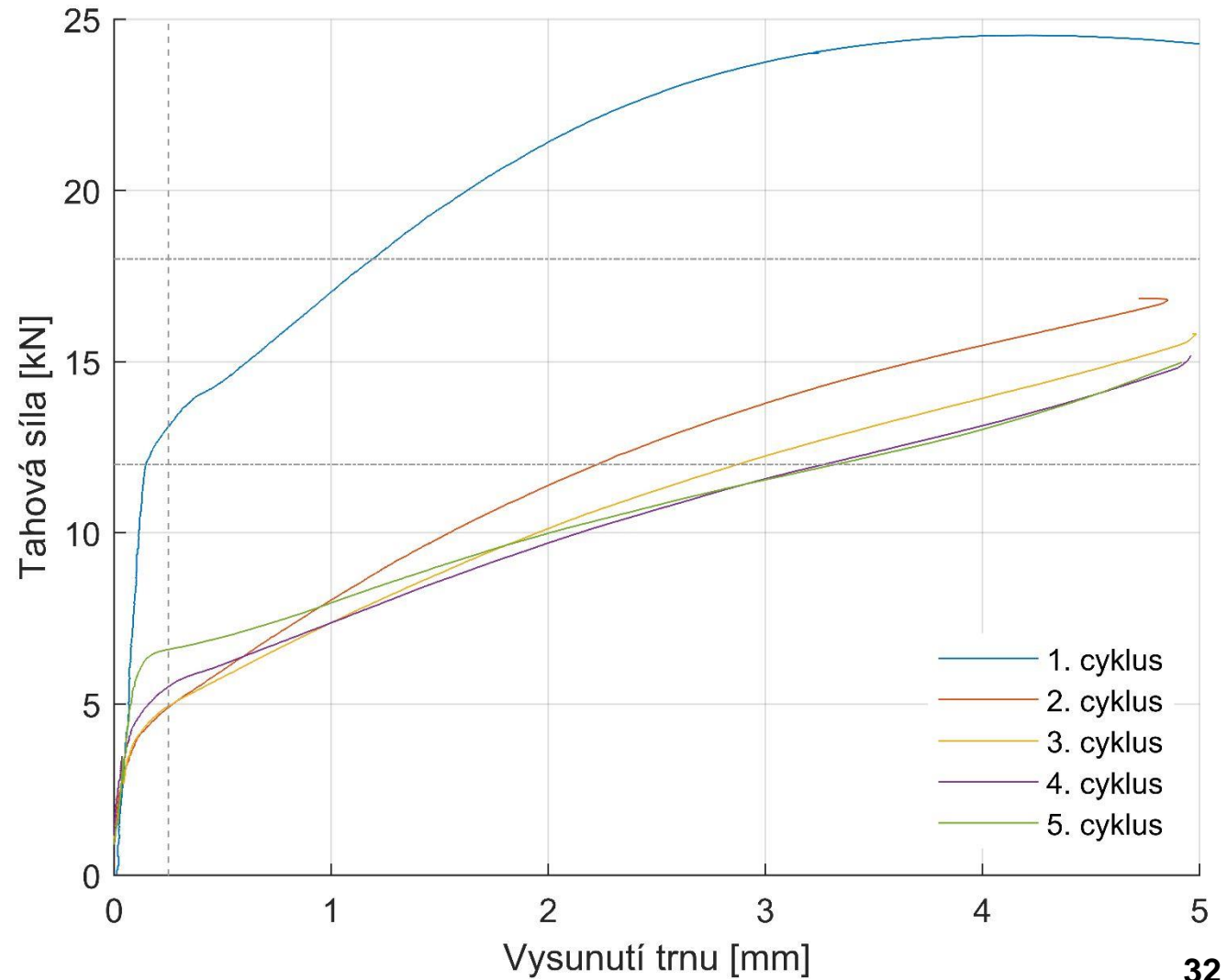
- 24 h od betonáže
- 5× vytažení do 5 mm
- záznam síly pro vytažení 0,25 mm
- kontrola povrchu



Pull-out test

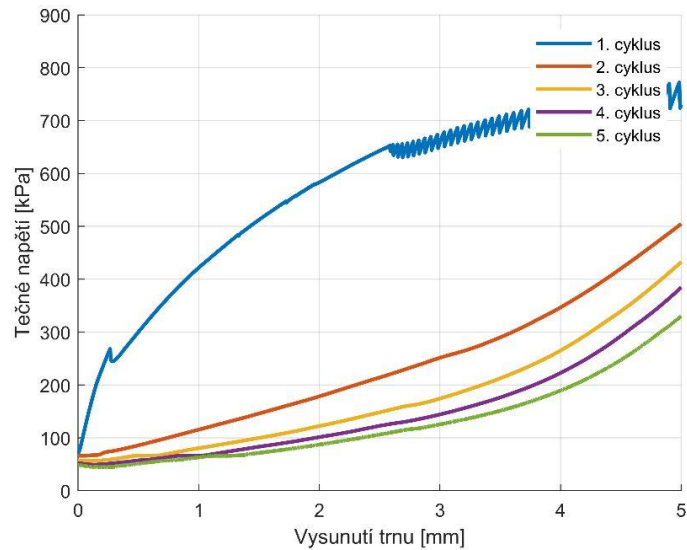
Limitní hodnoty pro D=25 mm

- 1: 18 kN (900 kPa)
- 5: 12 kN (600 kPa)

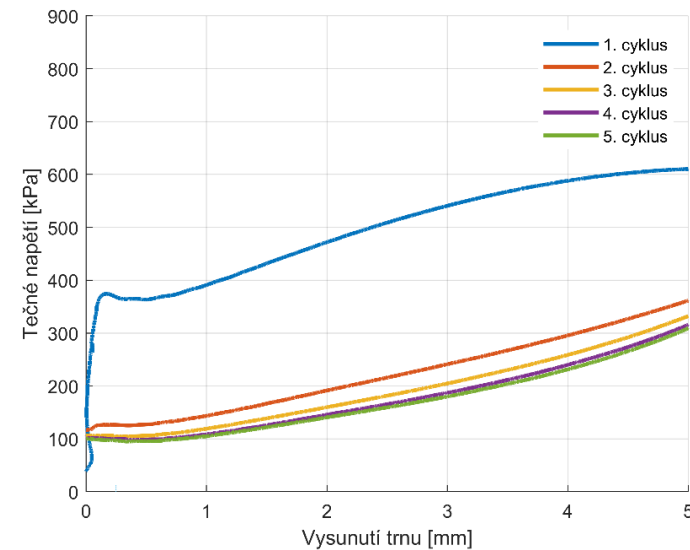


Pull-out test

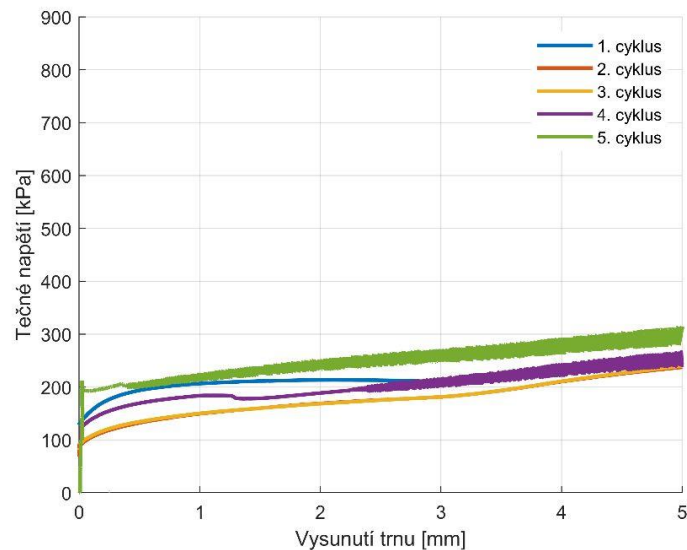
Epoxidový nátěr



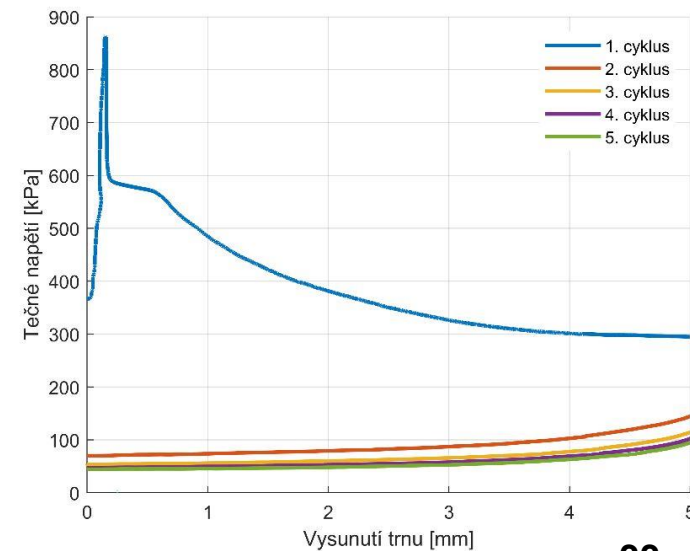
GFRP



PVC fólie



Hlazený čedič



Návrh metodiky

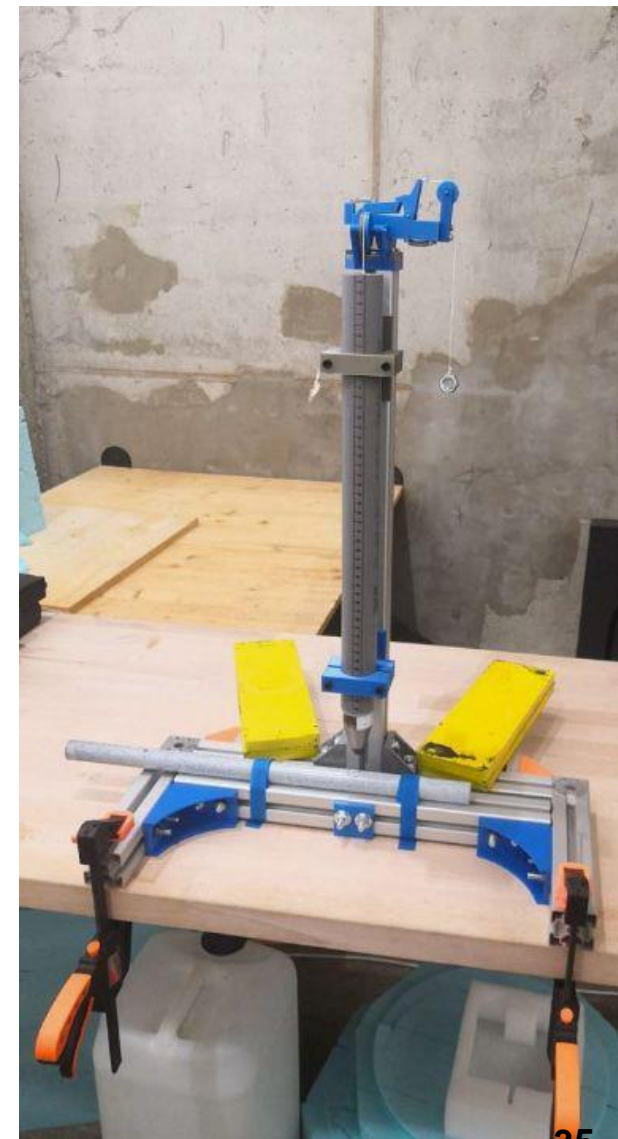
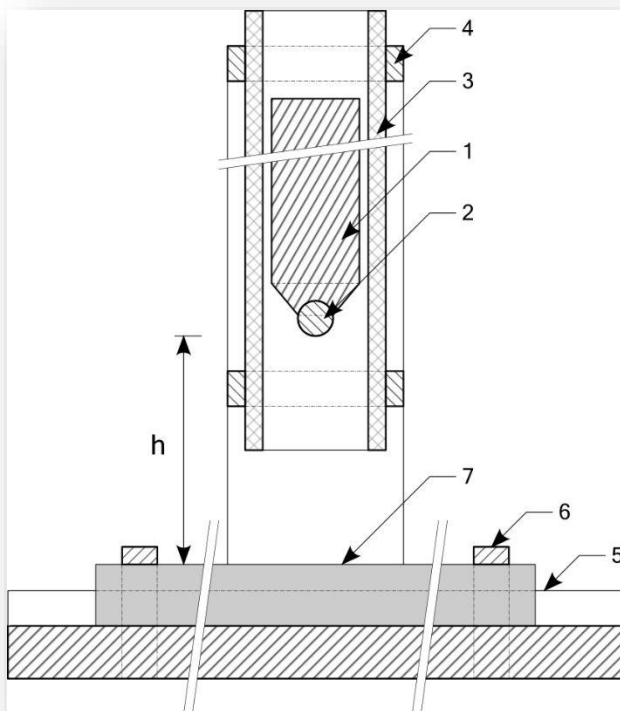
Zkoušky reflektující skutečné namáhání
(v konstrukci a na stavbě):

- Odolnost povrchu vůči nárazu
- Únosnost KT ve stříhu
- Cyklické zatěžování ve střížné spáře
- Přídržné napětí při vytahování trnu

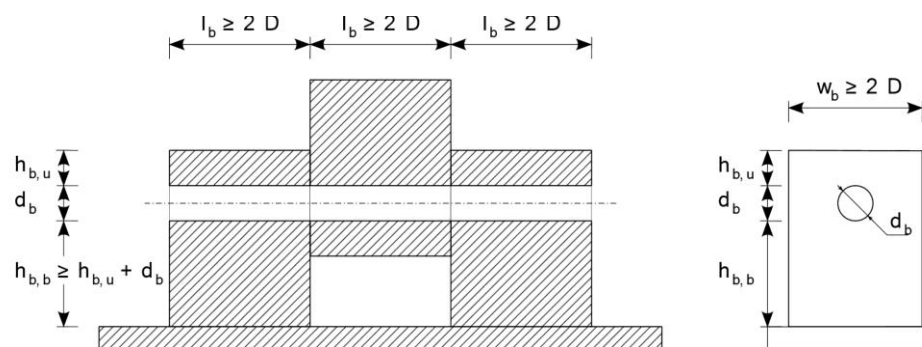


Zkouška odolnost povrchu vůči nárazu

- 1 kg úderník s půlkulovou hlavou průměru 10 mm
- TP136 → ČSN 67 3082 (zrušena 2003)
ČSN EN ISO 6272-1

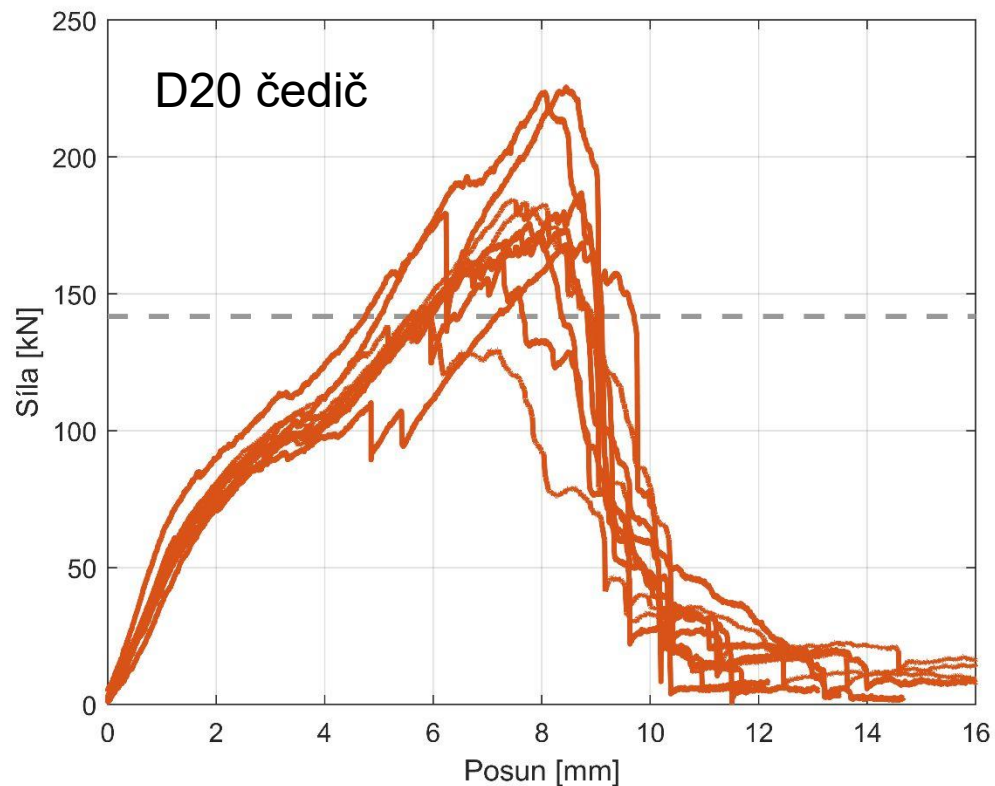
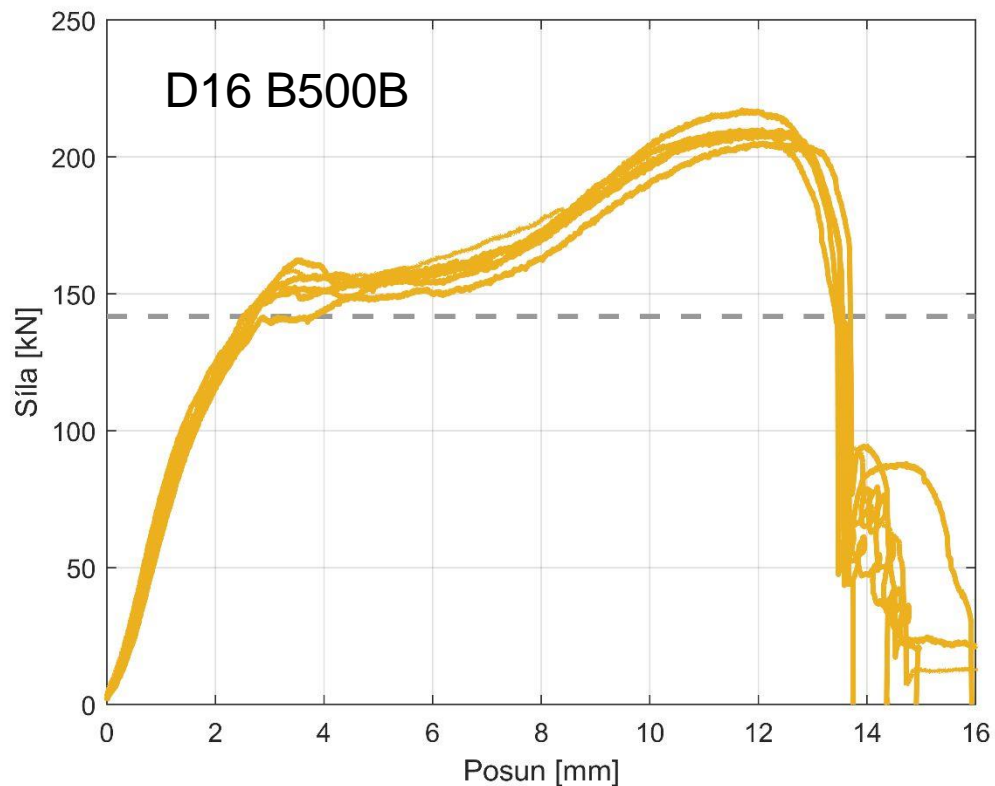


Zkouška únosnosti kluzného trnu ve stříhu



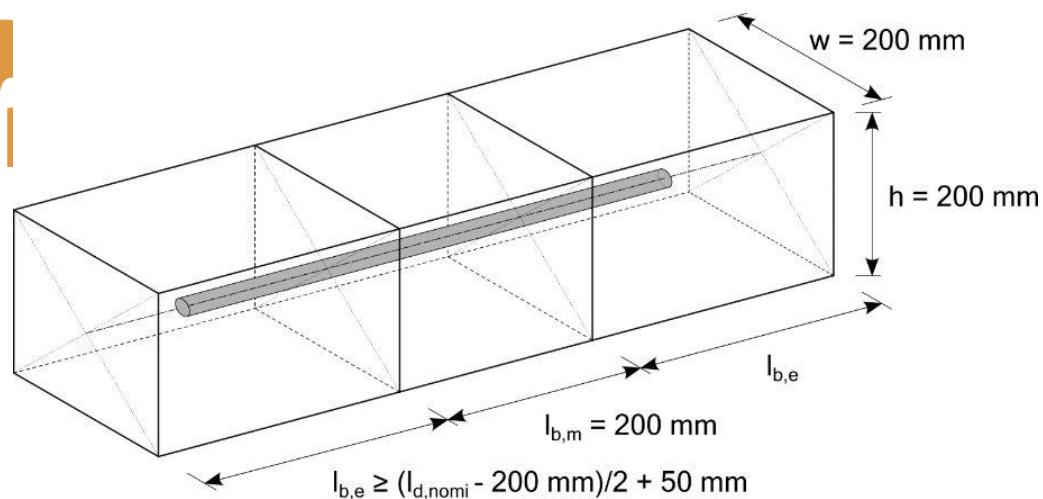
Zkouška únosnosti kluzného trnu ve stříhu

- 250 MPa v tahu → ~145 MPa ve smyku (von Mises)
- ~71 kN na střížnou plochu



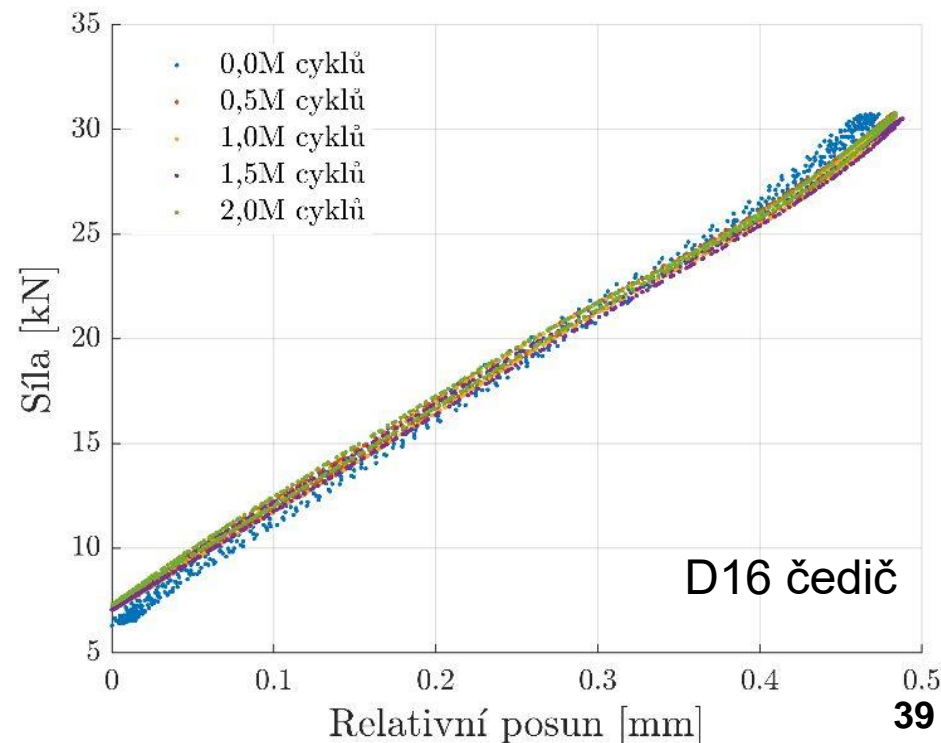
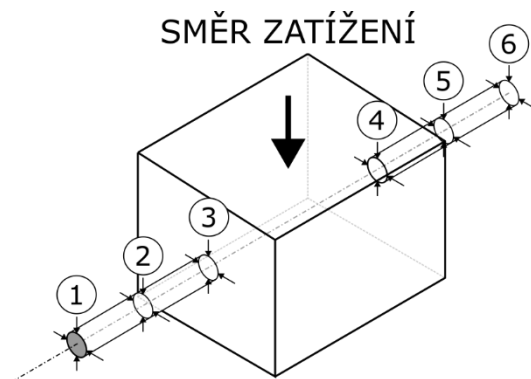
Zkouška cyklickým zatěžováním ve střižné spáře

- Symetrické uspořádání
- Vzorky se separací
- 2M cyklů, 5 Hz (6+ týdnů)
- 30 kN max. síla

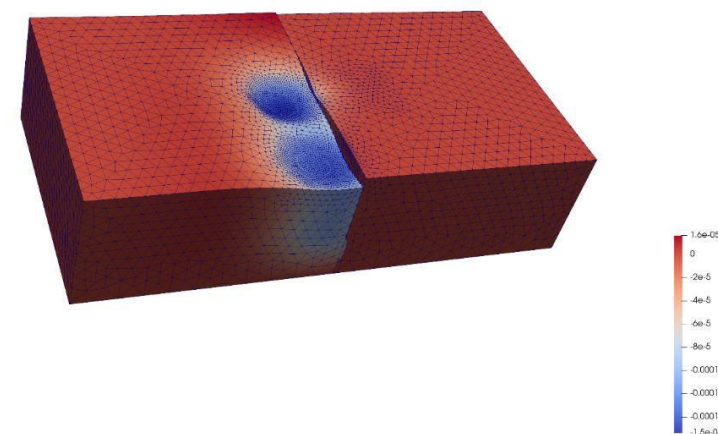
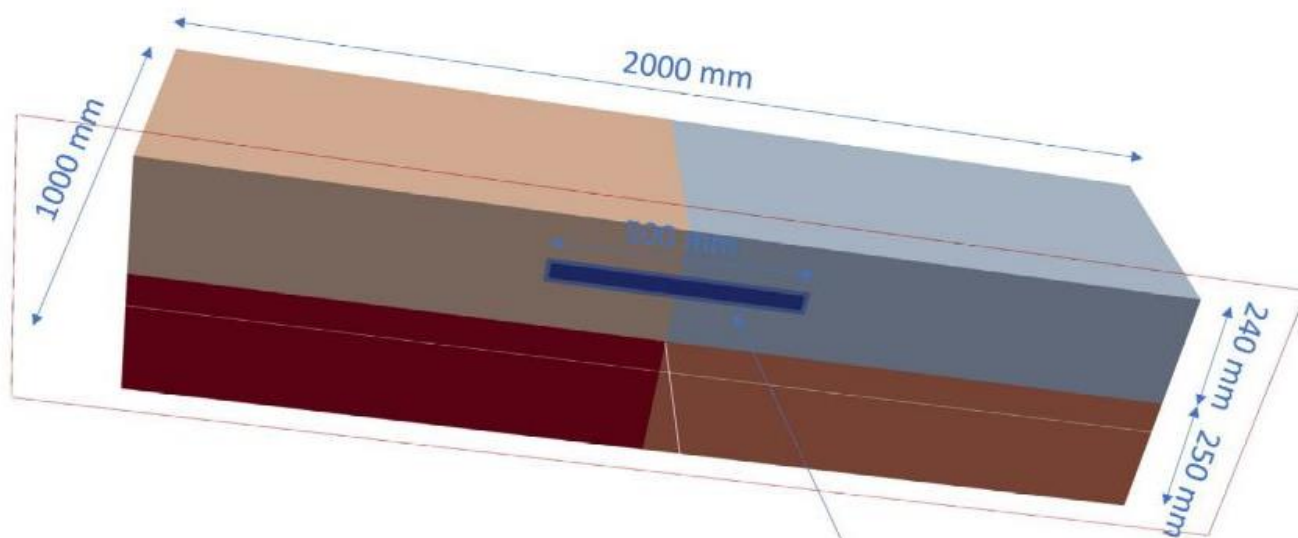


Zkouška cyklickým zatěžováním ve střižné spáře

- Kontrola povrchu po skončení
- Kontrola rozměrů KT
- Měřené chování po 500k cyklech



Simulace chování v konstrukci CB krytu



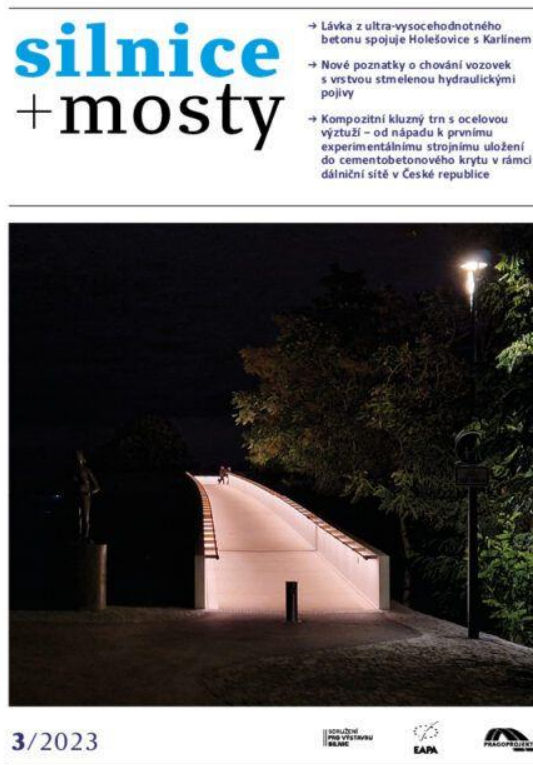
- 10 t/nápravu, 1 dvoumontáž
- 1 KT na 1 m šířky
- bez spolupůsobení
→ 10× nadhodnocené zatížení

D = 25 mm, d = 16 mm

			σ_{max}	σ_{J2}
Tecamid 66 GF30 (91 MPa)	E = 5,5 GPa	v = 0,22	52,351 MPa	65,127 MPa
		v = 0,43	80,405 MPa	51,115 MPa
Polimid B 30 GF (180 MPa)	E = 6,5 GPa	v = 0,22	54,835 MPa	68,435 MPa
		v = 0,43	84,723 MPa	53,984 MPa
	E = 9,5 GPa	v = 0,22	59,452 MPa	74,838 MPa
		v = 0,43	93,219 MPa	59,889 MPa

Experimentální ověření pokládky

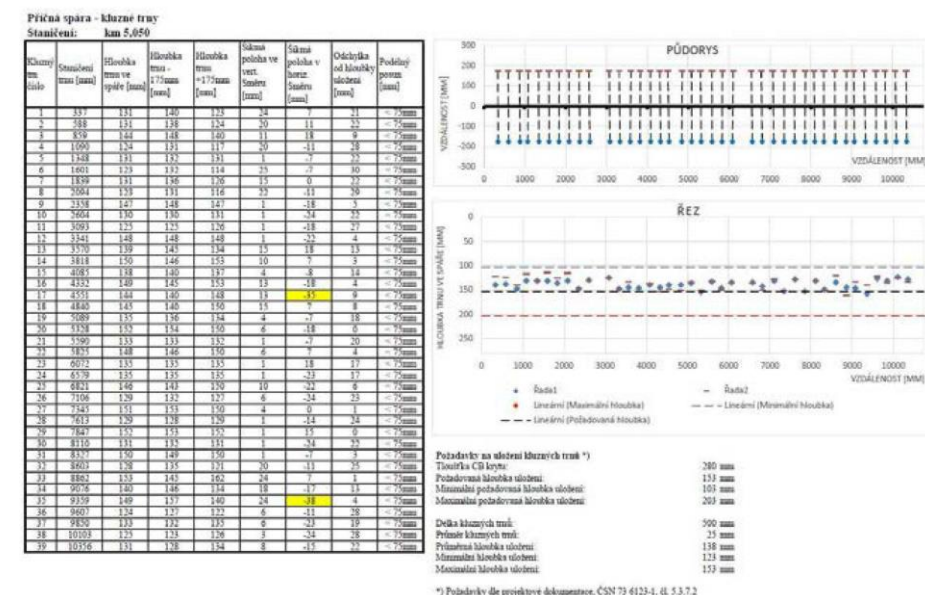
- zařízení DBI na finišeru WIRTGEN SP 154i
- Testování nasucho



[O. Dolan, EUROVIA, Kompozitní kluzný trn, Betonové vozovky 2024] **41**

Experimentální ověření pokládky

- zařízení DBI na finišeru WIRTGEN SP 154i
- zkušební úsek D48, km 4,685 – 4,860 L
- červen 2023
- 1326 ks, 34 příčných spár
- měření polohy georadarem



Příklady realizací

D5, km 136,150-144,200 R, oprava CB vozovky

- duben – červen 2024
- EUROVIA – STRABAG – REKMA
- 72 000 ks



[O. Dolan, EUROVIA, Kompozitní kluzný trn, Betonové vozovky 2024]

43

Příklady realizací

D4, úsek 05: Čimelice – Mirostice, odpočívka Krsice

- srpen – říjen 2024
- DiVia stavební, s.r.o.
- 12 000 ks



[O. Dolan, EUROVIA, Kompozitní kluzný trn, Betonové vozovky 2024]

44

Příklady realizací

Letiště Leoše Janáčka Ostrava, odbavovací plocha APN S3

- Říjen 2023 – září 2024
- EUROVIA CZ a.s.
- 26 000 ks



[O. Dolan, EUROVIA, Kompozitní kluzný trn, Betonové vozovky 2024]

45

Příklady realizací

Letiště Brno-Tuřany, rozšíření plochy APN M

- březen – květen 2024
- EUROVIA CZ a.s.



[O. Dolan, EUROVIA, Kompozitní kluzný trn, Betonové vozovky 2024]

46

Závěry

Kompozitní konstrukce kluzného trnu s ocelovým jádrem

- Snížení hmotnosti (+ pro dopravu, manipulaci, krádeže)
- Zvýšená odolnost povrchu (úder, solná mlha)
- STO získáno 2024
→ první realizace (~100 000 ks v roce 2024)

Vývoj pokračuje...

- Čedičové jádro
- Otázka detekce
- Analýza životního cyklu, recyklace

