

Návrhy betonových konstrukcí na základ požadovaných výsledných vlastností (performance-based design)

Autor: Vít Šmilauer, VUT, WP7

WP7: Systémy hospodaření, posuzování trvanlivosti a oceňování životního
cyklu v dopravní infrastruktuře

*Průspěvek byl zpracován za podpory programu Centra kompetence
Technologické agentury České republiky (TA ČR) v rámci projektu
Centrum pro efektivní a udržitelnou dopravní infrastrukturu (CESTI),
číslo projektu TE01020168*

Dva p ístupy k návrhu

- P edpisová specifikace (**prescriptive-based design**)

- V tšina kód , nap . SN EN 206+A1
- Snadná kontrola
- Jasn é smluvní vztahy
- Pevnost je zástupce mnoha vlastností
- Inova ní brzda, otázka trvanlivosti

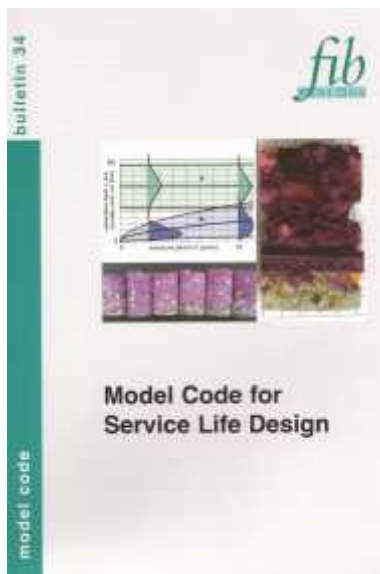
	Stupně vlivu prostředí														
	Bez nebezpečí koroze nebo namožení	Koroze způsobená karbonací				Koroze způsobená chloridy			Působení mrazu a rozmrazování				Chemický agresi v prostředí		
		XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3
Maximální tloušťka (mm)	0,05	1,00	0,55	0,50	0,55	0,50	0,45	0,55	1,00	0,50	0,30	0,55	0,50	0,45	
Vláhivost (převzatá vlhkost)	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60	C55/70	C60/80	C65/80	C70/90	C75/95	
Vláhivost (voda) (kg/m ³)	-	260	280	300	330	350	370	400	400	420	440	470	470	480	

- Specifikace na základ výsledných vlastností (**performance-based design**)

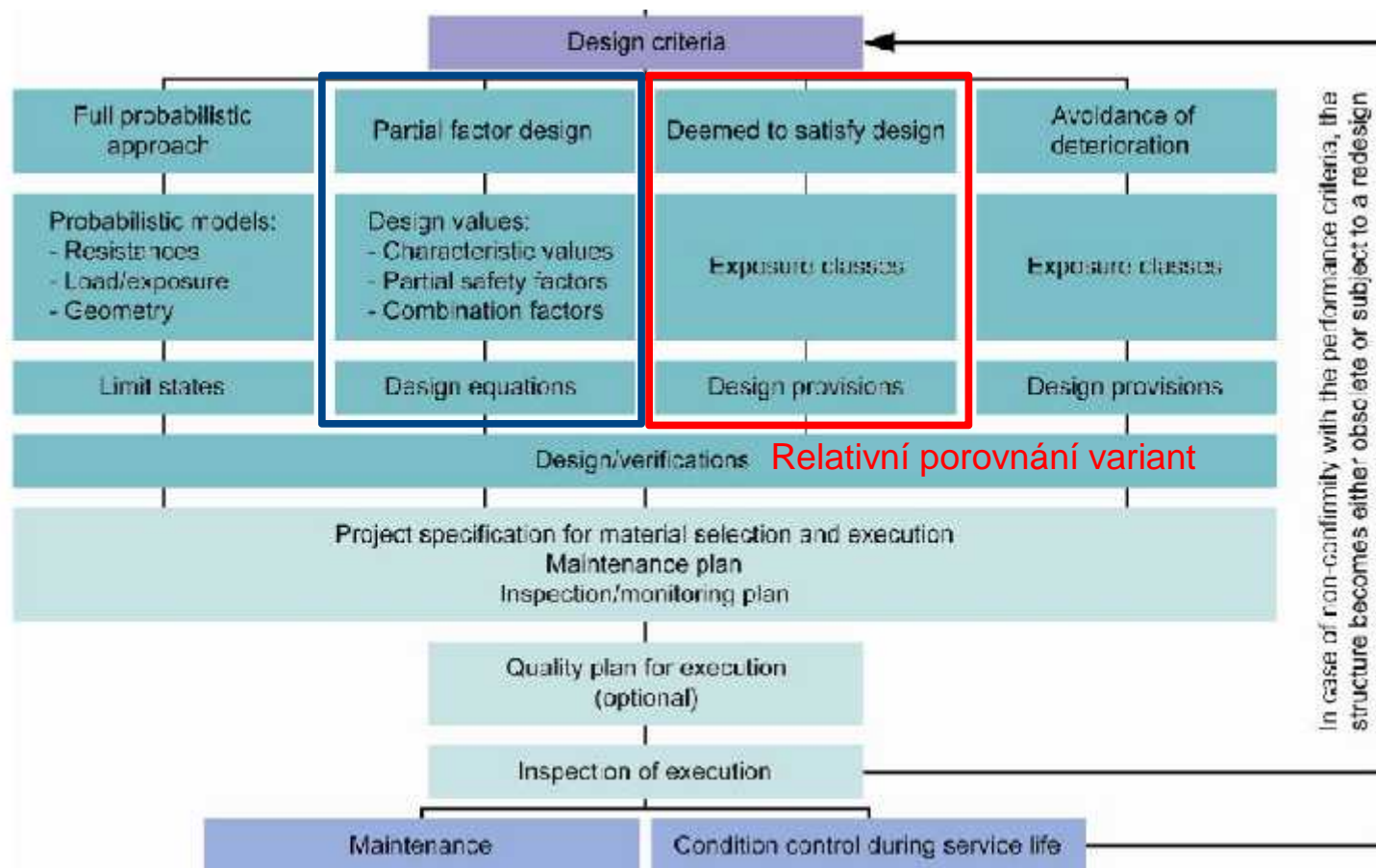
- NRMCA: Fun ní požadavky na beton s ohledem na aplikaci
- ACI-ITG: Specifikace na základ výsledných vlastností bez požadavk na jejich dosažení
- SN EN 206: Typový beton
- V tší nároky na projektanta, dodavatele a investora
- Pr kazní zkoušky, kontrola kvality

Performance-based design

- FiB Bulletin 34 – životnost (karbonatace, chloridy, mráz)



2006

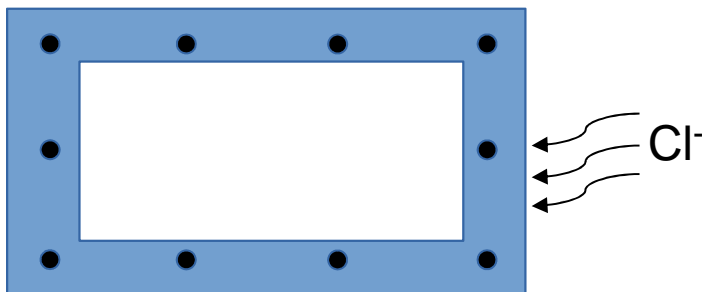


Induk ní doba pro korozi výztuže - chloridy

- Stojky dální ních portál , Eurovia (2014)
- Výrobní náklady variant srovnatelné

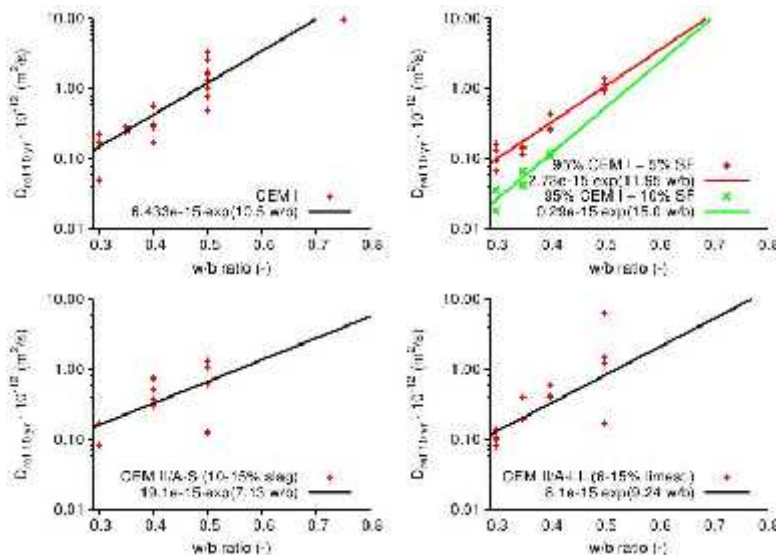


Ocelová varianta	Životnost ~30 let
Ocelobetonová varianta	Životnost ~30 let
Železobetonová varianta	Životnost 100 let



Induk ní doba pro korozi výztuže - chloridy

- Databáze sou initel difúze pro chloridy (10 let expozice)
- Software CarboChlorCon (xlsx), DuraCrete 2000



$$C(x, t) = C_s \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{D_m(t)f(w)t}} \right) \right]$$

$$f(w) = 31.61w^2 + 4.73w + 1$$

Beton stojky C55/67, w/b=0.38, CEM II/A-S

$D_{ref,mean} = 1.12e-13 \text{ m}^2/\text{s}$

Varia ní sou initel 10%

$D_{ref,c} = 1.12e-13 * (1 + 0.1 * 1.645) = 1.3e-13 \text{ m}^2/\text{s}$

$D_{ref,d} = 1.3e-13 * 2.0 = 2.6e-13 \text{ m}^2/\text{s}$

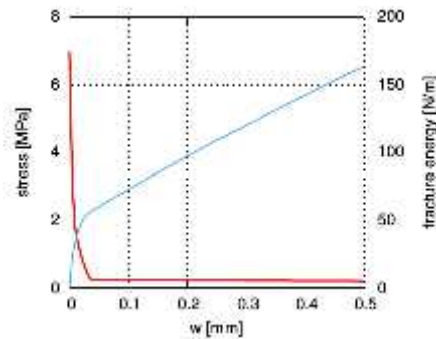
$C_{crit,d} = 0.6\% \text{ hm. pojiva}$

$C_{surf,d} = 1.7\% \text{ (zm eno na Jižní spojce)} * 2.3 = 3.9\%$

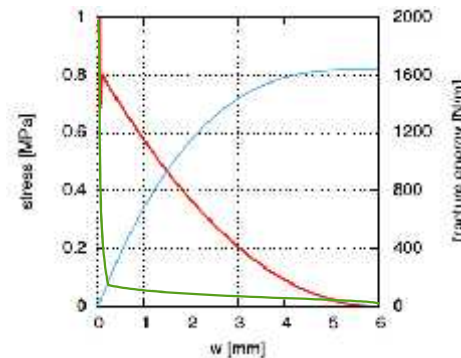
Ší ka trhliny Krytí	0 mm	0,1 mm	0,2 mm
50 mm	100 let	34 let	7 let
70 mm	238 let	109 let	38 let

Optimalizace UHPFRC panel

- Spolupráce se SKANSKA, a.s., WP3
- Zlepšení duktility s použitím PP+PE makrovláken



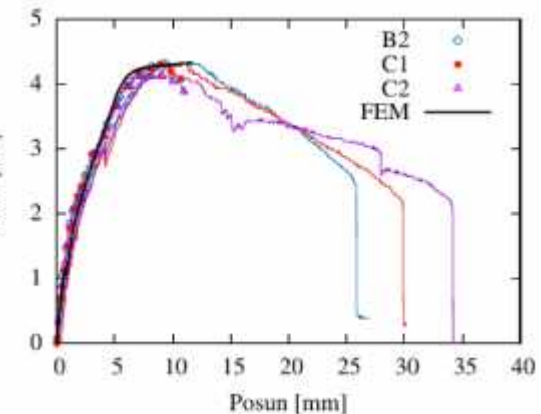
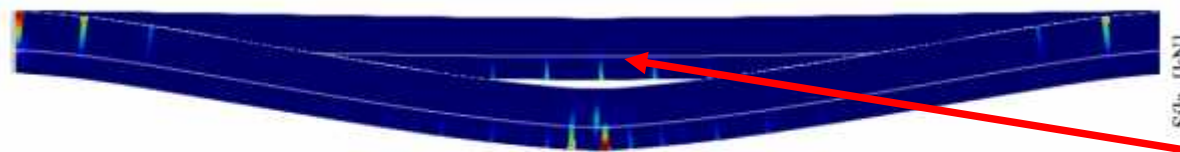
Ø130 µm – p vodní PVA vlákna
5,5 J/p í ku



Ø480 µm – makrovlákna
16,5 J/p í ku



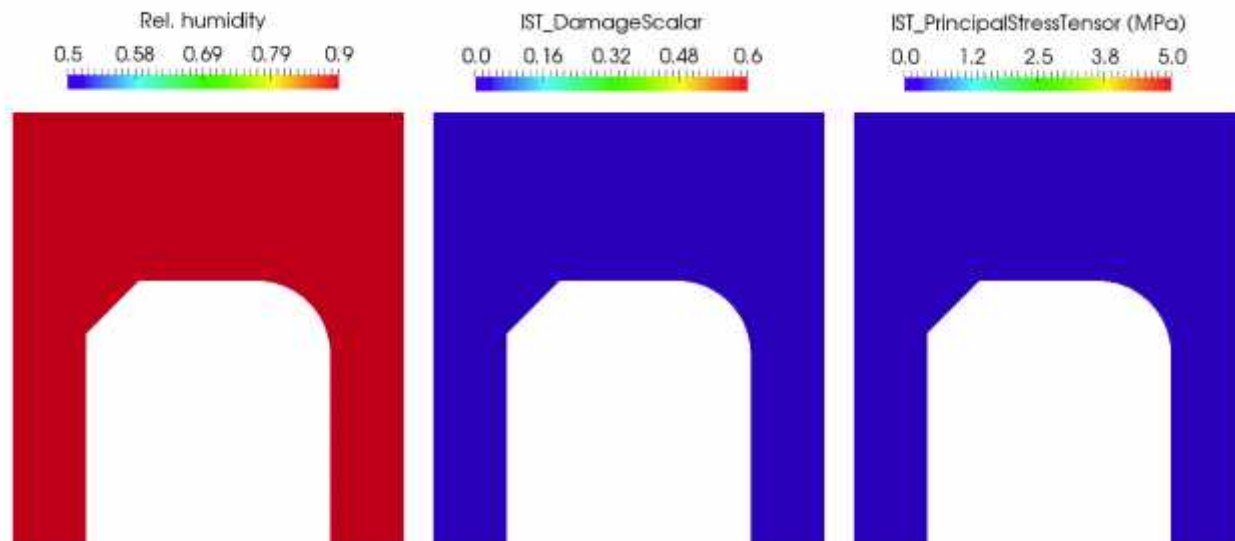
- Test sloupku zábradlí na 2,5D modelu



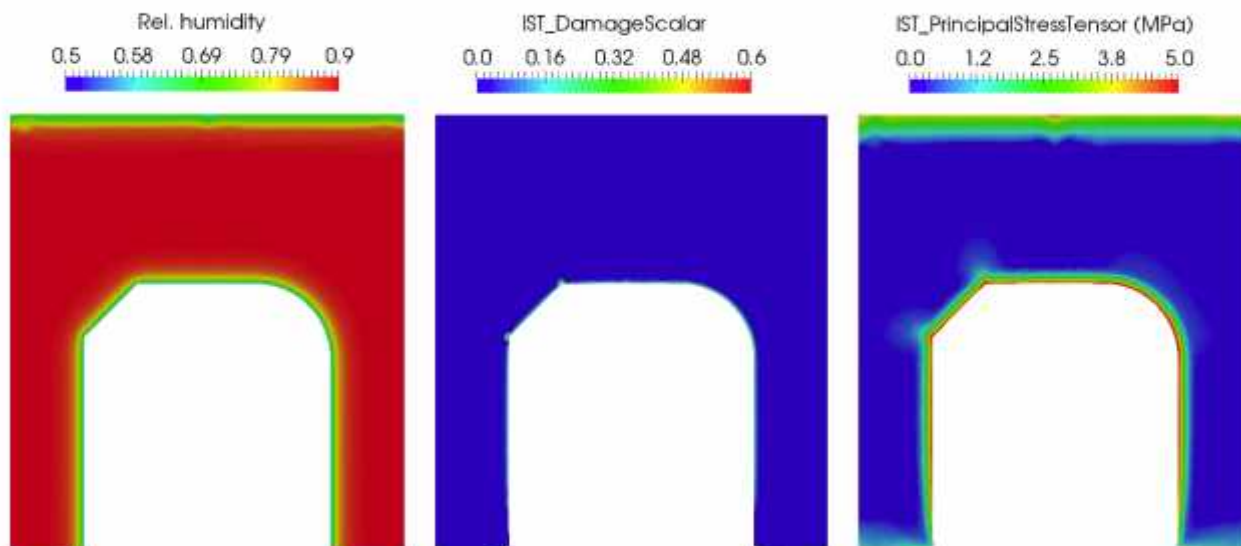
Optimalizace UHPFRC panel

- Lokalizace deformace a trhliny, 2 geometrie

Před vysycháním

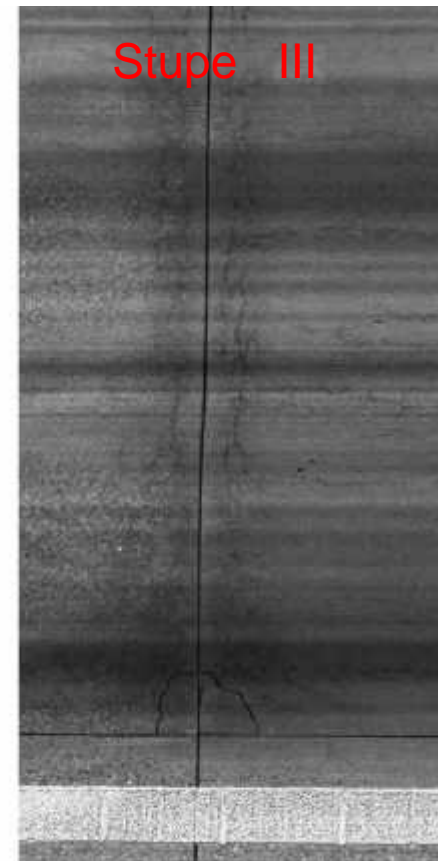
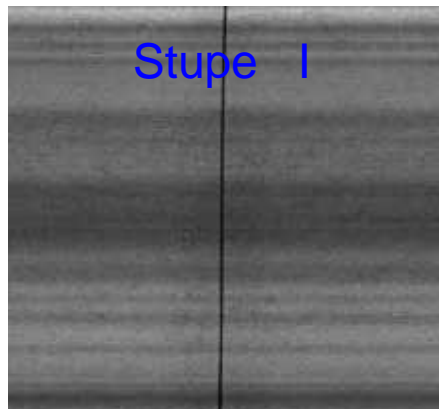


2 dny od počátku vysychání



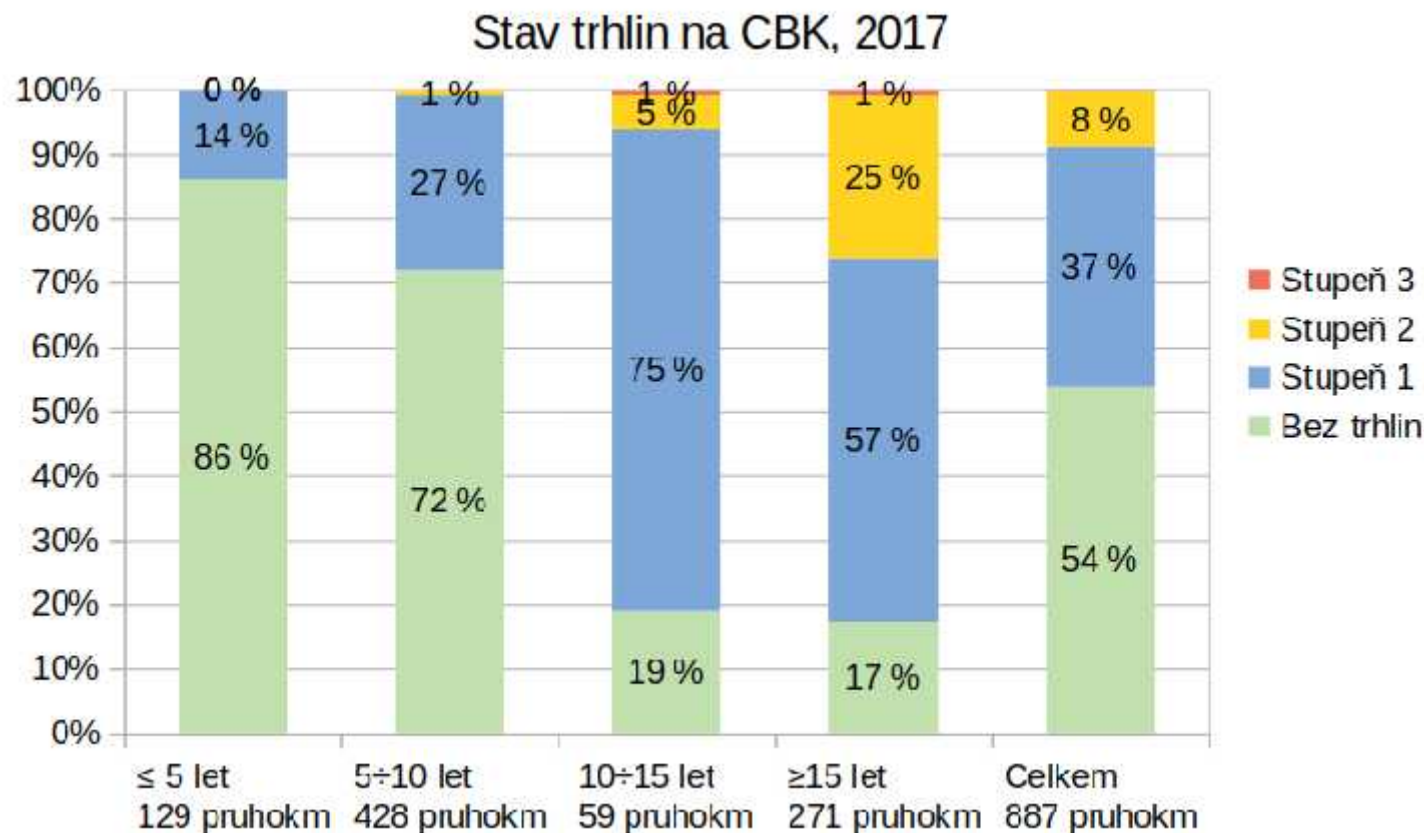
Omezení trhlin v cementobetonových krytech

- Ve spolupráci se Skanska, SD, Eurovia, Strabag
- Laser crack measurement system (LCMS), á 1-2 roky
- 877 pruhokilometr z celkových cca 1650 CBK



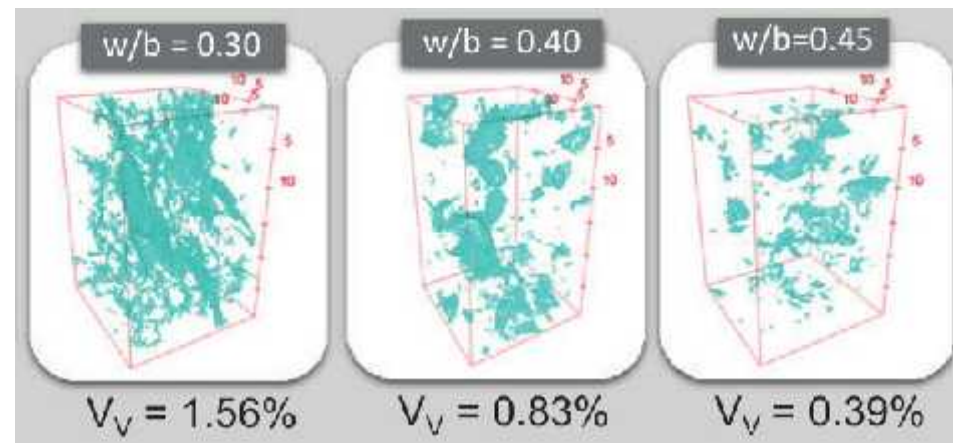
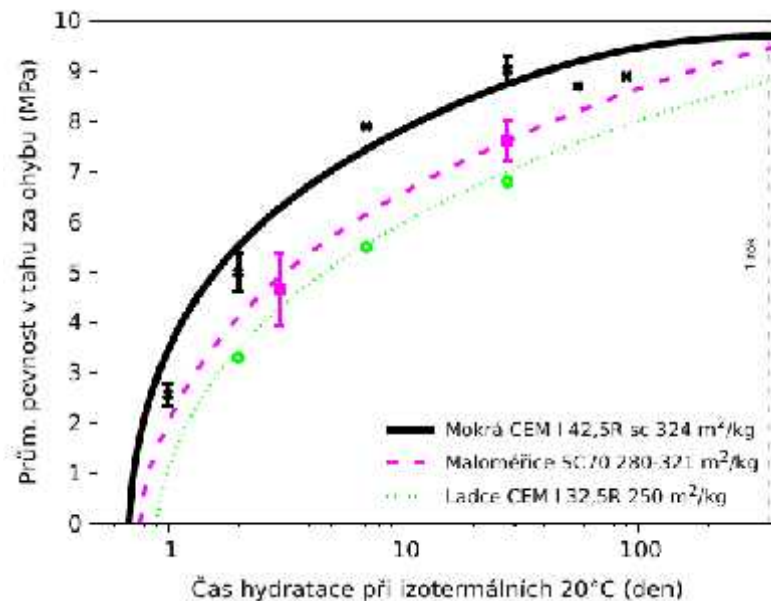
Omezení trhlin v cementobetonových krytech

- Problém povrchových trhlin až po roce ~1990
- Skokové zhoršení po 10-15 letech provozu
- P vodní CBK D1 Mirošovice-Kývalka vykazuje minimální vznik povrchových trhlin



Omezení trhlin v cementobetonových krytech

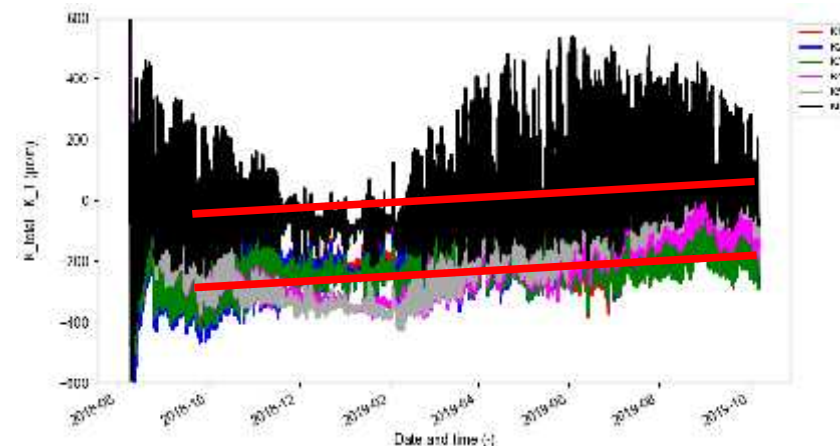
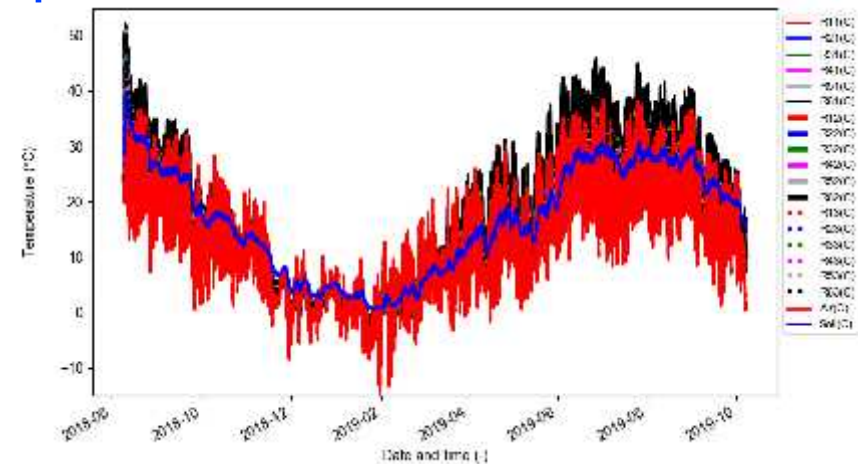
- Primární příiny
 - Přímys kaolinitu, nekvalitní kamenivo velká expanze při saturaci (D5)
 - Příliš vlná aplikace postřiku proti odparu vody smrštění při vysychání
 - ASR vyvrácena testy na D1, D5, D35 na Bauhaus-Universität Weimar, 2018. ASR potvrzena pouze na úseku D11.
 - Křehké betony příliš vysokých pevností (nižší dotvarování)
 - Cementy s příliš rychlým chemickým smrštěním (třída CEM I 42,5 R)



Mikrotrhliny v cementové maltě po 14 dnech zrání v uzavřených ampulích, CEM I 52,5 R. Rozměry mikrostruktur jsou 21×21×30 mm

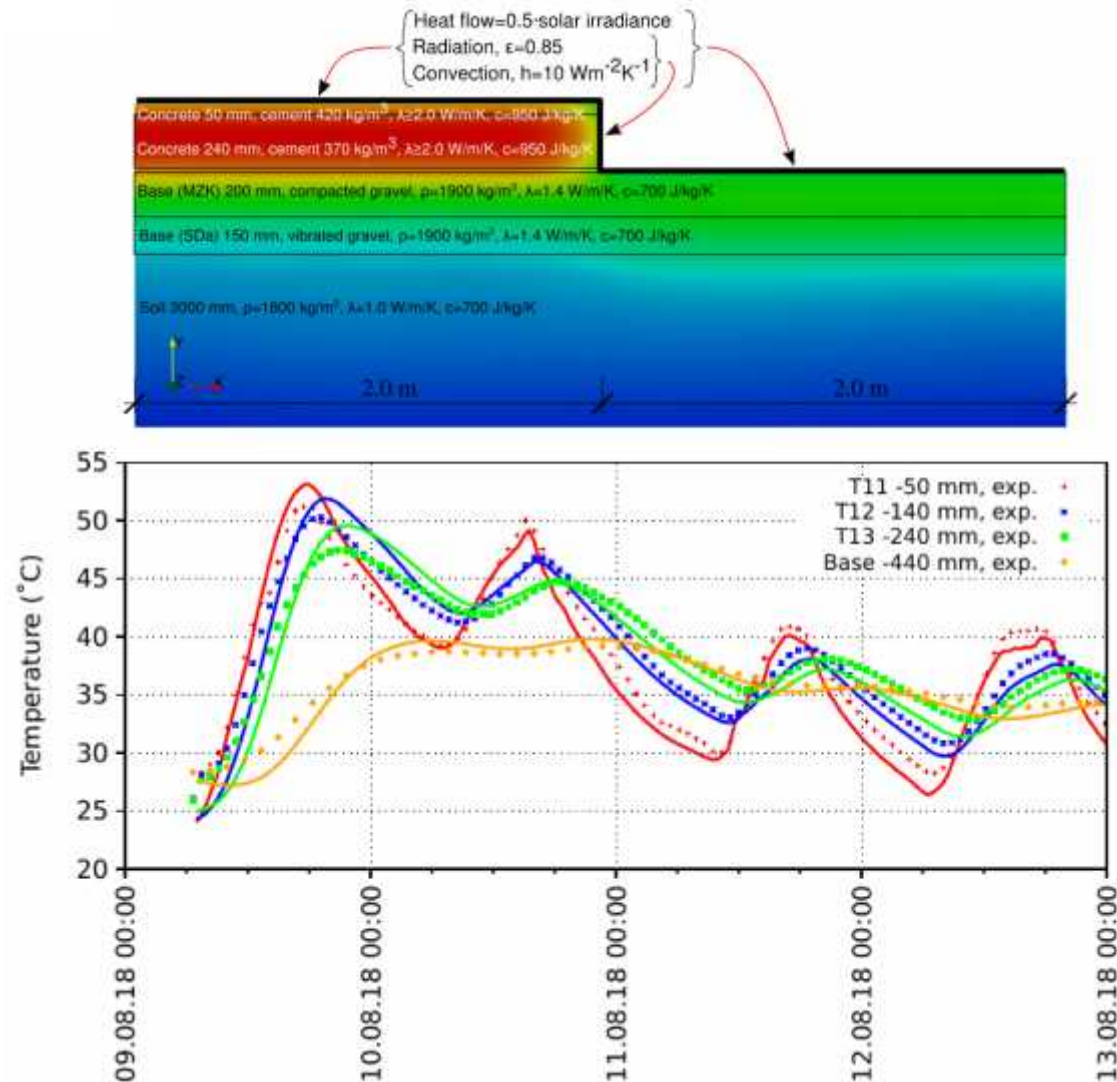
Omezení trhlin v cementobetonových krytech

- Zkušební úsek D1 P erov-Lipník nad Be vovou
- 7 km CBK (substituce slínku vysokopecní struskou)
- Dlouhodobý monitoring teplot a deformací (od 9.8.2018)
- 18 strunových tenzometrů, teplota vzduchu, oslunění



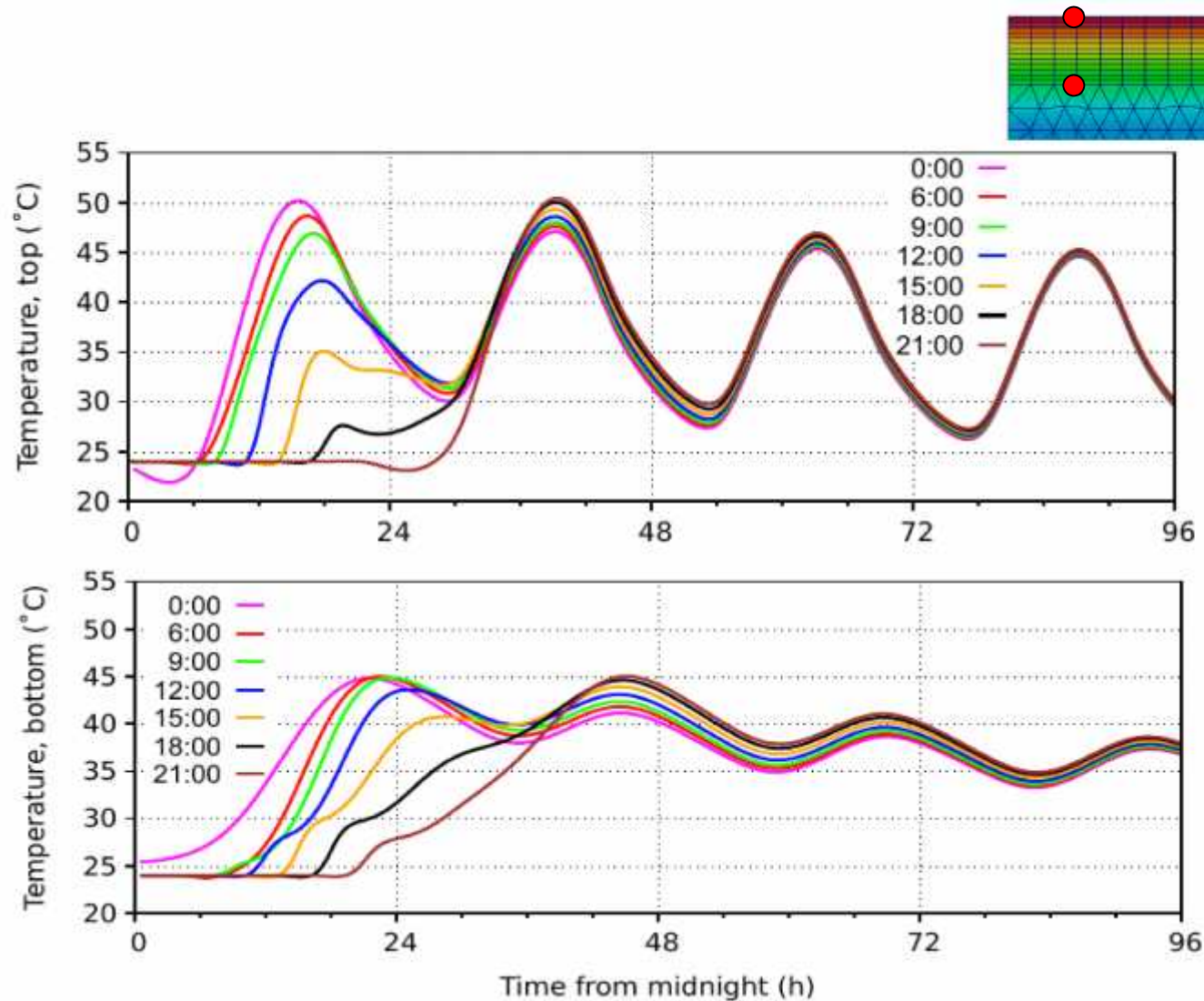
Omezení trhlin v cementobetonových krytech

- Model vedení tepla
$$-\nabla^T q(x) + \bar{Q}(x, t) = \rho(x)c_V(x) \frac{\partial T(x, t)}{\partial t}$$



Omezení trhlin v cementobetonových krytech

- Nejvhodnější čas letní betonáže 13:00-22:00 hodina



Computed with
OOFCM.ORG

Závěr

- Návrh na základě požadovaných výsledných vlastností (performance-based design)
 - Difúze chloridů na stojkách dálních portálů
 - Omezení trhlin na UHPFRC panelech
 - Omezení trhlin na CB krytech, doba betonáže
- Nové funkční požadavky – trvanlivost, bezúdržbovost, robustnost, sušší a teplejší klima, vložená energie, CO₂, LCC.



Lewis Tuthill (1976): “It is a foolish game to take pride in high strengths - these mean a higher modulus, reduced creep, and a lower strain capacity and resistance to cracking.”