



ZKOUŠENÍ A MODELOVÁNÍ DRÁTKOBETONOVÝCH SEGMENTŮ V ČR

Matouš Hilar - FSv ČVUT a D2 Consult Prague s.r.o.

Petr Vítek – Metrostav a.s.

Radomír Pukl - Červenka Consulting s.r.o.

1. Část – doc. Ing. Matouš Hilar

- Zahraniční zkušenosti s danou problematikou
- Základní údaje o výzkumu v ČR
- Zkoušení a modelování trámců

2. Část – Dr. Ing. Petr Vítek

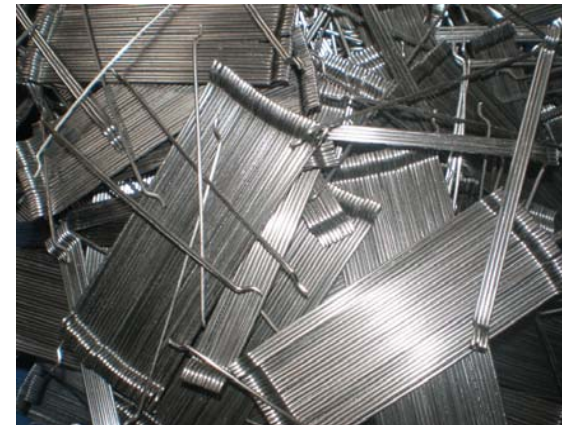
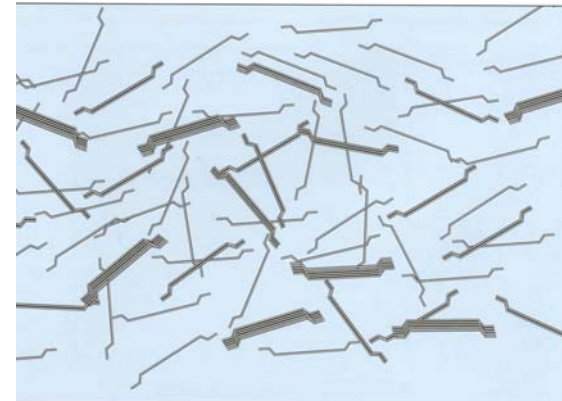
- Zkoušení a modelování segmentů



Segmenty z drátkobetonu (alternativní způsob vyztužení)



Prutová výztuž nahrazena ocelovými vlákny (drátky)



Výhody segmentů z drátkobetonu

- Rychlejší a jednodušší výroba
- Menší prostorová náročnost výroby
(odpadá skladování armatury)
- Nižší spotřeba oceli
- Možnost úspor
- Redukce nebezpečí odlamování hran a rohů
- Předpoklad delší životnosti (nehrozí koroze výztuže)

Nevýhoda: Nižší ohybová únosnost !



Projekty využívající drátkobetonové segmenty

Brisbane Airport Link – 11,35 m (silniční tunel)

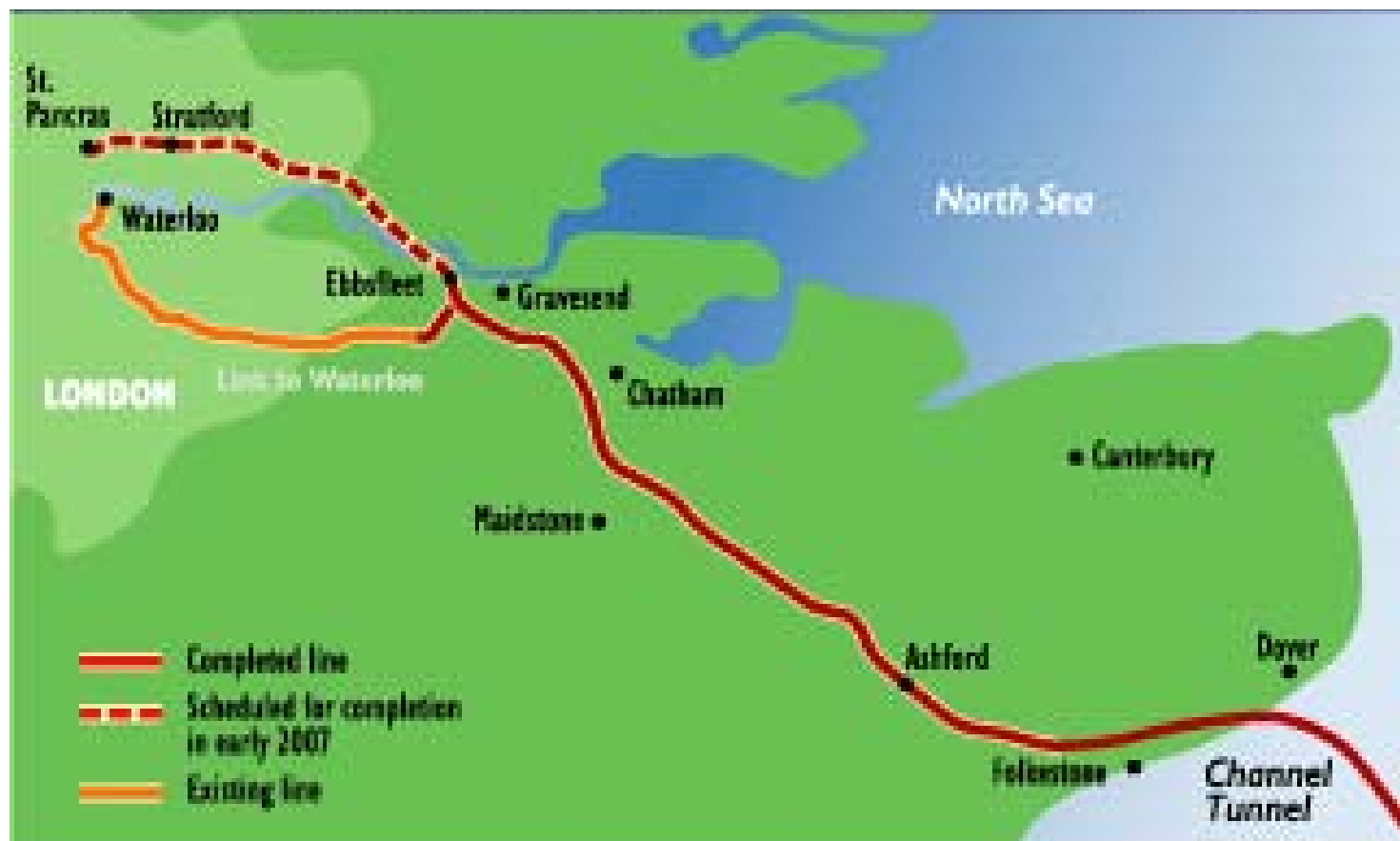
	Název projektu	Země	Účel	Uvedení do provozu	Celková délka [km]	Vnitřní profil [m]	Množství drátků [kg/m ³]	Prutová výztuž
1	Abatemarco	Itálie	Vodovodní		18,0	3,5	40	ne
2	Fanaco	Itálie	Vodovodní		4,8	3		
3	Neapolské metro	Itálie	Metro	1995	5,2	5,8	40	ne
4	Metro Janov	Itálie	Metro			6,2	25	ano
5	Barcelona - linie 9	Španělsko	Metro	2014	43,0	12	30 a 25	ano
6	Madrid metro	Španělsko	Metro			10	25	ano
7	Heathrow - zavazadlový	Velká Británie	Zavazadlový	1995	1,4	4,5	30	ne
8	Jubilee Line Extension	Velká Británie	Metro	1999	2,4	4,45	30	ne
9	Channel Tunnel Rail Link	Velká Británie	Železniční	2007	48,0	7,15	30	ne
10	Heathrow - HexEx	Velká Británie	Železniční	2008	3,2	5,675	30	ne
11	Heathrow - PiccEx	Velká Británie	Metro	2008	3,2	4,5	30	ne
12	Heathrow - SWOT	Velká Británie	Vodovodní	2006	4,0	2,9	30	ne
13	Prodloužení DLR	Velká Británie	Železniční	2009	3,6	5,3		
14	Portsmouth	Velká Británie	Vodovodní		8,0	2,9		
15	Sorenberg	Švýcarsko	Plymovodní	2002	5,2	3,8	40	ne
16	Oenzberg - TBM	Švýcarsko	Železniční	2004	0,1	11,4	30	ano
17	Oenzberg - štít	Švýcarsko	Železniční	2004	1,0	11,4	60	ne
18	Hachinger Stollen	Německo	Vodovodní	1998	7,0	2,2		
19	Hofoldingner Stollen	Německo	Vodovodní	2007	17,5	2,9	40	ne
20	Wehrhahnlinie Düsseldorf	Německo	Metro	2014		8,3	30	ne
21	Teplovod v Kodani	Dánsko	Teplovodní	2009	3,9	4,2	35	ne
22	Kanalizace Big Walnut	USA	Kanalizační	2008	4,8	3,7	35	ano
23	San Vicente	USA	Vodovodní	2006	13,2	2,6	30	ne
25	Brightwater East	USA	Kanalizační	2010	4,2	5	35	ne
26	Brightwater Central	USA	Kanalizační	2010	9,7	4,7	40	ne
27	Brightwater West	USA	Kanalizační	2010	6,4	3,7	35	ne
28	La Esperanza	Ekvádor	Vodovodní	2002	15,5	4	30	ne
29	Sao Paulo metro	Brazílie	Metro		1,5	8,43	35	
30	Gold Coast	Austrálie	Průmyslový / vodovodní	2008	4,2	2,8	35	ne
31	Hobson Bay	Nový Zéland	Kanalizační	2009	3,0	3,7	40	ne
32	Lesotho Highlands	Jižní Afrika	Vodovodní	1995	0,1		50	ne
33	STEP Abu Dhabi	Spojené Arabské Emiráty	Kanalizační	2014	15,6	5,5	30	ano
34	Štoly MRT Line	Singapur	Technologický		1,4	5,8	30	ne
35	Železniční tunely Singapur	Singapur	Železniční			5,8	35	ne
36	Brisbane Airport Link	Austrálie	Silniční		4	11,34		

Matouš Hilar, Petr Vitek, Radomír Pukl

Zkoušení a modelování drátkobetonových segmentů v ČR



Channel Tunnel Rail Link (CTRL)



Channel Tunnel Rail Link (CTRL)

- Realizace: 2003 - 2004
- Délka: 2 x 24 km
- Vnitřní průměr: 7,15 m
- Mocnost ostění: 350 mm
- Množství oceli: 30 kg/m³
- PP vlákna: 1 kg/m³
- Počet segmentů: 9 + 1
- Životnost: 120 let



Výzkum drátkobetonových segmentů v ČR – od 2010

- FSv ČVUT
 - katedra geotechniky
 - katedra betonových a zděných konstrukcí
- Metrostav a.s.
- Prefa Senec - Doprastav a.s. – výroba vzorků
- ČVUT – Kloknerův ústav – zatěžovací zkoušky
- Červenka Consulting s.r.o. – numerické modelování
- VŠB TU Ostrava, Betotech s.r.o.



Výroba trámců a krychlí

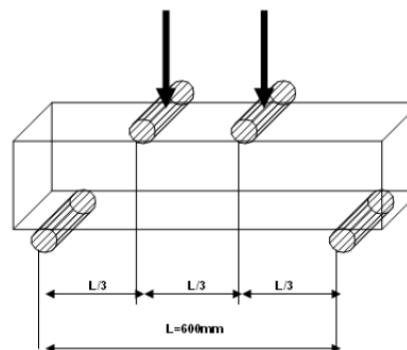
- Ověření vlastností betonu
- Porovnání různých drátků
- Porovnání různého dávkování drátků
- Porovnání různých zkušeben



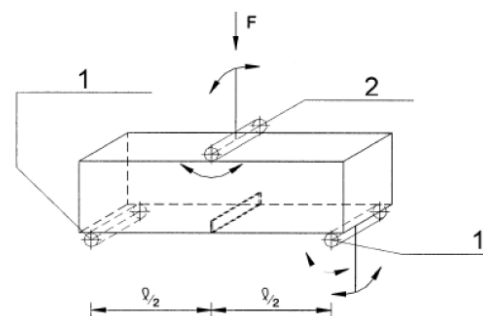
Zkoušení trámců a krychlí

Trámce (ohyb)

- 4 bodový (DBV-Merkblatt)



- 3 bodový (EN14651)



• Krychle (tlak)



• Stanovení parametrů

Matouš Hilar, Petr Vítek, Radomír Pukl

Zkoušení a modelování drátkobetonových segmentů v ČR

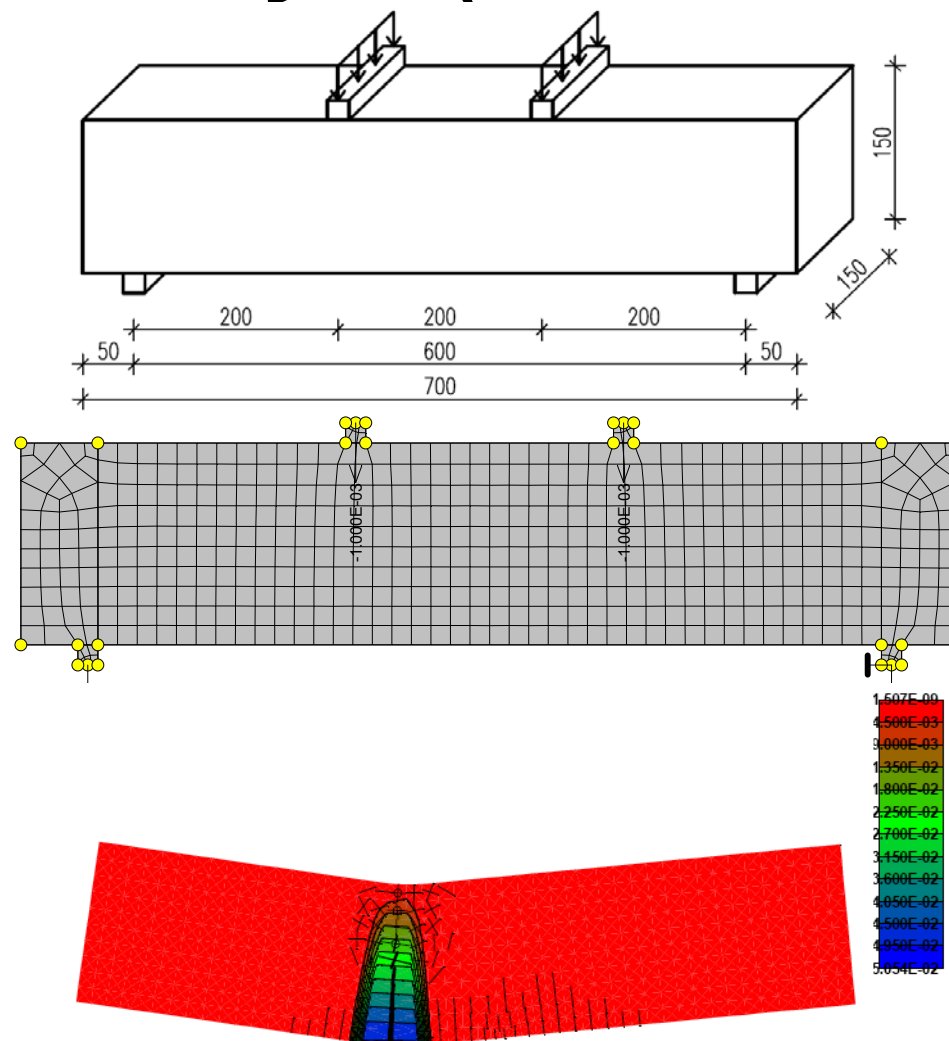


Numerické modelování trámů

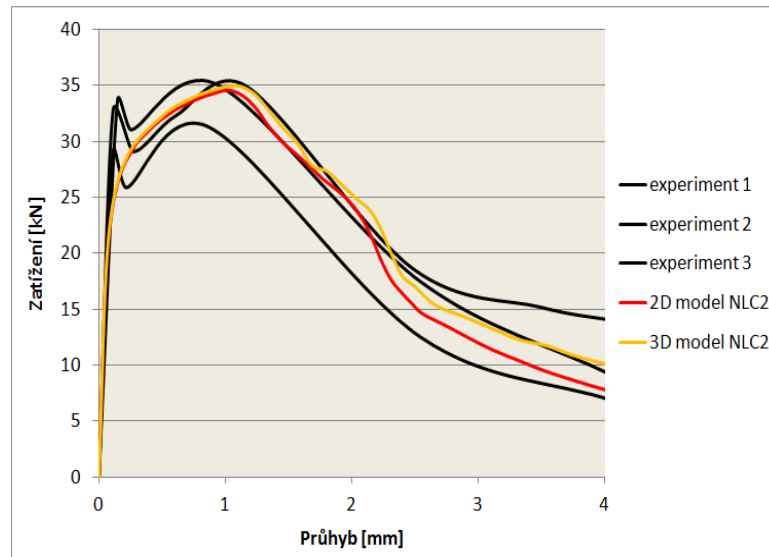
- Realizovala firma Červenka Consulting s.r.o.
- Program ATENA 2D a 3D (nelineární program zaměřený na analýzu betonových konstrukcí založený na metodě konečných prvků)
- Pokročilé materiálové modely:
 - SBETA
 - Nonlinear Cementitious (NLC2)
- Kalibrace dle provedených zatěžovacích zkoušek



Zpětná analýza (kalibrace modelu)



Zpětná analýza (kalibrace modelu)



Srovnání drátkobetonu s prostým betonem: jsou vyšší parametry lomové energie a duktility v tlaku; tahová pevnost byla poněkud snížena – jedná se o parametr numerického modelu, nikoli o skutečnou fyzickou vlastnost materiálu drátkobetonu.

	E	μ	f_t	f_c	G_f	w_d	RC	ρ	α
	[MPa]	[-]	[MPa]	[MPa]	[N/m]	[m]	[-]	[kN/m ³]	[1/K]
Prostý beton	40600	0,2	4,425	-67,3	111	-0,0005	0,2	23	0,000012
Drátkobeton	40600	0,2	2,265	-67,3	2800	-0,0125	1	23	0,000012



Zkoušení a modelování segmentů

Dr. Ing. Petr Vítek



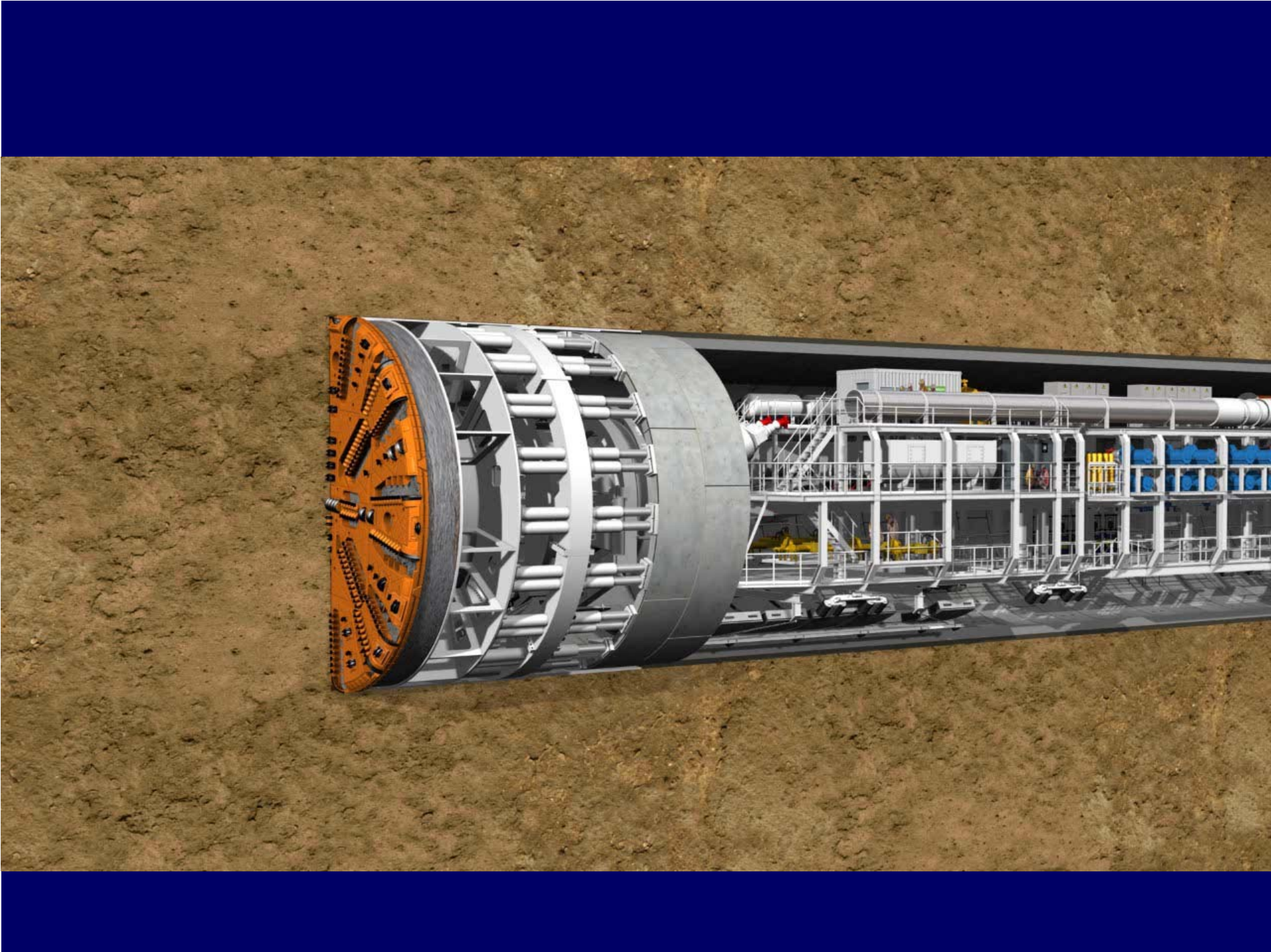
Matouš Hilar, Petr Vítek, Radomír Pukl

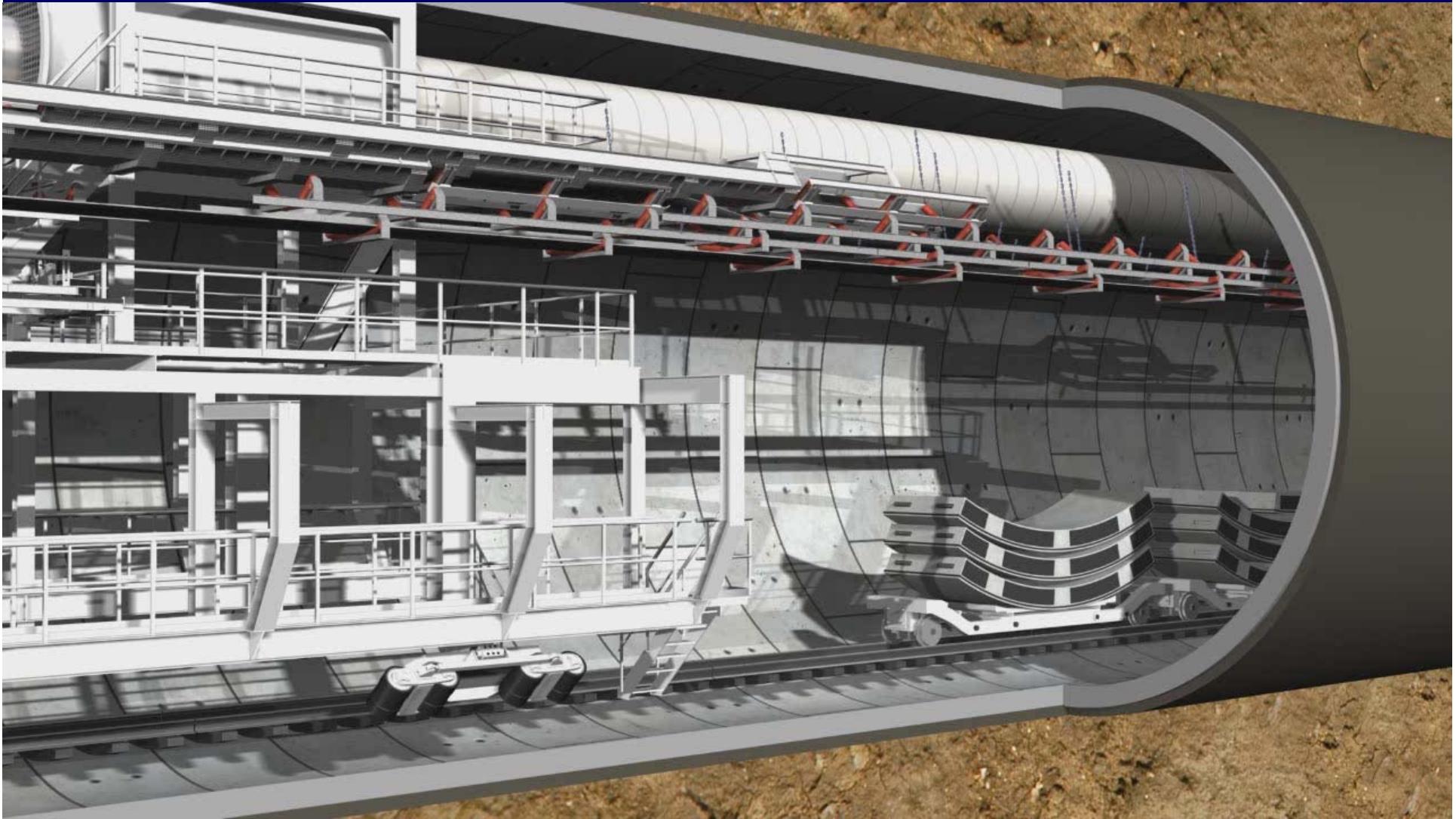
Zkoušení a modelování drátkobetonových segmentů v ČR



Segmentové ostění 1. generace







Výroba segmentů



Formy



Proč FRC ?

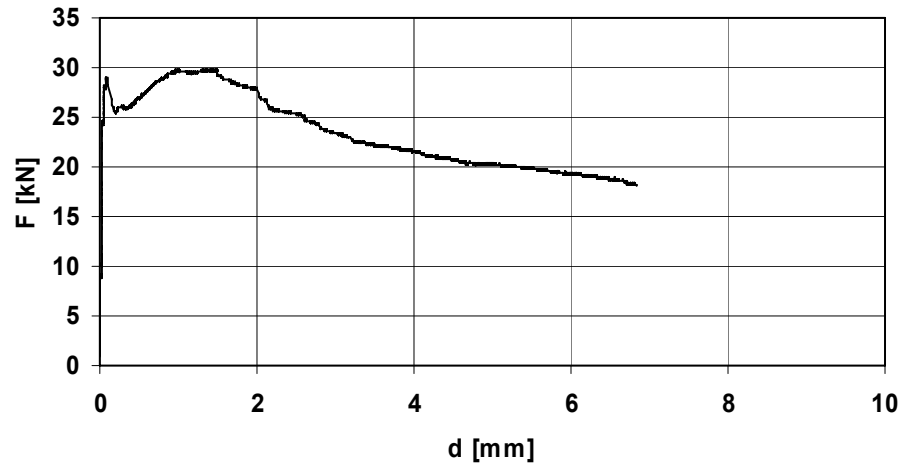
- Soustava zcela rozdílných způsobů namáhání (manipulace, účinky stroje, montáž, stavební zatížení, definitivní zatížení) vyžaduje několik systémů vyztužení klasickou výztuží.
- Homogenita prvku – absence krycí vrstvy
- Vyztužení rohů a tvarově komplikovaných detailů
- Usnadnění výroby
- Snížení ceny
- Rozhoduje mez použitelnosti – těsnost ostění
- Limit únosnosti prvku

Testy trámců FRC

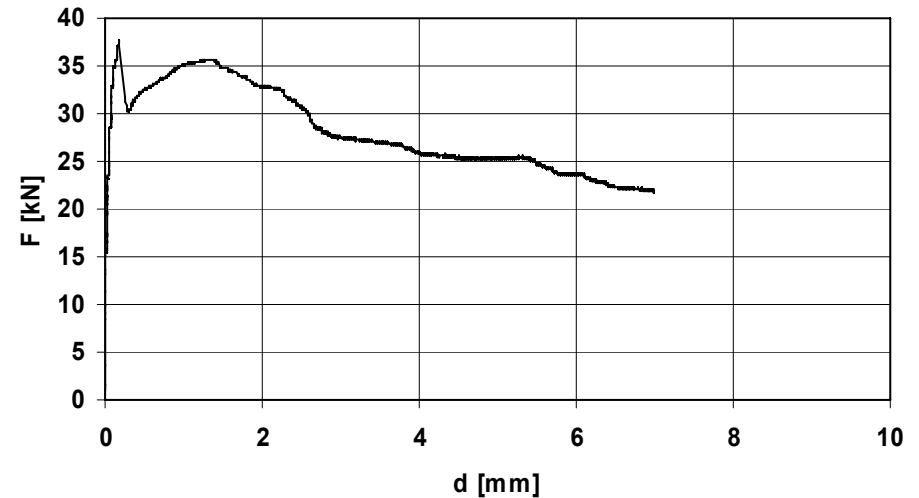


Testy trámců FRC - 50 kg/m³

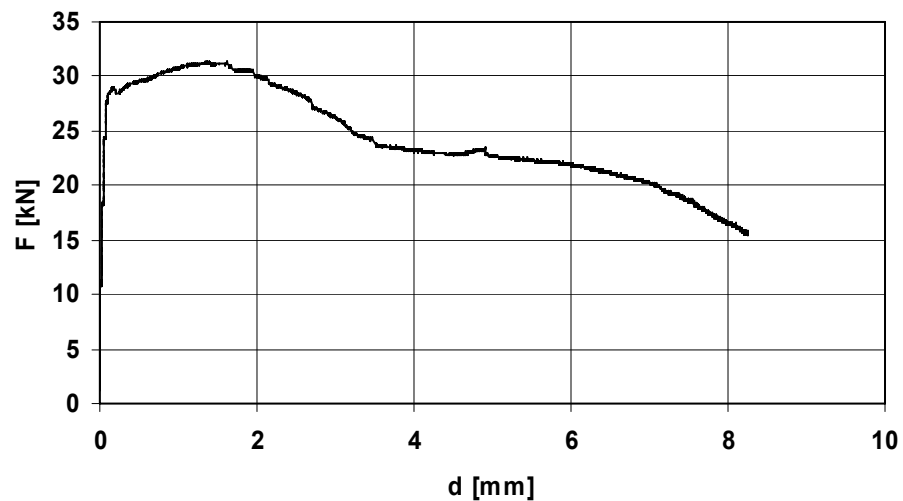
FSv2 - 1



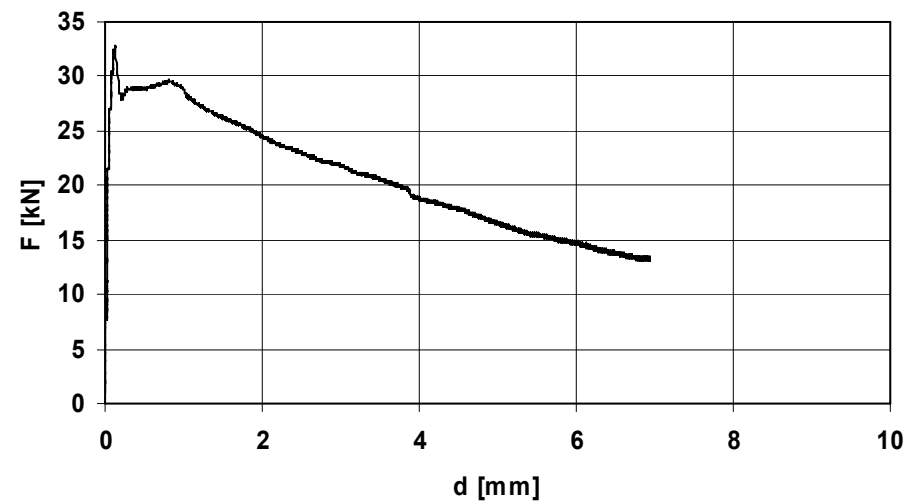
FSv2 - 2



FSv2 - 3



FSv2 - 7



ATENA

program ATENA

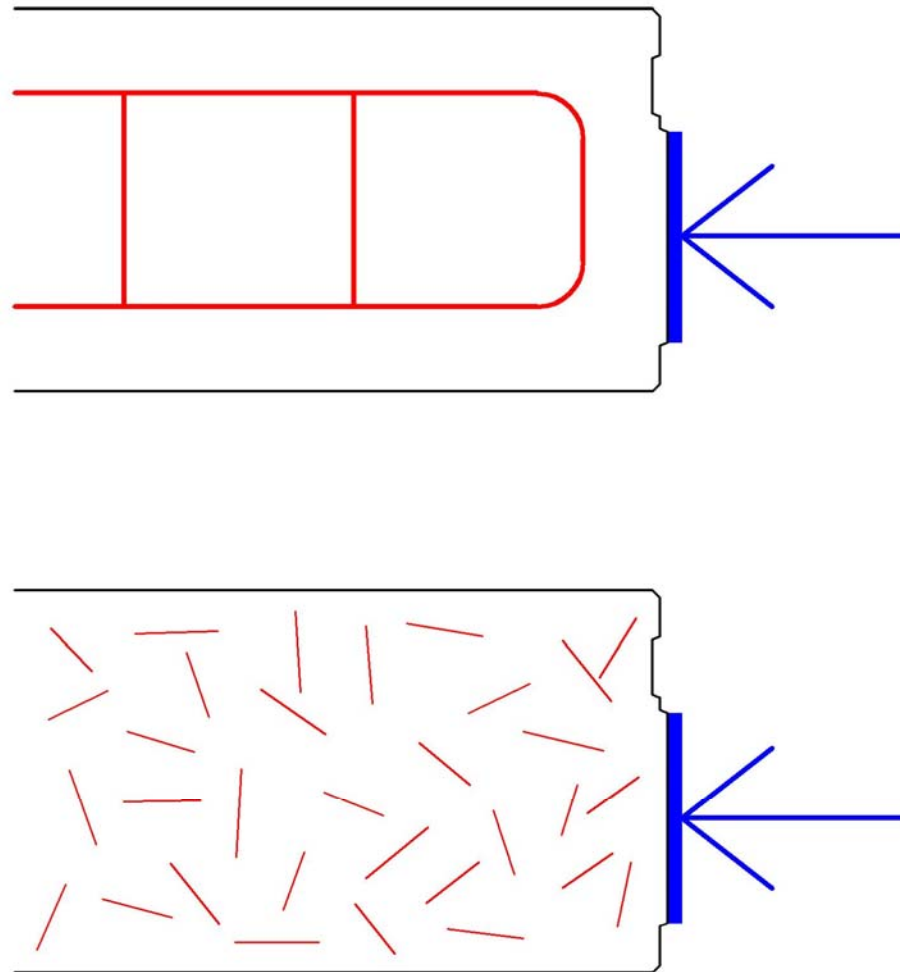
je komerční produkt firmy Červenka Consulting z Prahy,
je celosvětově využíván a uznáván.

Jedná se o software pro výpočet stavebních konstrukcí založený na metodě konečných prvků s využitím nelineárních modelů materiálu. Primárně je určen pro výpočet betonových a železobetonových konstrukcí, lze využít i pro výpočet konstrukcí z drátkobetonu (vláknobetonu).

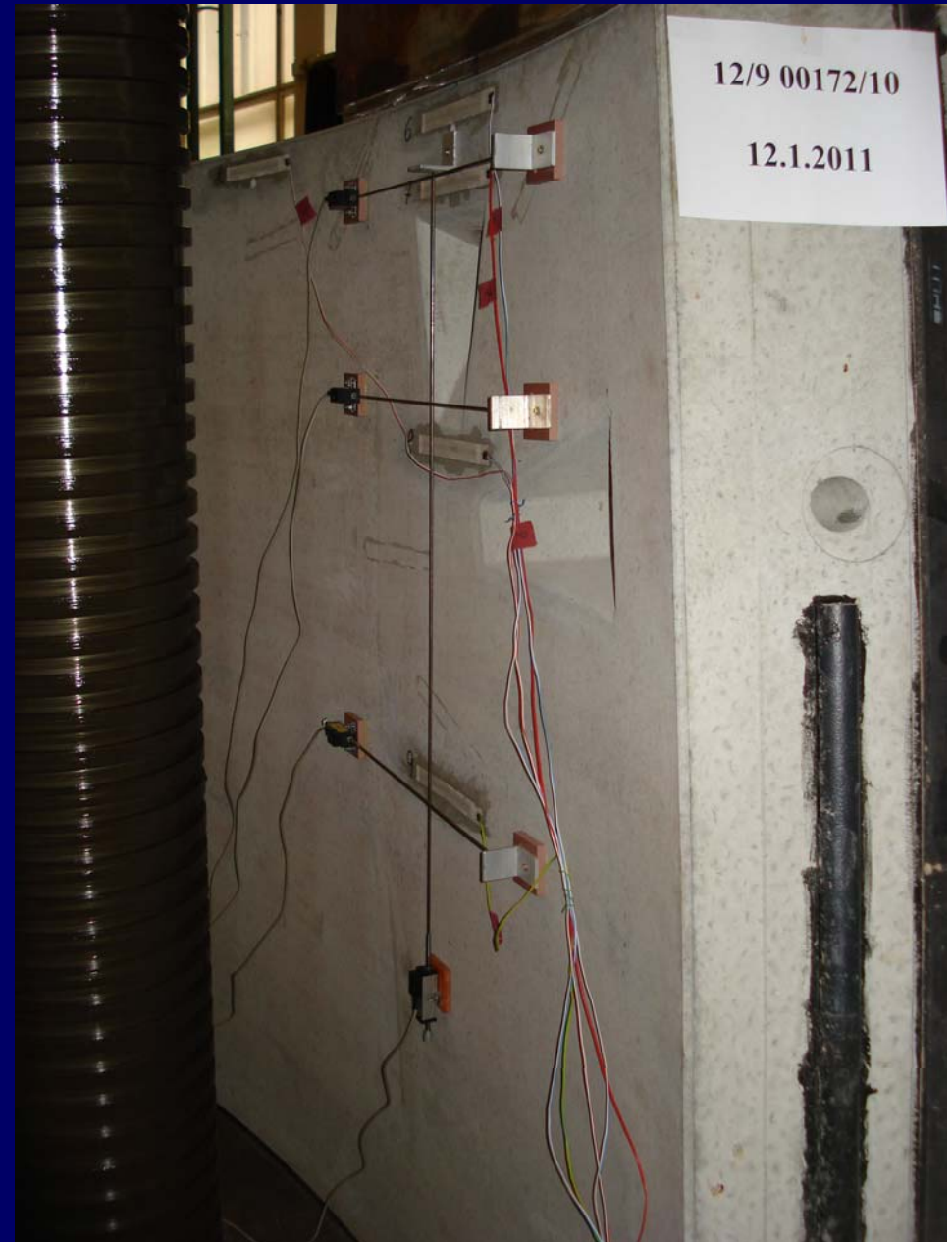
Test tlakového namáhání

- Simulace přítlaku stroje rovnoměrně uloženého segmentu

ŽB - FRC srovnání



Tlak – uspořádání zkoušky



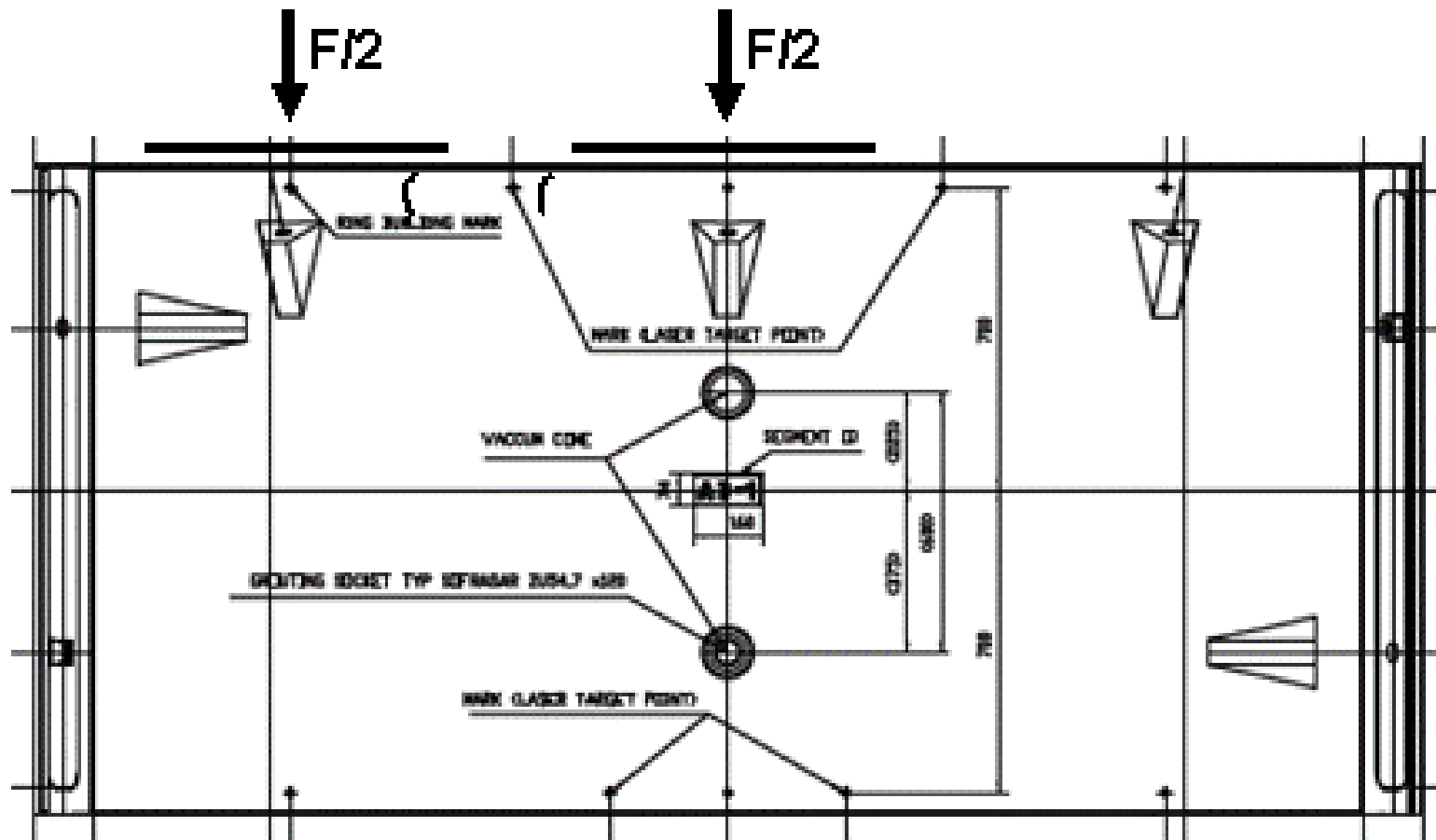
Tlak – uspořádání zkoušky



Měřicí zařízení

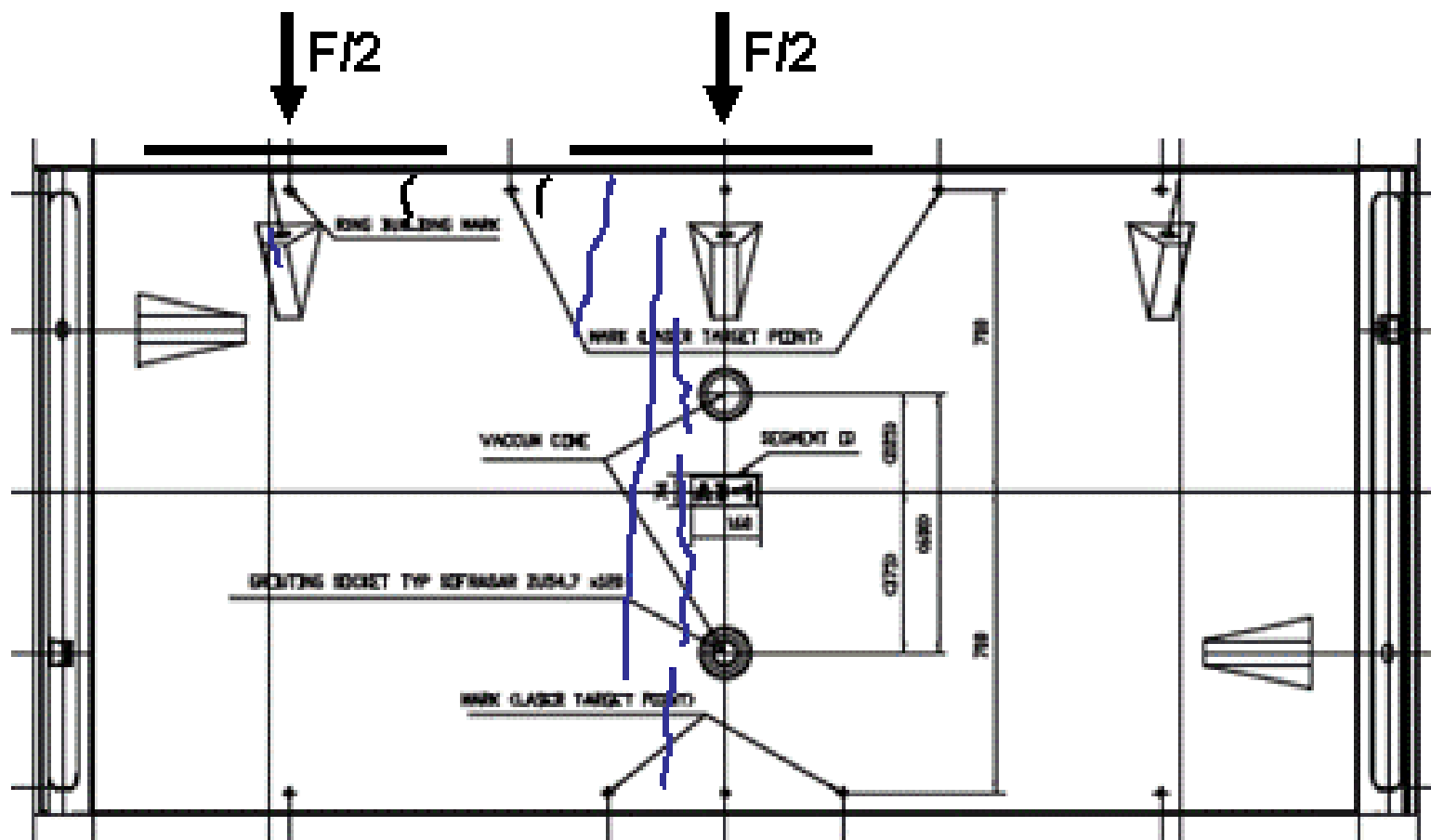


Test únosnosti



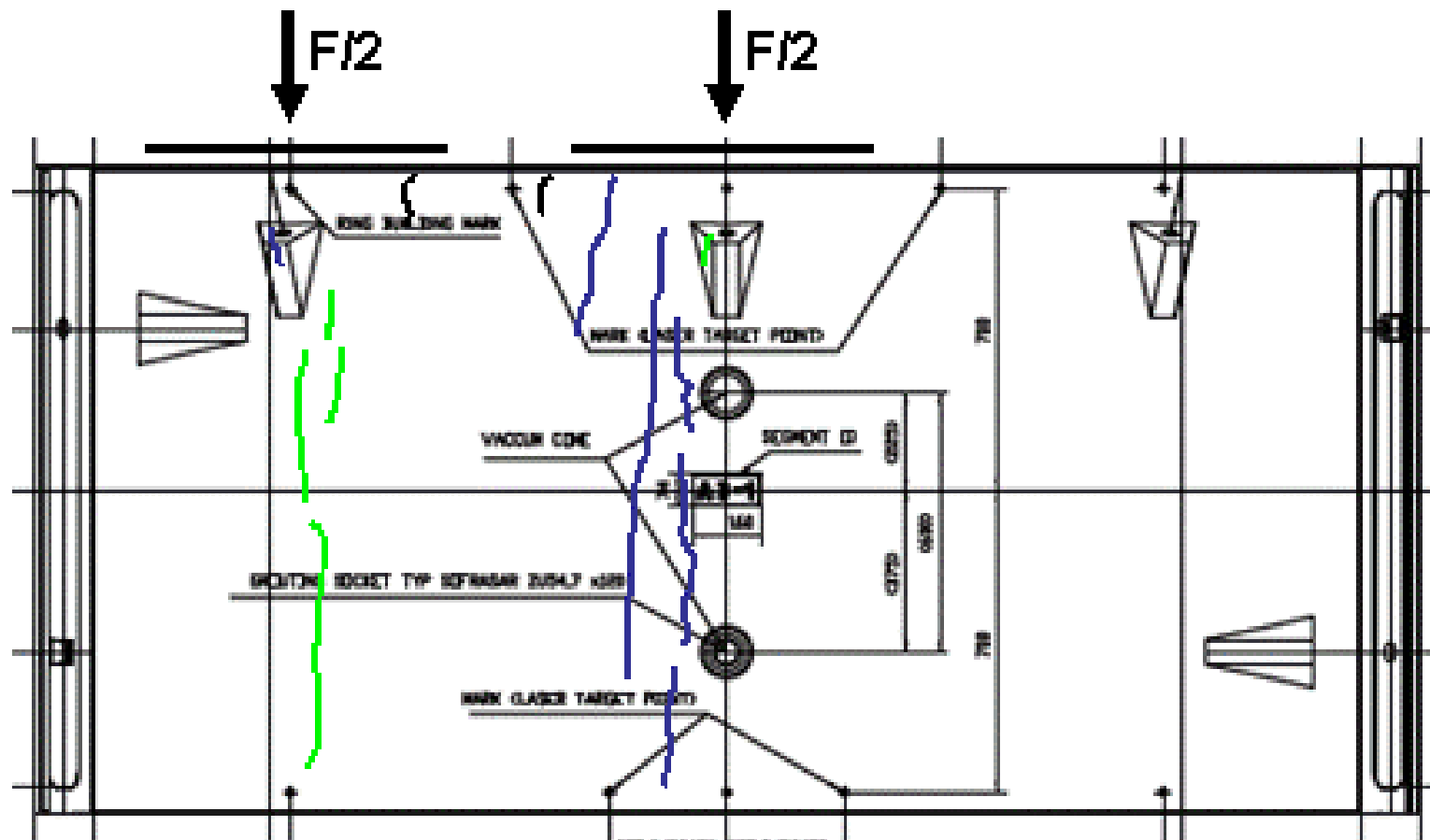
Vnitřní íc 6000 kN

Test únosnosti



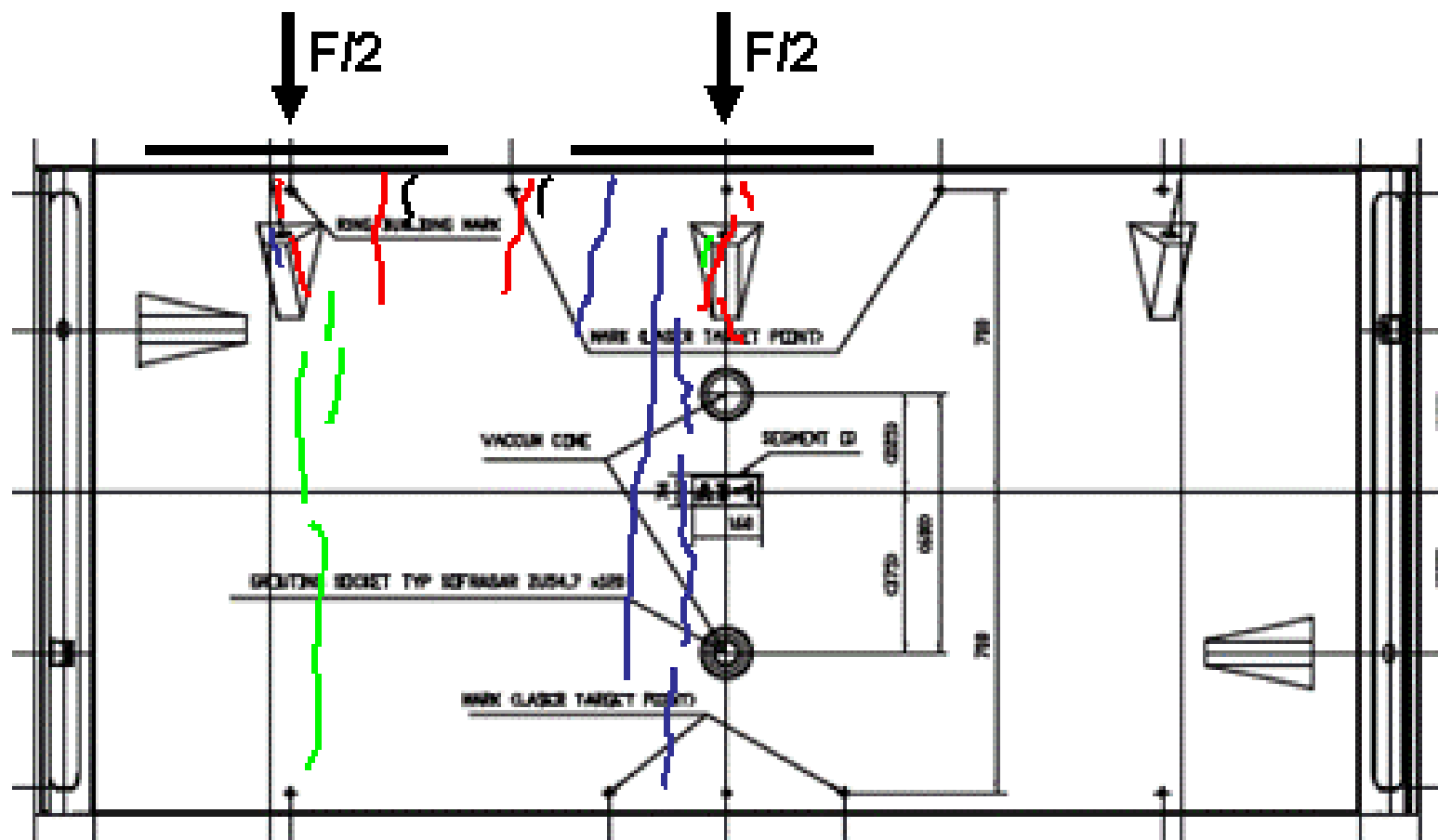
Vnitřní íc 7200 kN

Test únosnosti



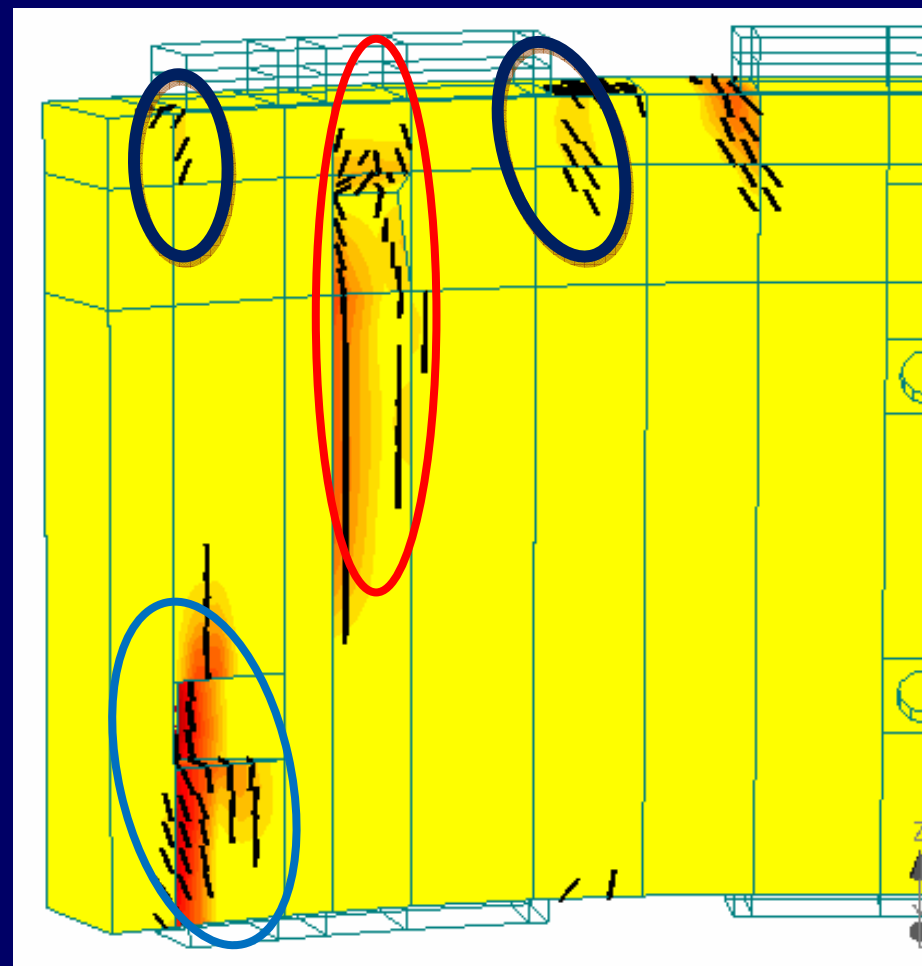
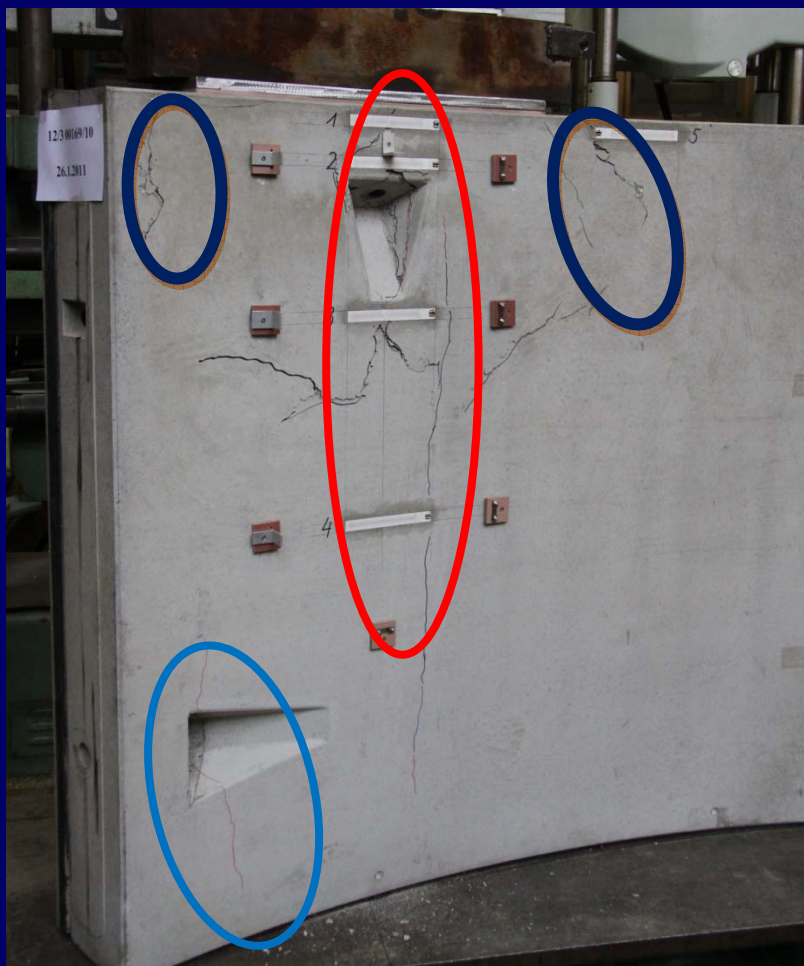
Vnitřní íc 8400 kN

Test únosnosti



Vnitřní íc 9100 kN

Porovnání Test - Analýza



ŽB – Zkouška



ŽB – Porušený vzorek



ŽB – Porušený vzorek



FRC – porušený vzorek



FRC – porušený vzorek



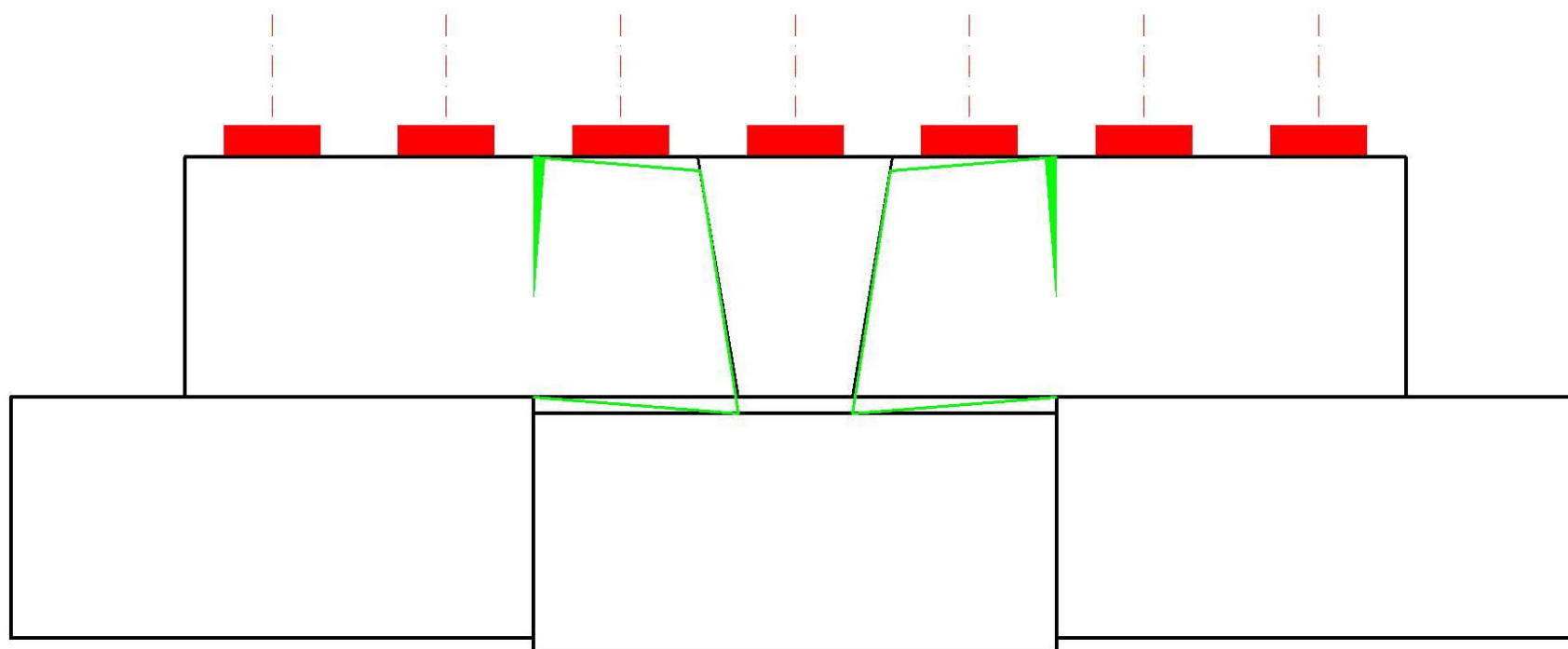
Únosnost v tlaku

- Simulace přítlaču stroje rovnoměrně uloženého segmentu.
- Vznik trhlin i mezní únosnost jsou srovnatelné. Rozdílný je charakter porušení na mezi únosnosti.

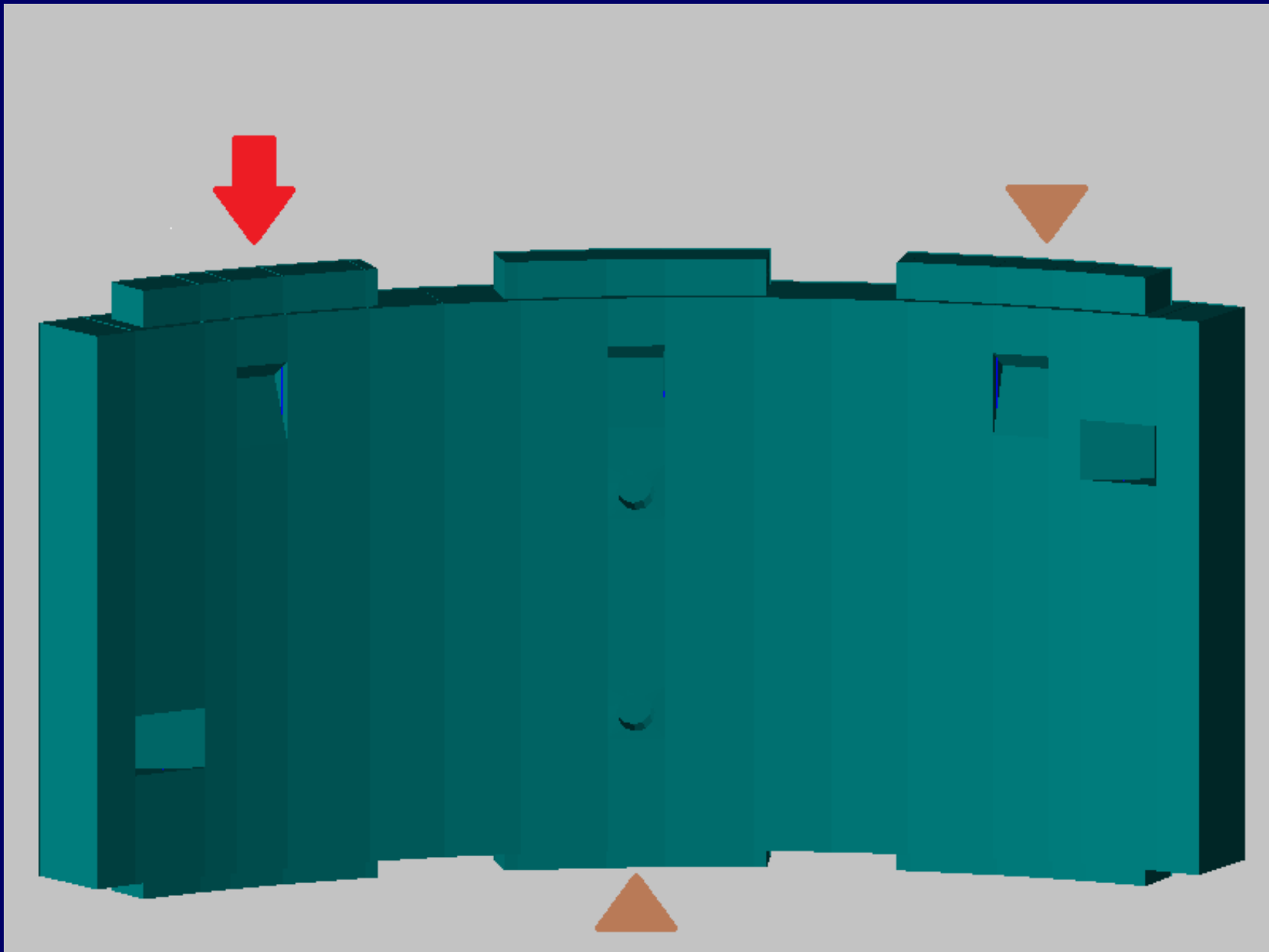
Test ohybového namáhání v rovině segmentu

- Simulace přítlaku stroje nerovnoměrně uloženého segmentu

Schema deformace segmentů



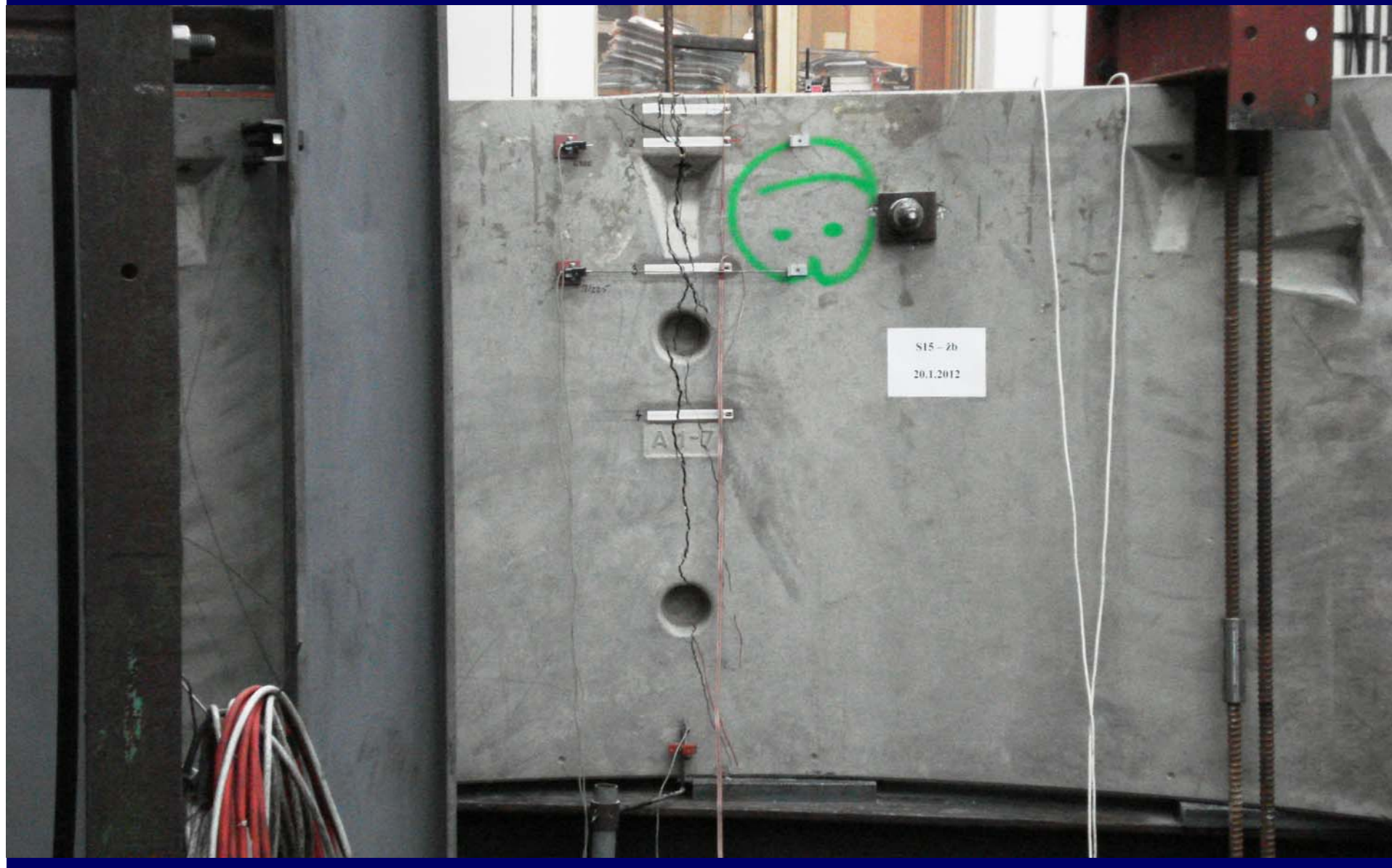
Ohyb v rovině prvku schema zkoušky



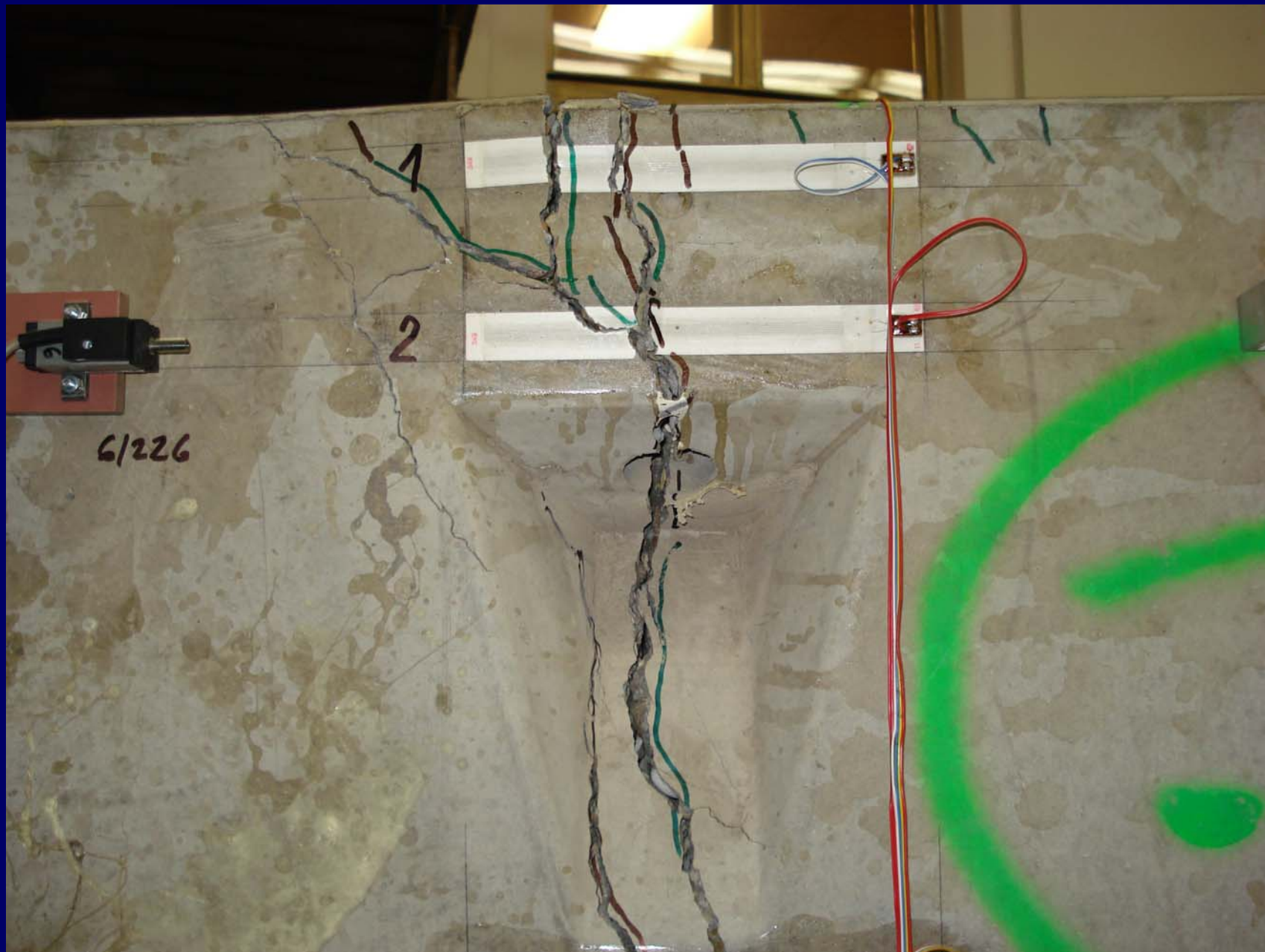
Ohyb v rovině prvku uspořádání zkoušky



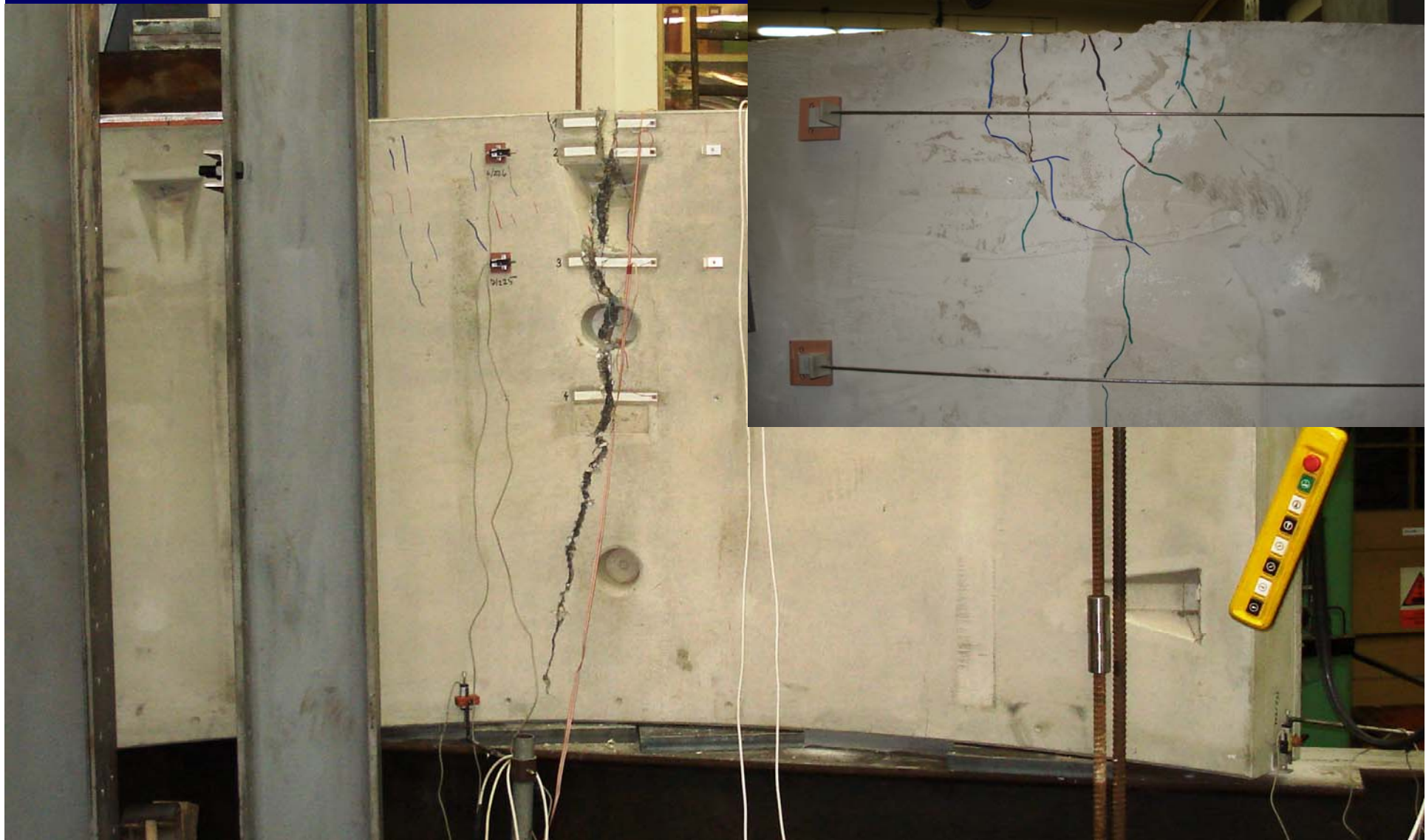
ŽB – ohyb v rovině prvku



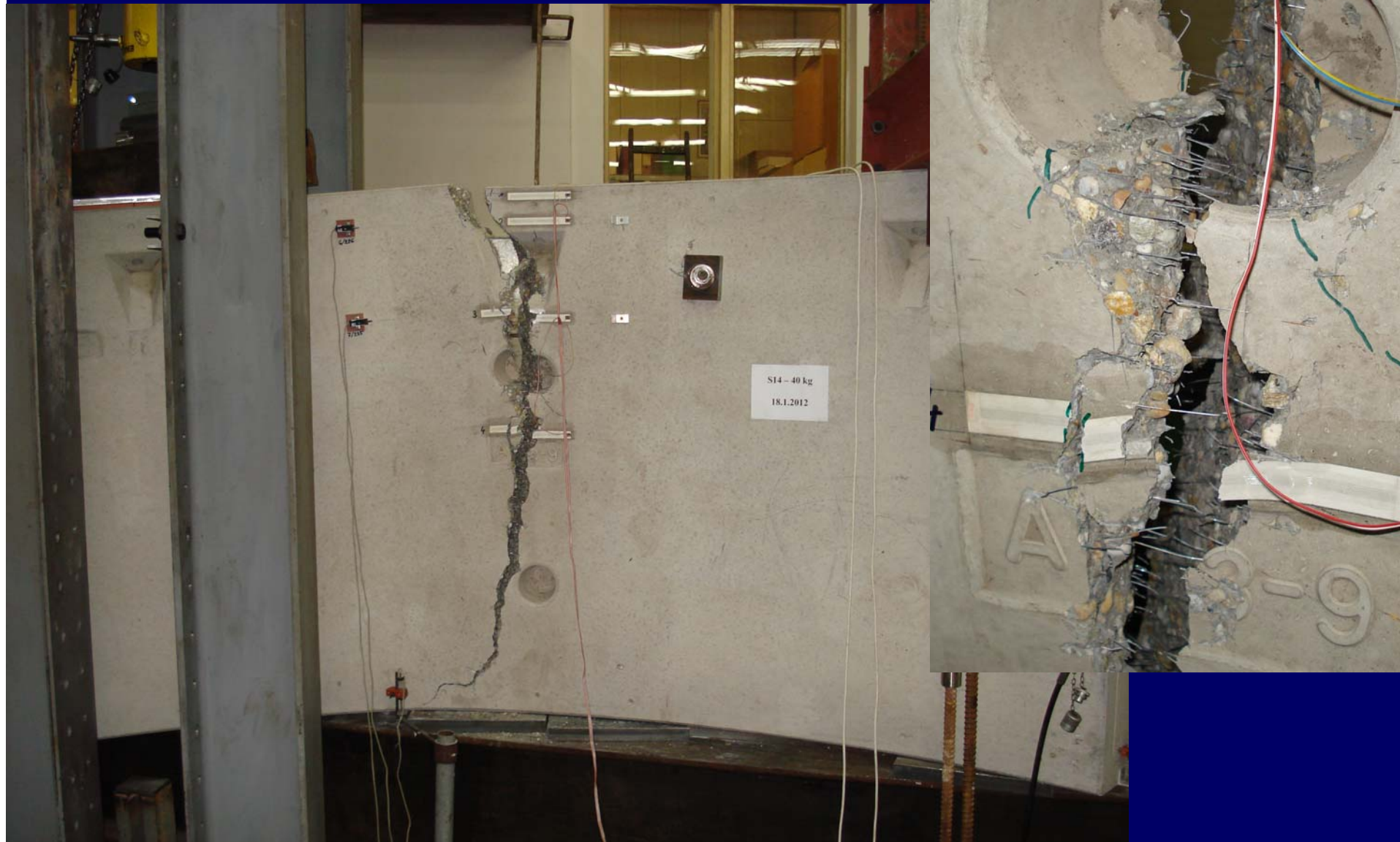
ŽB – ohyb v rovině prvku



FRC – ohyb v rovině prvku



FRC – ohyb v rovině prvku



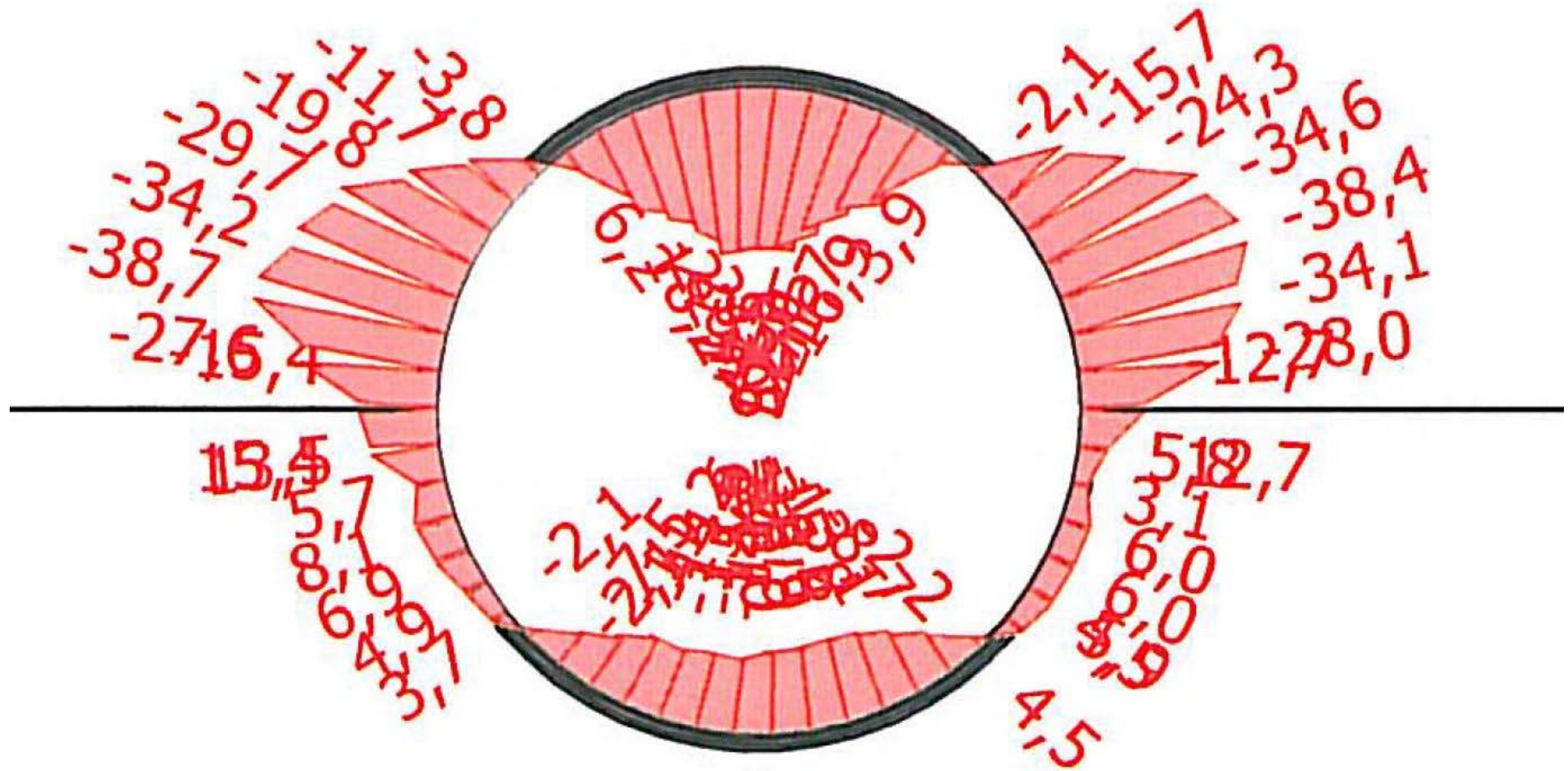
Test ohybového namáhání v rovině segmentu

- Simulace přítlaku stroje nerovnoměrně uloženého segmentu
- FRC – síť trhlin – u jedné propagace
- ŽB – vyšší mezní únosnost

Test ohybového namáhání kolmo na rovinu segmentu

- Simulace zatížení horninovým tlakem

Průběh ohybových momentů



FRC – zatížení kolmo na rovinu



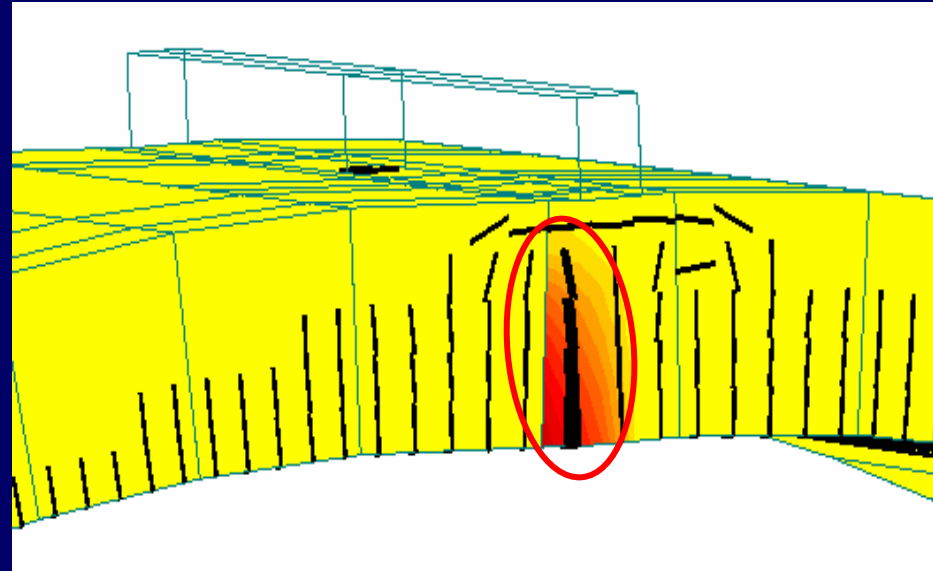
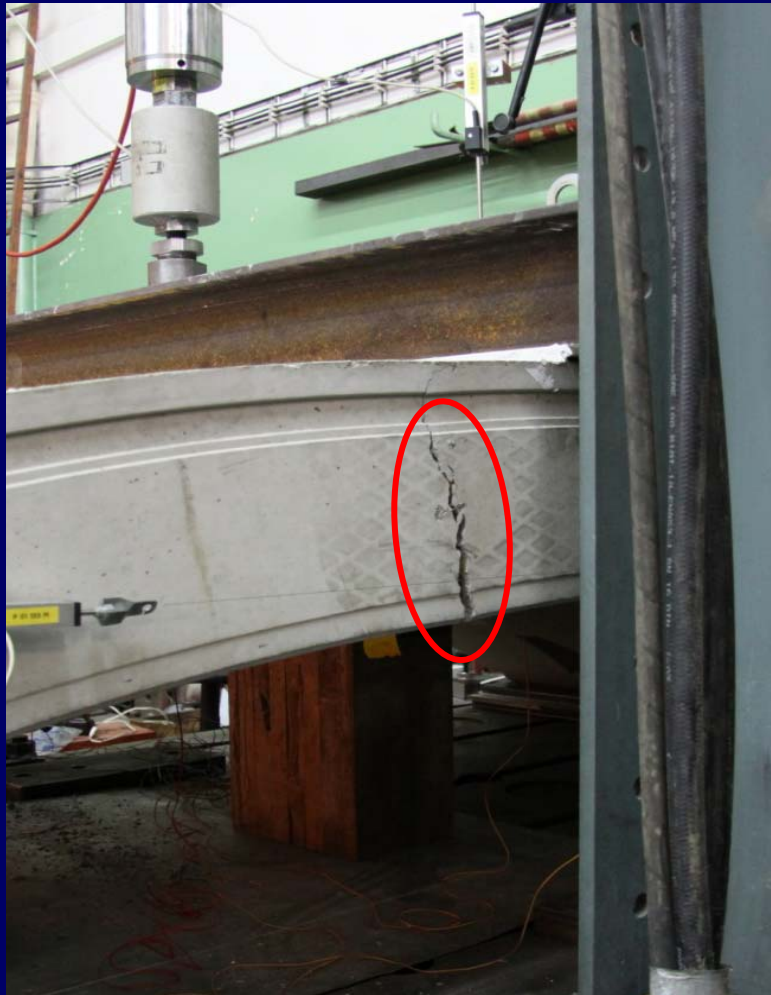
FRC – zatížení kolmo na rovinu



FRC – zatížení kolmo na rovinu



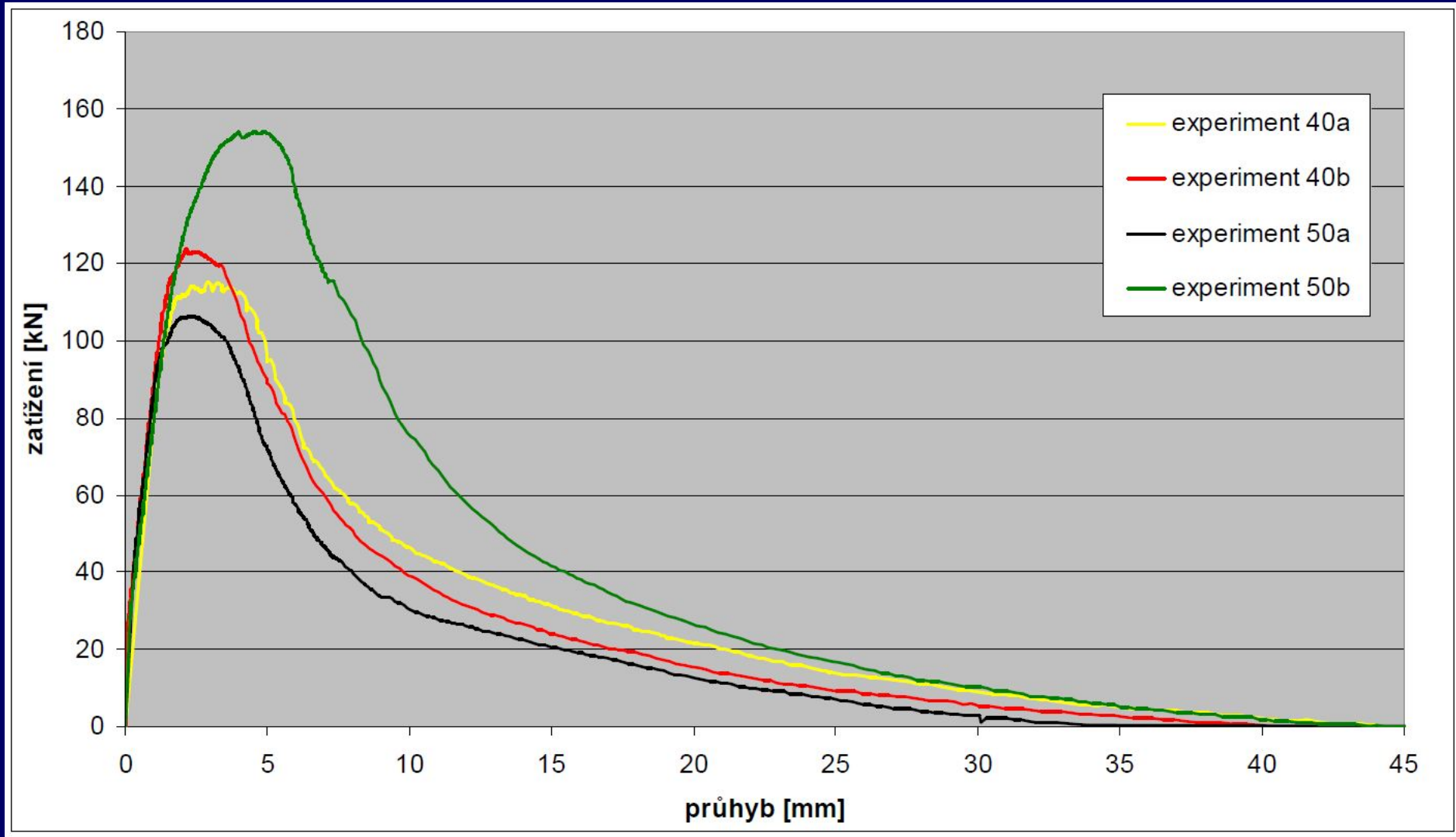
Srovnání Test - Analýza



Rozmístění drátků

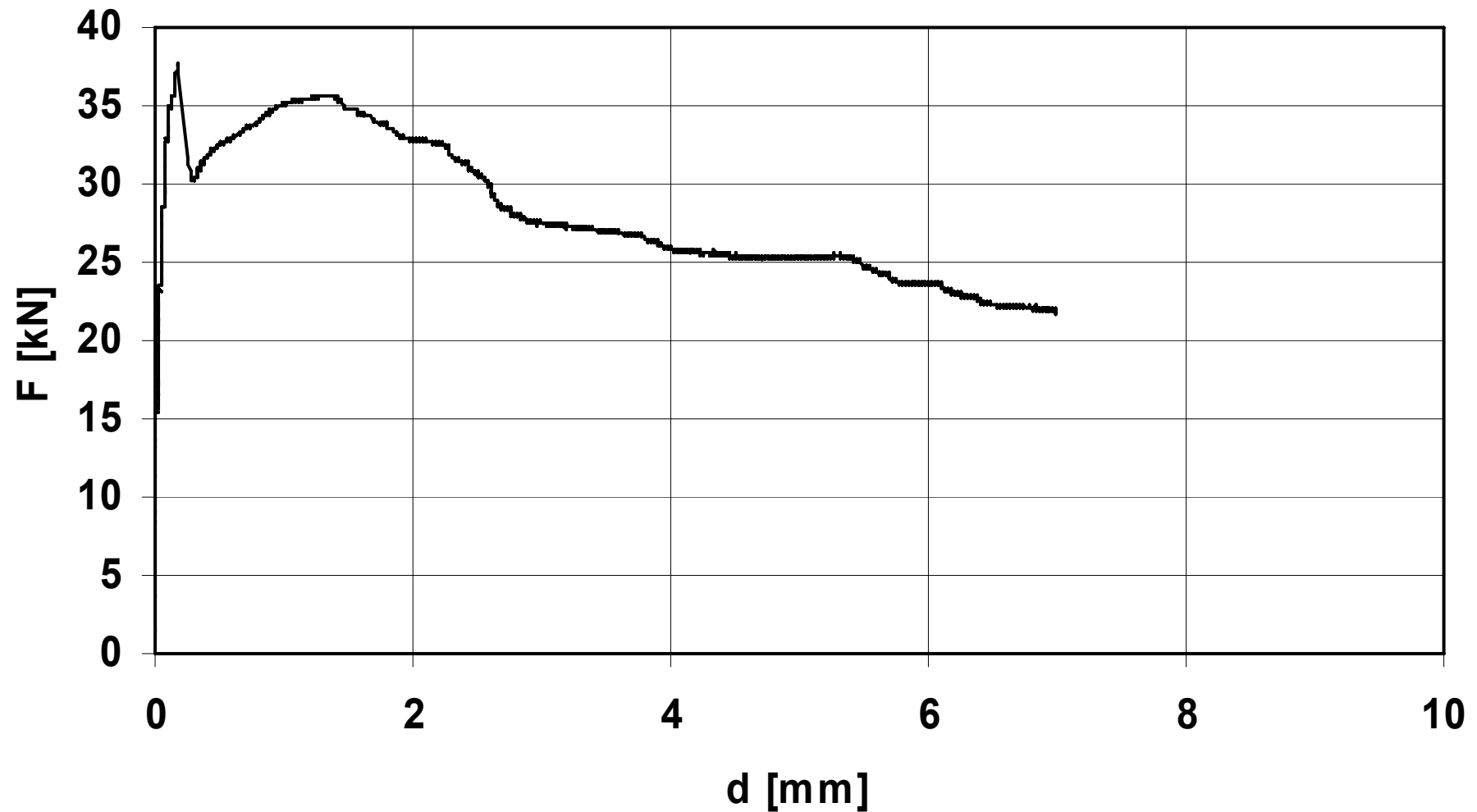


Výsledky testů FRC



Testy trámců FRC - 50 kg/m³

FSv2 - 2

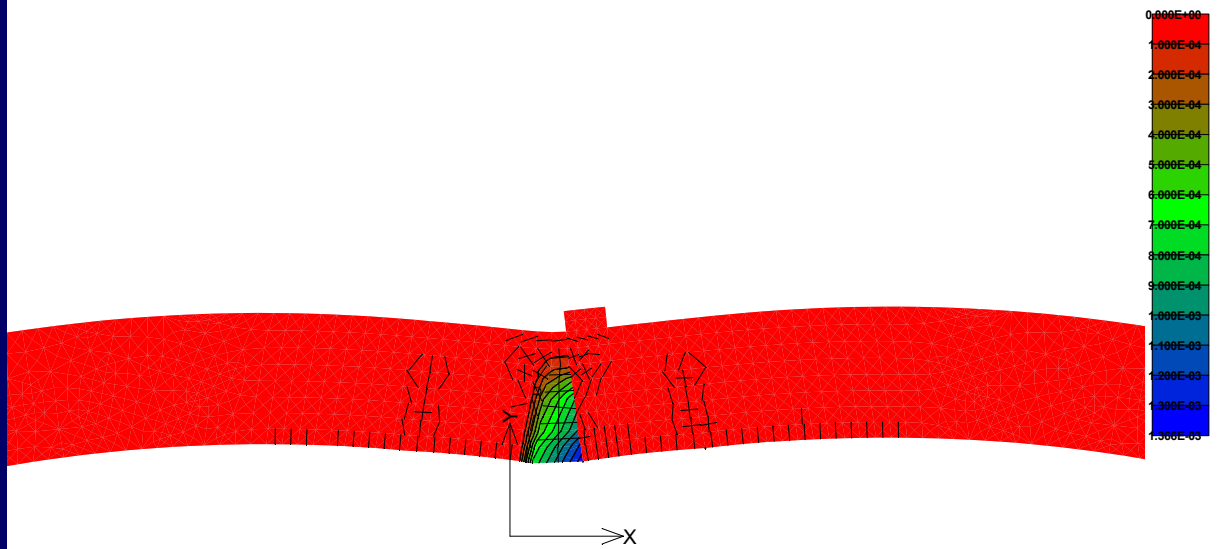


Analýza ŽB - FRC

Porovnání trhlin železobetonového a drátkobetonového segmentu při ohybové zkoušce typu „klenba“:

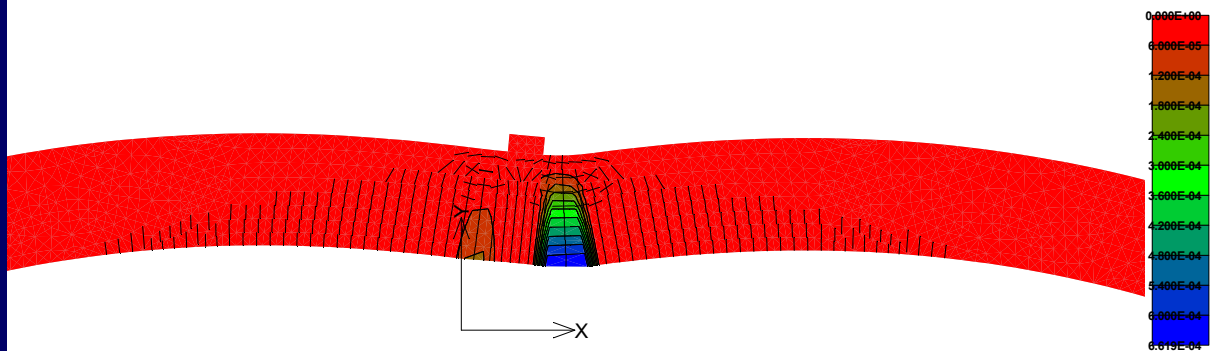
(při použití drátkobetonu vzniká více trhlin menších šířek)

Step 60, RC
Scalars:iso-areas, Basic material, in nodes, Crack Width, Cod1, <0.000E+00;1.366E-03>[m]
Cracks: in elements, opening: <6.252E-09;1.354E-03>[m], Sigma_n: <-1.361E+00;4.222E+00>[MPa], Sigma_T: <-3.118E-16;4.564E-



ŽB segment:
trhlina šířky 1,37 mm
při průhybu 6 mm

Step 60, FRC - klenba
Scalars:iso-areas, Basic material, in nodes, Crack Width, Cod1, <0.000E+00;6.619E-04>[m]
Cracks: in elements, opening: <9.944E-09;1.235E-03>[m], Sigma_n: <5.097E-01;1.900E+00>[MPa], Sigma_T: <-1.349E-03;2.359E+



Drátkobetonový segment:
trhlina šířky 0,66 mm při
průhybu 6 mm

Test ohybového namáhání kolmo na rovinu segmentu

- Simulace zatížení horninovým tlakem
- U ŽB lze dosáhnout vyšší mezní únosnost, závisí na množství výztuže
- Mezní únosnost FRC je limitována

Zhodnocení

- Testy prokázaly odezvu prvku na „významné“ zatěžovací stavy
- Další (zejména montážní) zatěžovací lze jen obtížně definovat
- Výstavba zkušebního úseku v délce 15 m (tj. 10 prstenců) v oblasti Červeného Vrchu

První zkušební výroba



Závěry

- Využití FRC znamená technologické zjednodušení – mělo by vést ke snížení výrobních nákladů
- FRC je vhodný pro zvýšení duktility materiálu v celé tloušťce, odpadají diskontinuity v krycí vrstvě
- FRC lze efektivně využít v situacích, kde nedochází k extrémnímu ohybovému namáhání ostění
- V mnohých zatěžovacích stavech je rozhodující je mezní stav použitelnosti, nelze plně využít únosnost železobetonového prvku
- Odezvu konstrukce na zatížení lze úspěšně modelovat/predikovat analýzou pomocí softwaru ATENA

A photograph of a book cover, possibly made of textured paper or cloth, showing signs of wear and discoloration. A prominent blue rectangular box with a yellow border is overlaid on the center of the image. Inside this box, the text "Děkuji za pozornost" is written in a bold, white, sans-serif font. The background of the book cover is a mottled, light brownish-grey color with some faint, illegible markings and a small red scribble near the top center.

Děkuji za pozornost