



Diagnostika poruch stavebních materiálů

210DPSM

Petr Konvalinka, Radoslav Sovják, Jan Zatloukal

Petr Máca, Jiří Litoš, Pavel Reiterman



Experimentální zkoušení

- Kde
 - V laboratoři
 - In-situ (na svém původním místě)
- Co
 - Celé konstrukce
 - Modely celých konstrukcí (1:5, 1:10, ...)
 - Konstrukční části
 - Modely konstrukčních částí (1:5, 1:10, ...)



Důvody experimentálního ověřování

- Ověření spolehlivosti nově postavených konstrukcí
- Posouzení spolehlivosti stávající konstrukce
- Vyšetřování poškozených konstrukcí
- Zjištění vstupních parametrů pro výpočet
- Ověření platnosti výpočtu
- Ověření výpočtového modelu při pochybnostech jeho výstižnosti

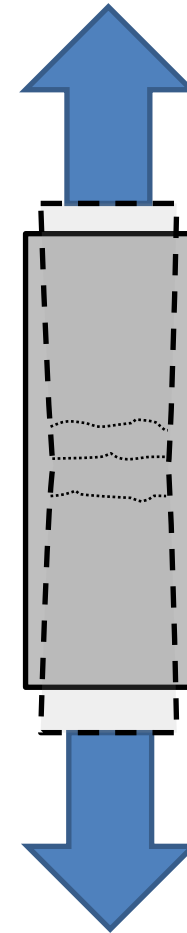
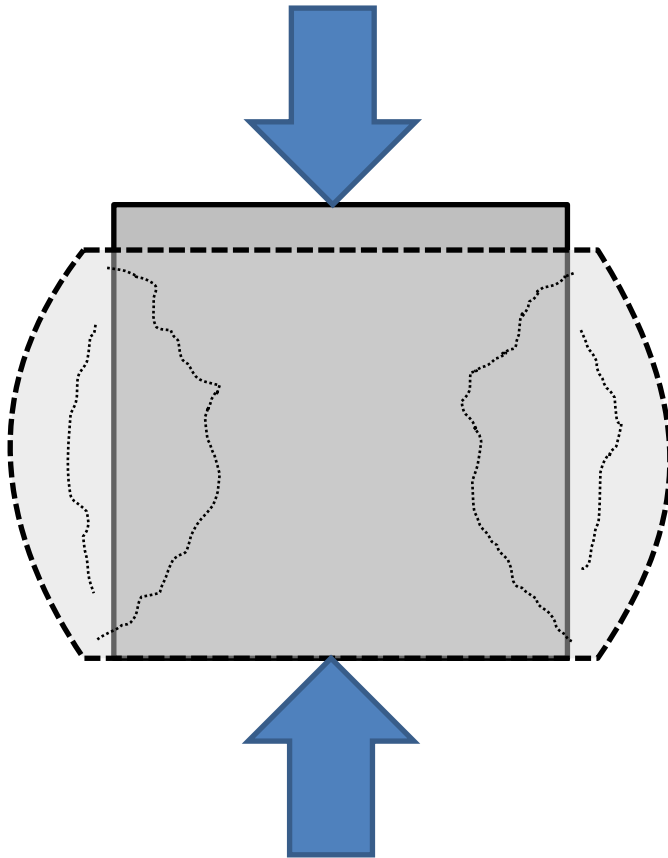
Důvody experimentálního ověřování

- Posouzení úrovně kmitání z hlediska stavby
- Posouzení úrovně kmitání z hlediska strojů či lidského organismu
- Porovnání teorie a experimentu
- Experimentální zjištění parametrů konstrukce
- Zjištění odezvy konstrukce před a po stavební úpravě

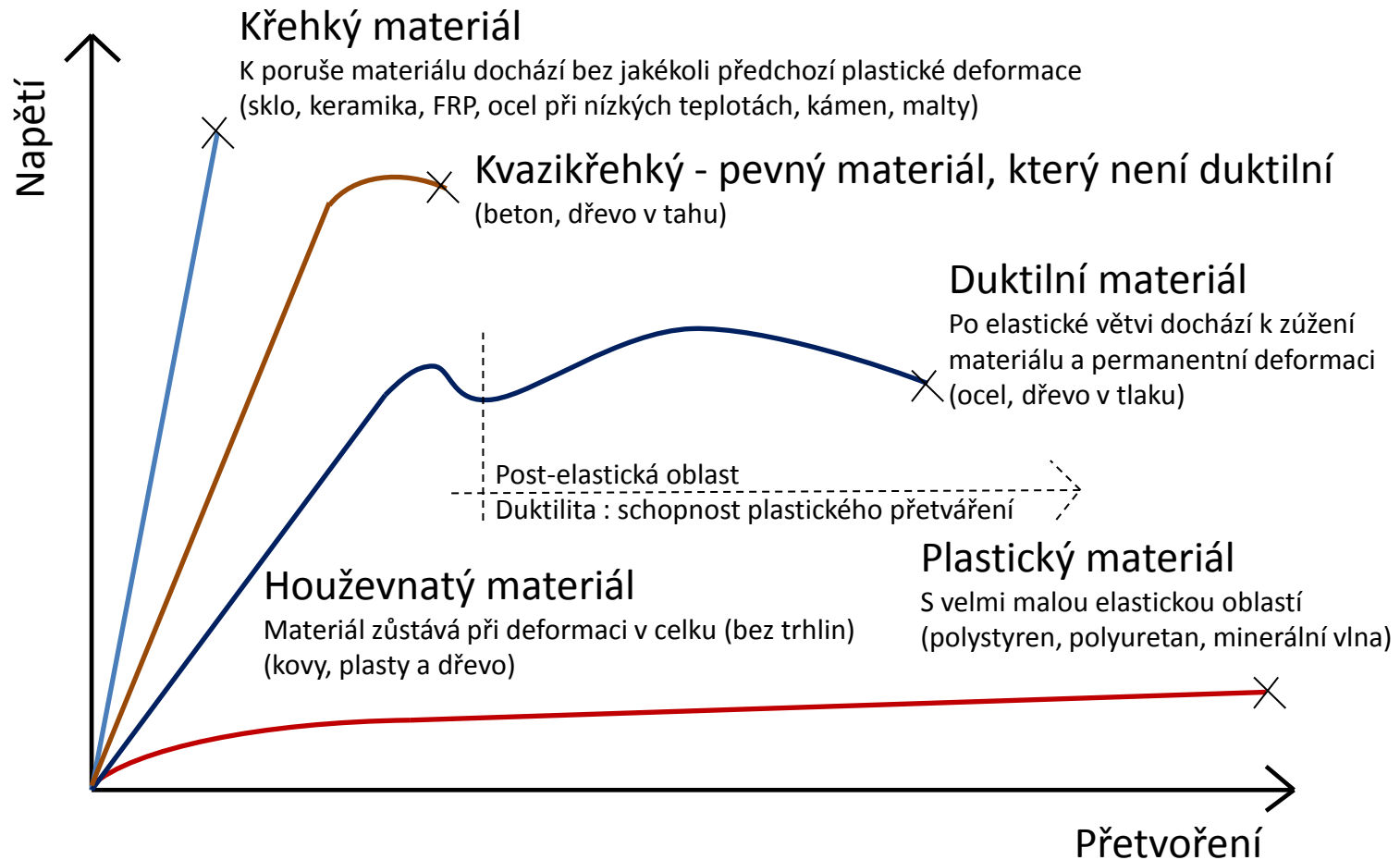
Experimentální ověřování

- Druhy zkoušek a experimentů
 - Průkazní (prototypové)
 - Kontrolní výrobní zkoušky
 - Ostatní druhy zkoušek
- Způsob zatěžování
 - Statické
 - Dynamické
- Druhy zatěžování
 - Do dosažení únosnosti konstrukce
 - Bez dosažení únosnosti konstrukce

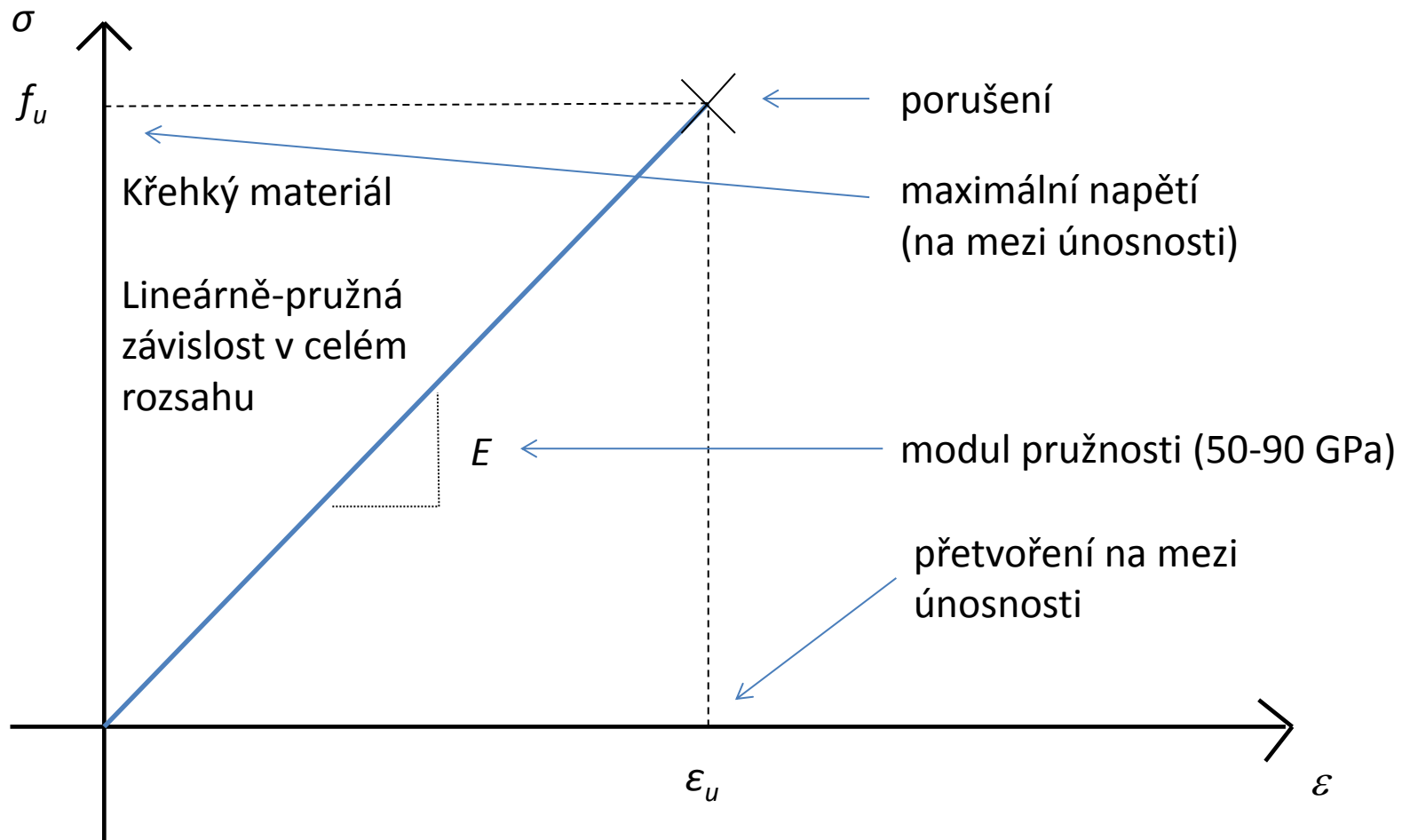
Tah a tlak



Pracovní diagramy různých materiálů



Pracovní diagram skla

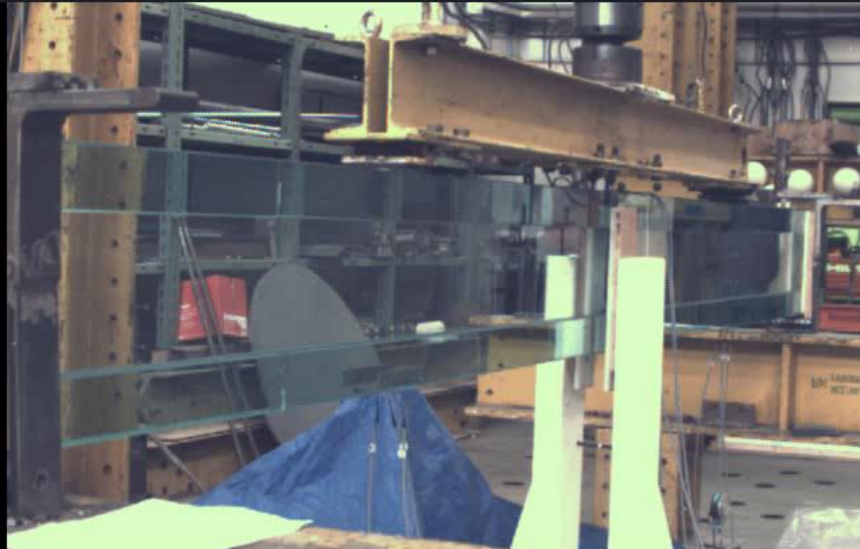


Zatěžovací zkouška skleněného nosníku

Sklenený nosník Machalicka
Vzorek: nosník 2

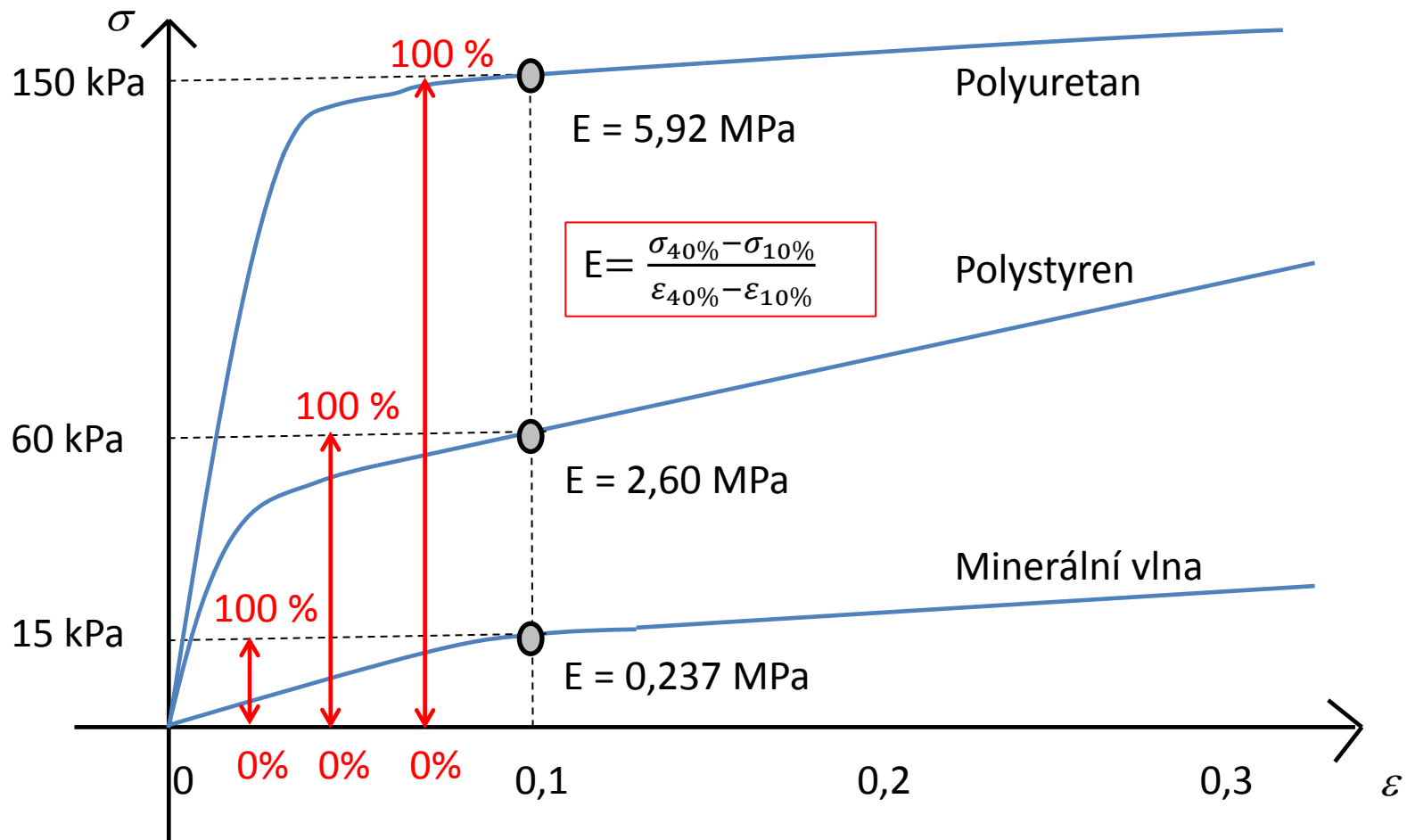
Fakulta stavební v Praze
Experimentální centrum

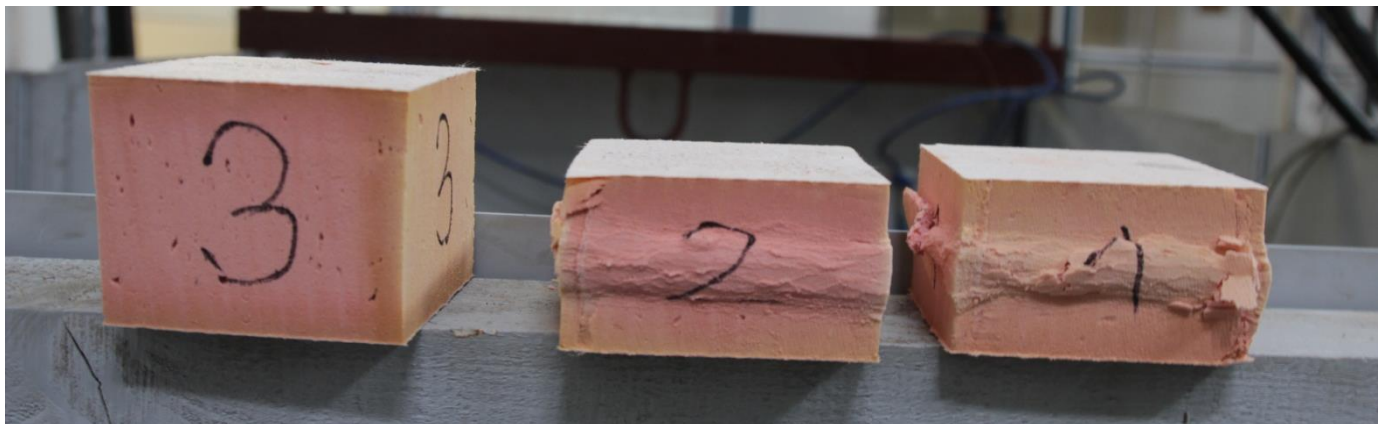
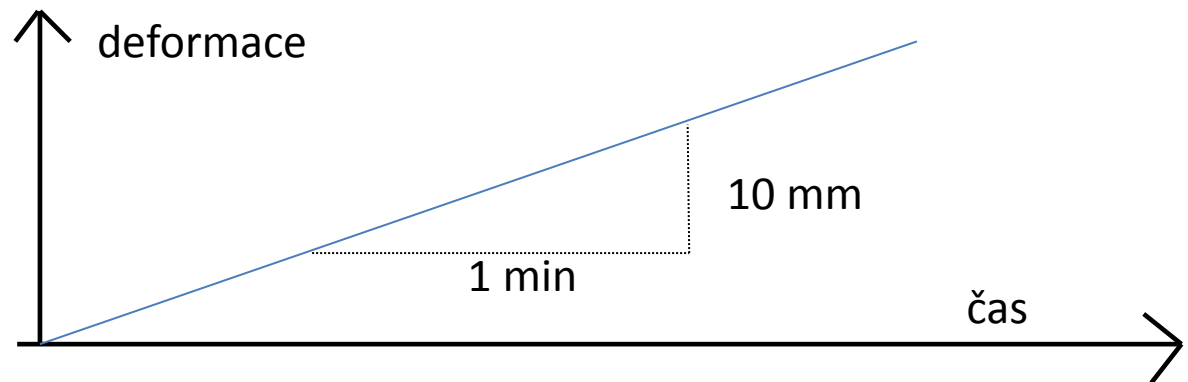
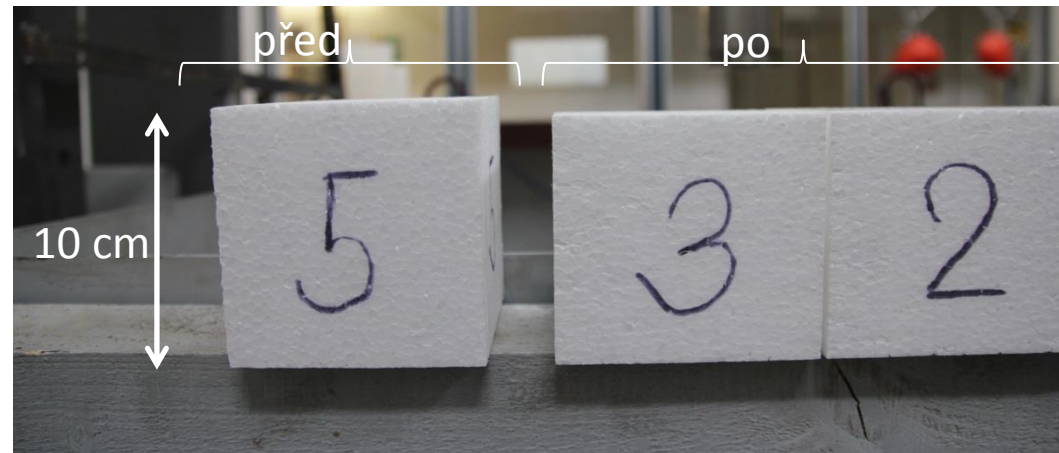
Síla [kN]	ACT	Pot 1 [mm]	ACT
-240		412	
Pot 2 [mm]	ACT	Pot 3 [mm]	ACT
441		378	
Tenzo 1 [μm/m]	ACT	Tenzo 2 [μm/m]	ACT
-138		155	
Tenzo 3 [μm/m]	ACT	Tenzo 4 [μm/m]	ACT
151		147	
Tenzo 5 [μm/m]	ACT	Tenzo 6 [μm/m]	ACT
125		235	
Tenzo 7 [μm/m]	ACT	Tenzo 8 [μm/m]	ACT
147		152	
Tenzo 9 [μm/m]	ACT	Tenzo 10 [μm/m]	ACT
148		-165	
Tenzo 11 [μm/m]	ACT	Tenzo 12 [μm/m]	ACT
29		181	



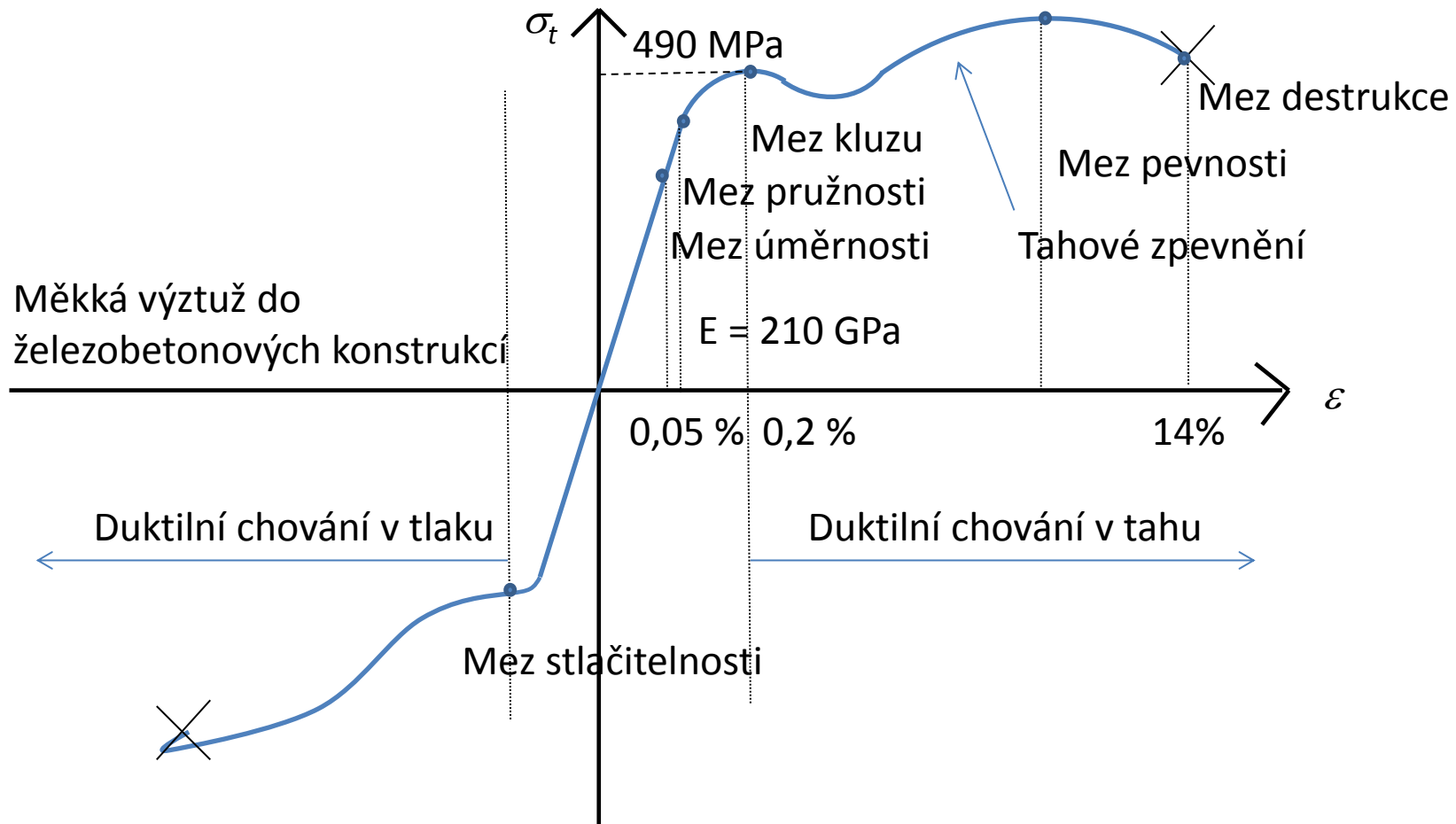
Video laskavě zapůjčila Ing. Klára Machalická

Pracovní diagram tepelně izolačních materiálů v jednoosém tlaku

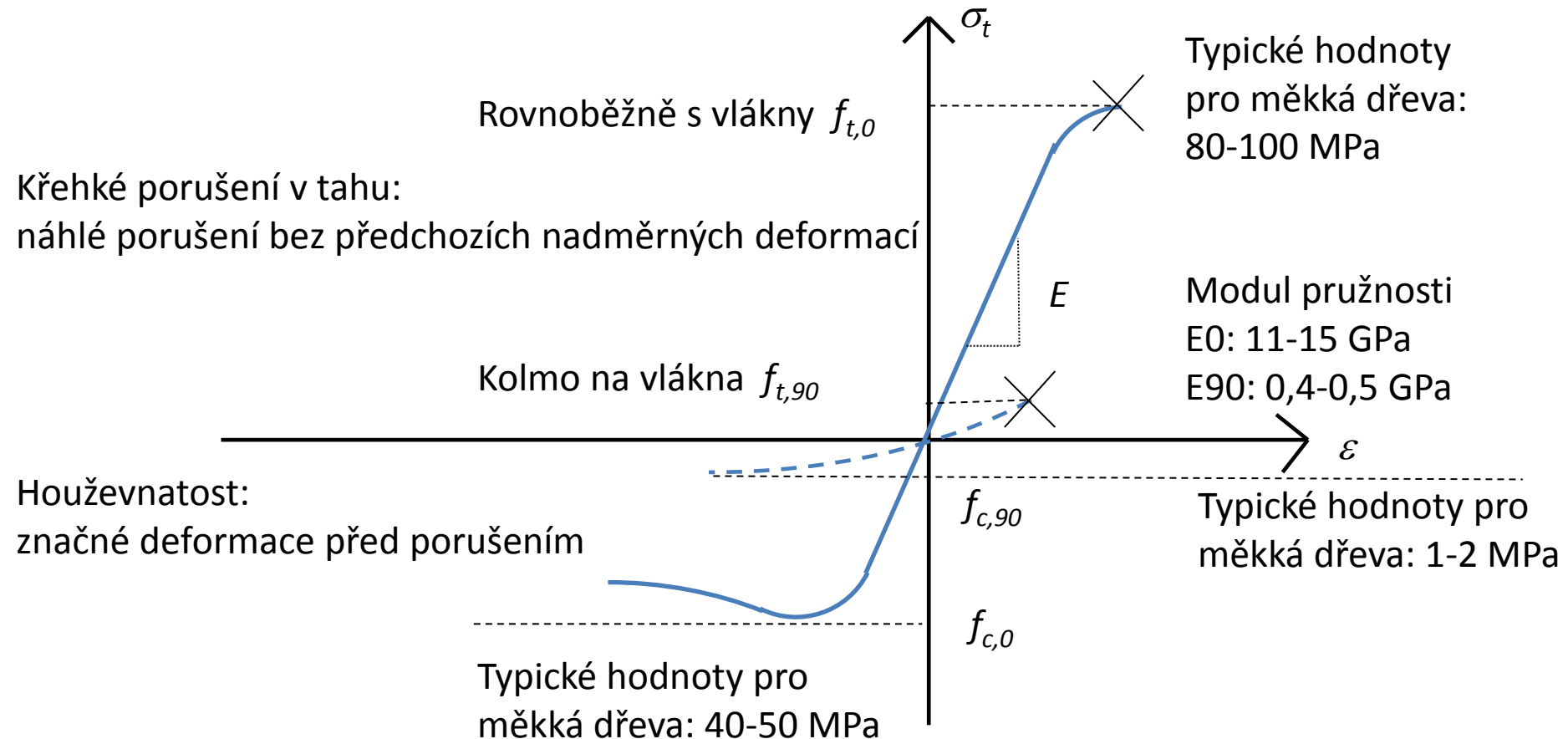




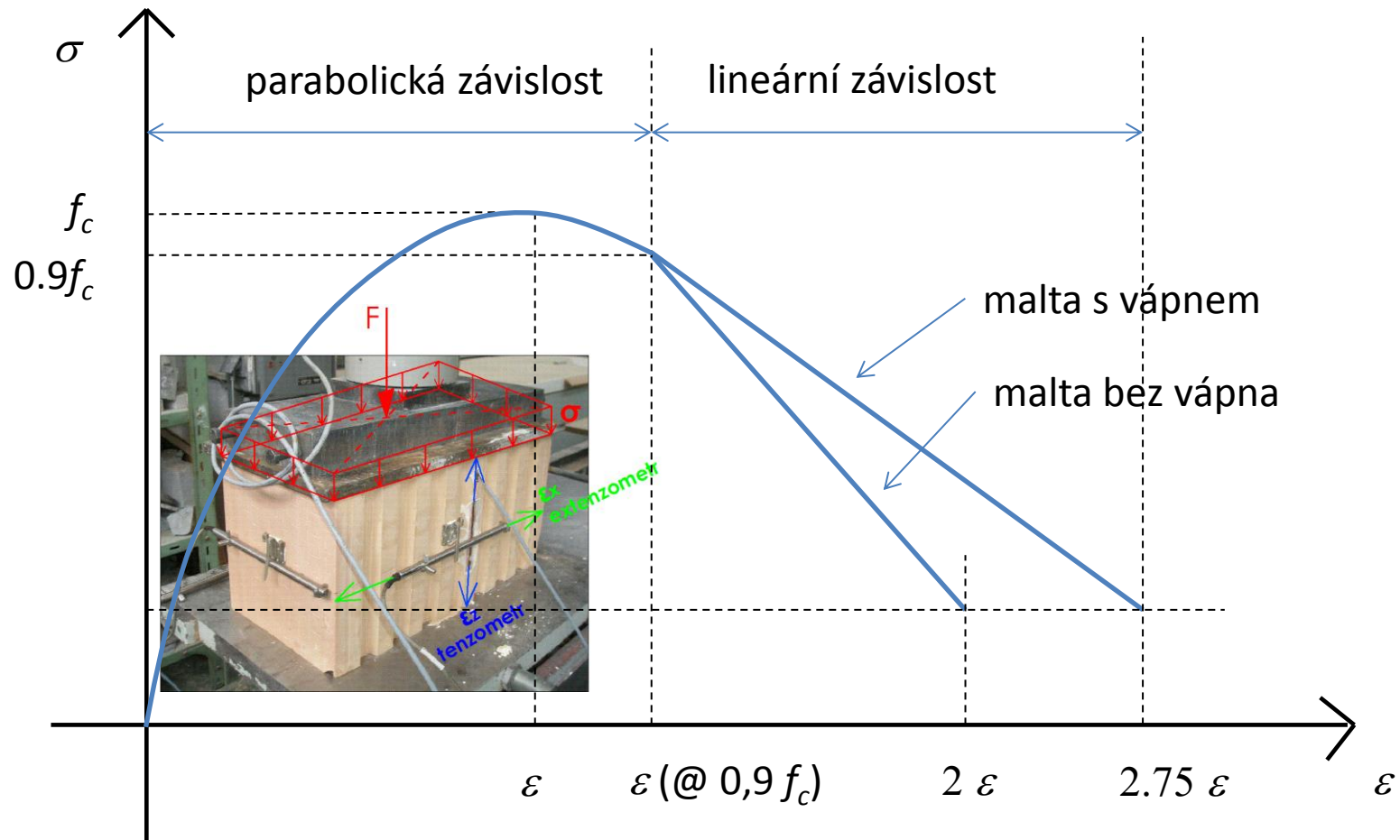
Pracovní diagram oceli (s vyznačenou mezí kluzu) v jednoosém tlaku a tahu



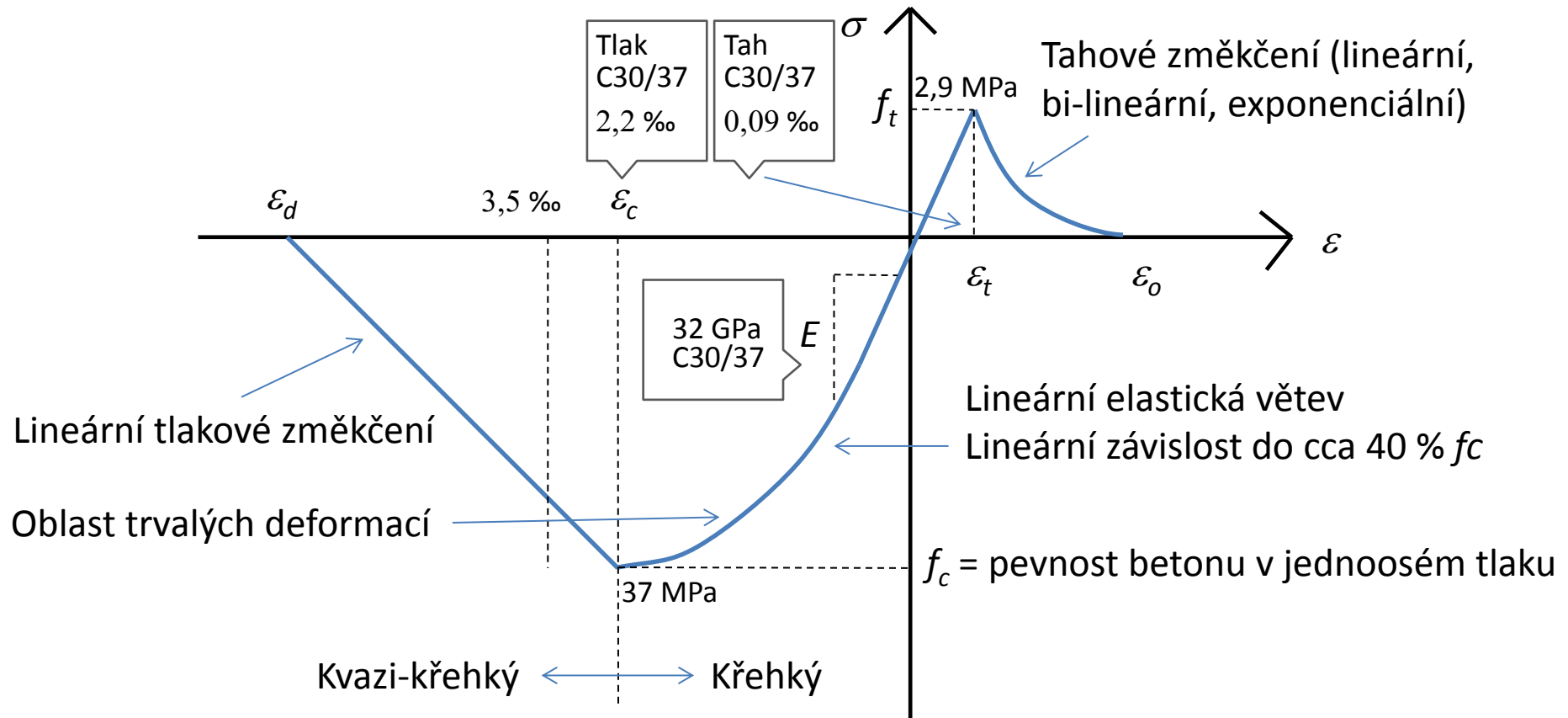
Pracovní diagram dřeva v jednoosém tlaku a tahu



Pracovní diagram zdiva v jednoosém tlaku (plná cihla)

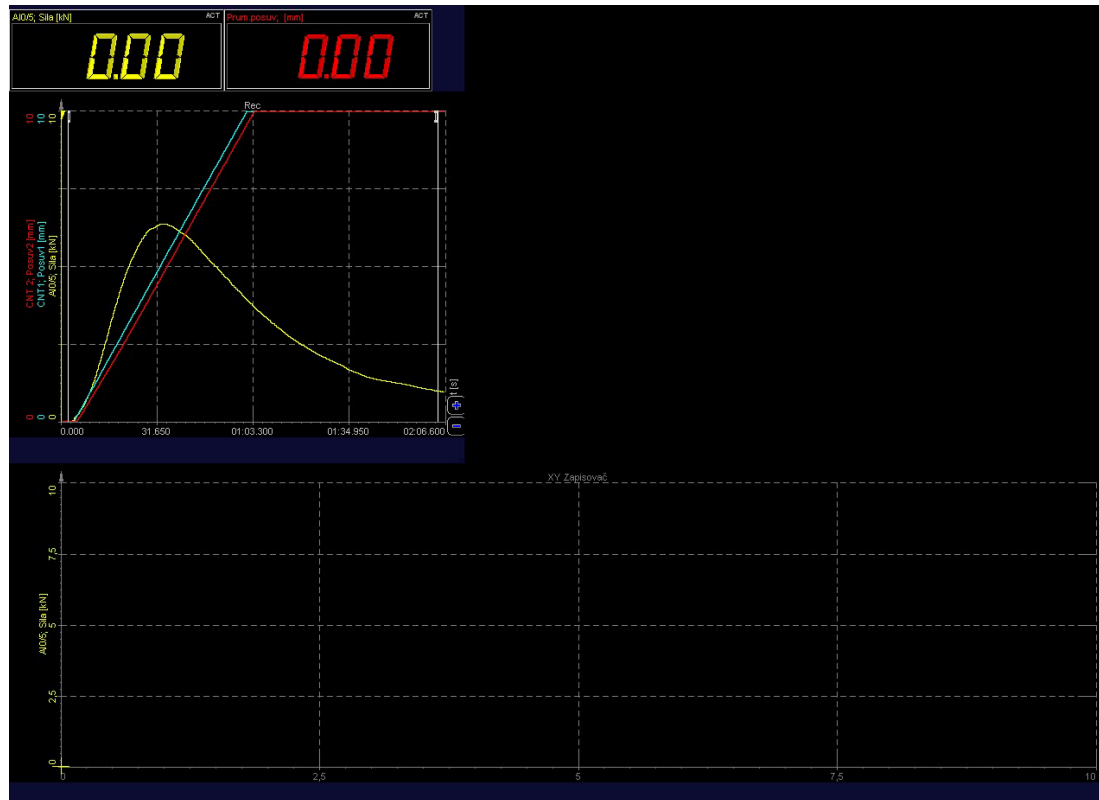


Pracovní diagram (obyčejného) betonu v jednoosém tlaku a tahu

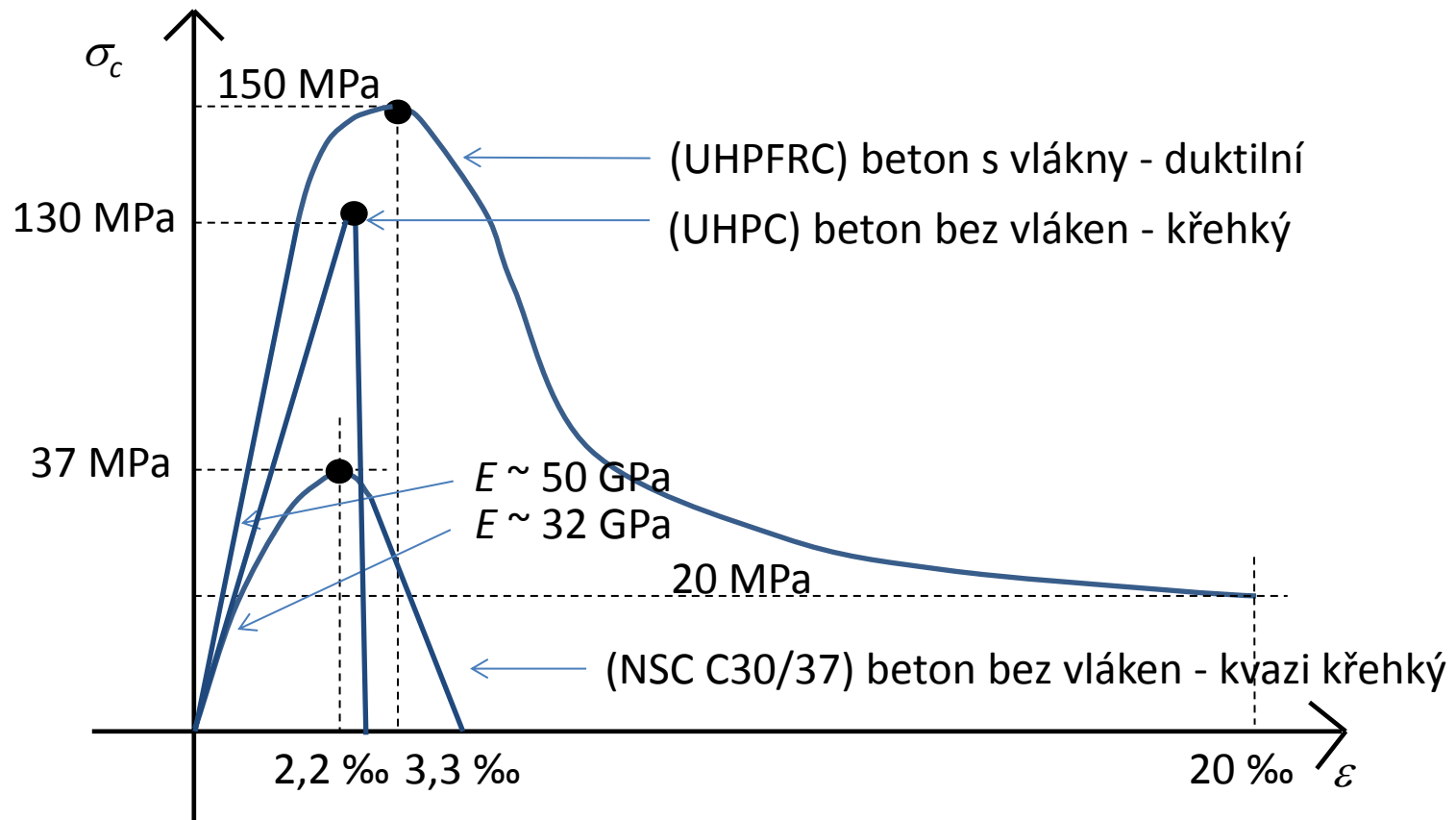




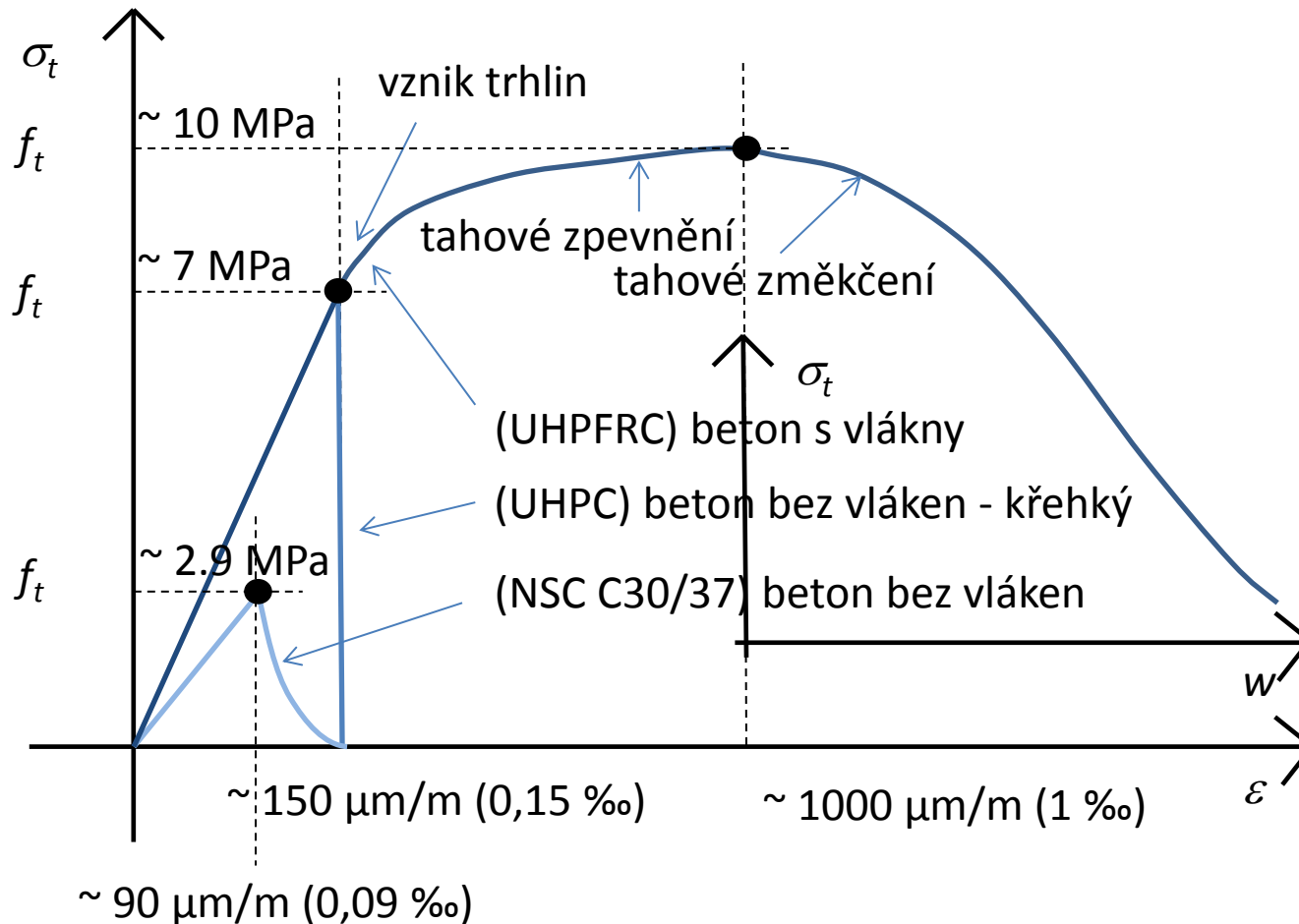
Obyčejný beton v jednoosém tlaku



Pracovní diagram vysokohodnotných cementových kompozitů v tlaku

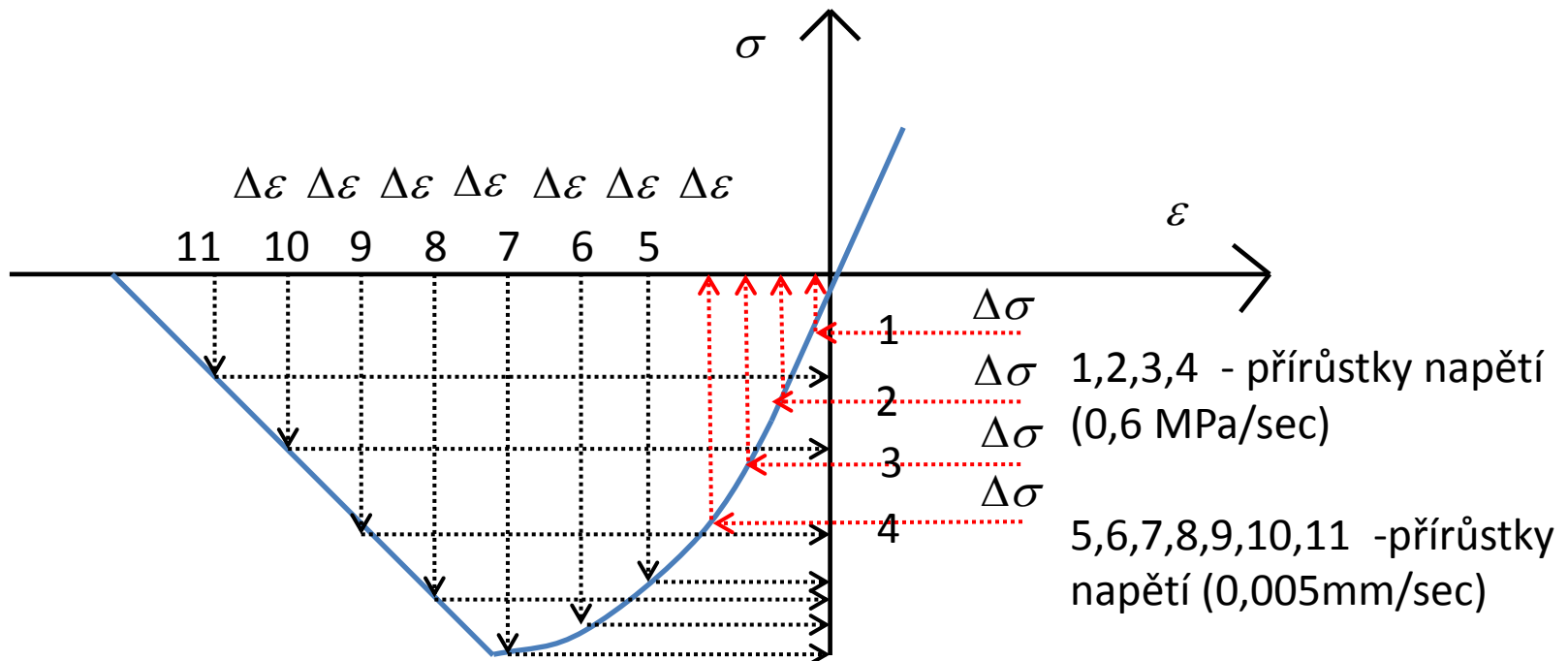


Pracovní diagram vysokohodnotných cementových kompozitů v tahu



Zatěžovací zkouška betonu v tlaku

- Řízení deformací vs. řízení silou
 - Konstantní přírůstek jednotky deformace (síly) v čase
 - Proměnný přírůstek síly (deformace) v čase

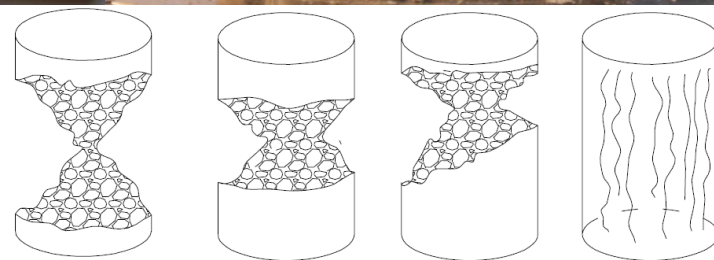


Zatěžovací zkouška betonu v tlaku

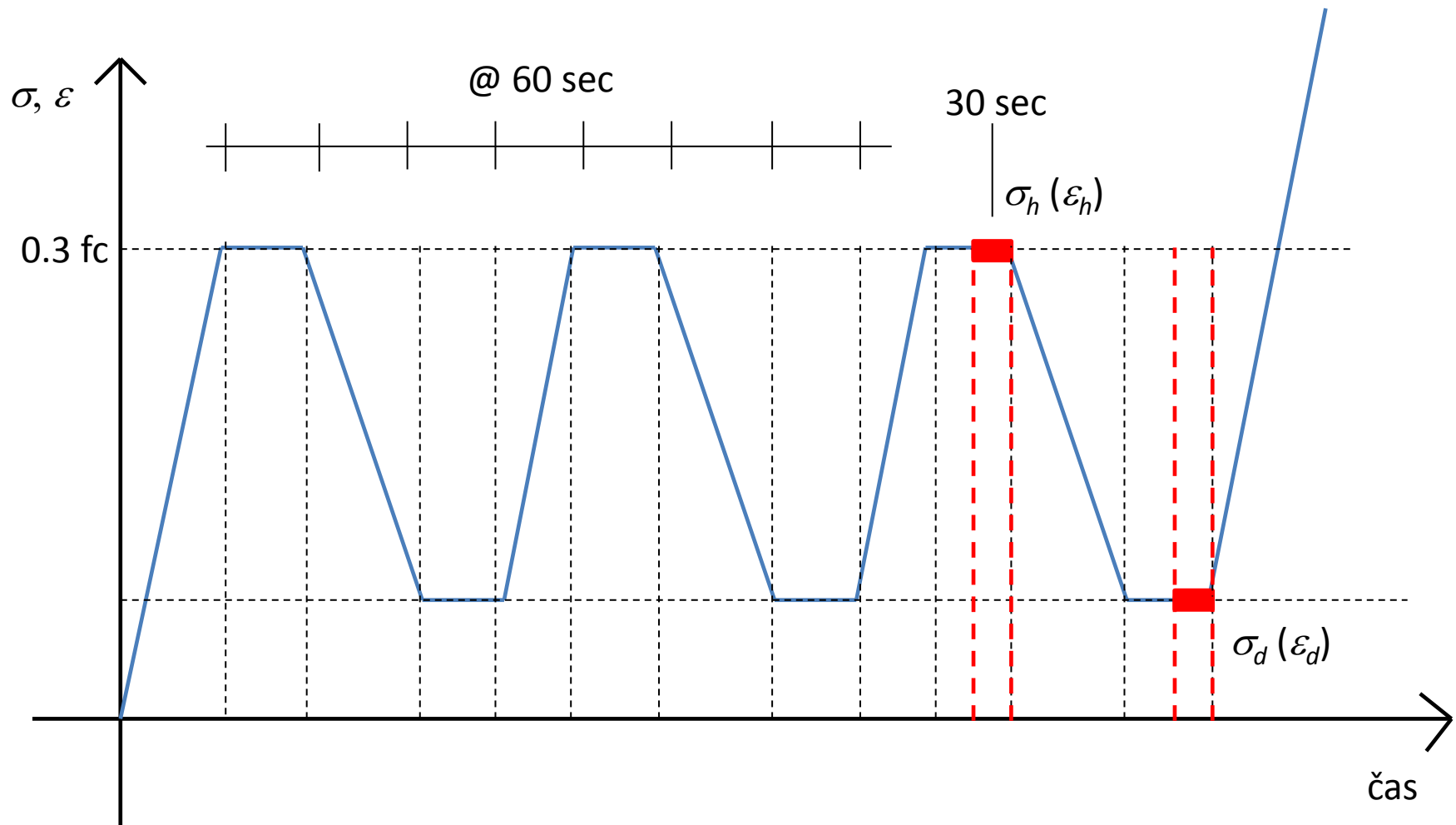


Extenzometry

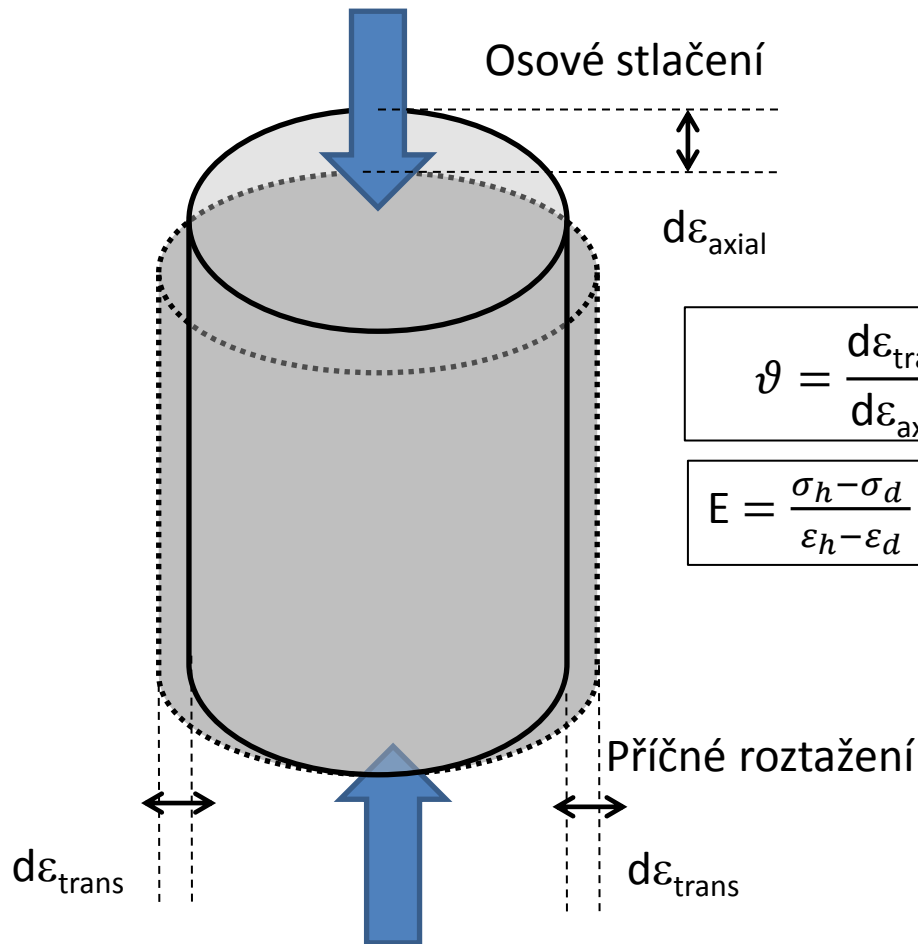
Vysokohodnotný
cementový kompozit



Modul pružnosti a Poissonův součinitel



Modul pružnosti a Poissonův součinitel (součinitel příčné roztažnosti)



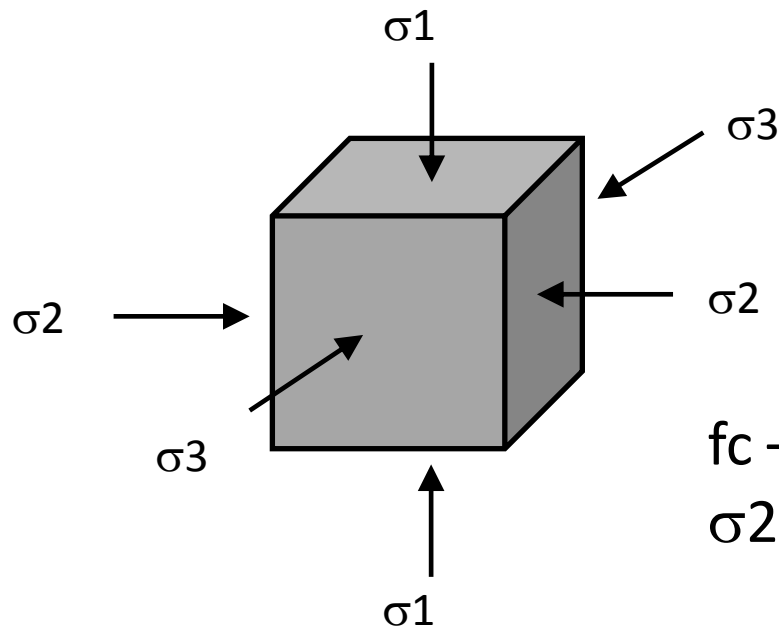
$$\nu = \frac{d\varepsilon_{trans}}{d\varepsilon_{axial}}$$

$$E = \frac{\sigma_h - \sigma_d}{\varepsilon_h - \varepsilon_d}$$

Materiál	ν [-]	E [GPa]
Korek	0,00	
Sklo	0,18	50-90
Beton	0,20	30-40
Ocel	0,30	210
Guma	0,50	0,1-0,01

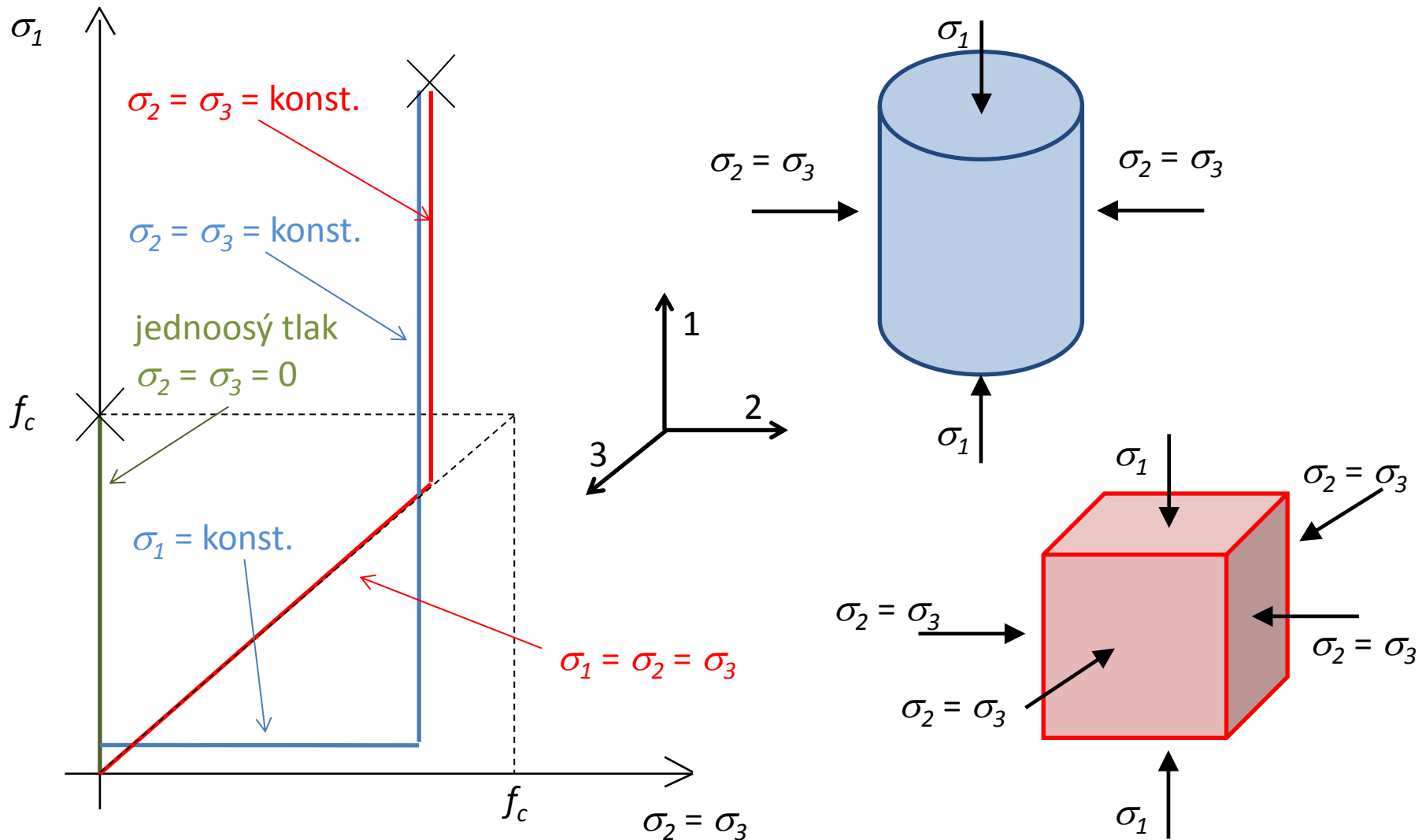
Víceosá napjatost

- Desky, skořepiny, masivní stěnové konstrukce
- V nosnících namáhaných smykem a ohybem vzniká dvojosý stav napjatosti



f_c – pevnost v jednoosém tlaku
 σ_2, σ_3 – boční tlak $\neq 0$

Víceosá (trojosá) napjatost



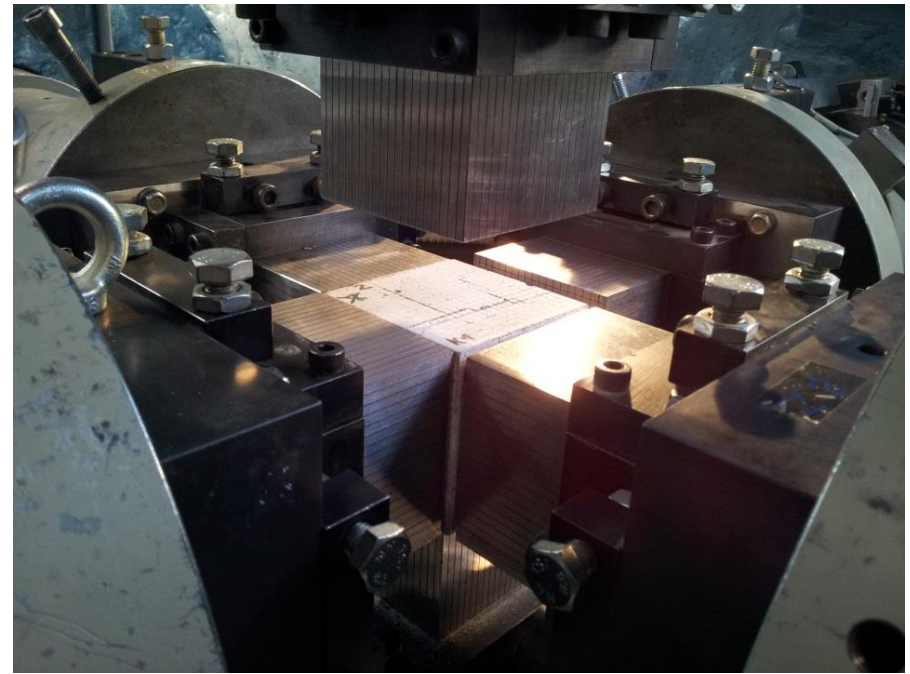
Víceosá napjatost-aktivní boční tlak

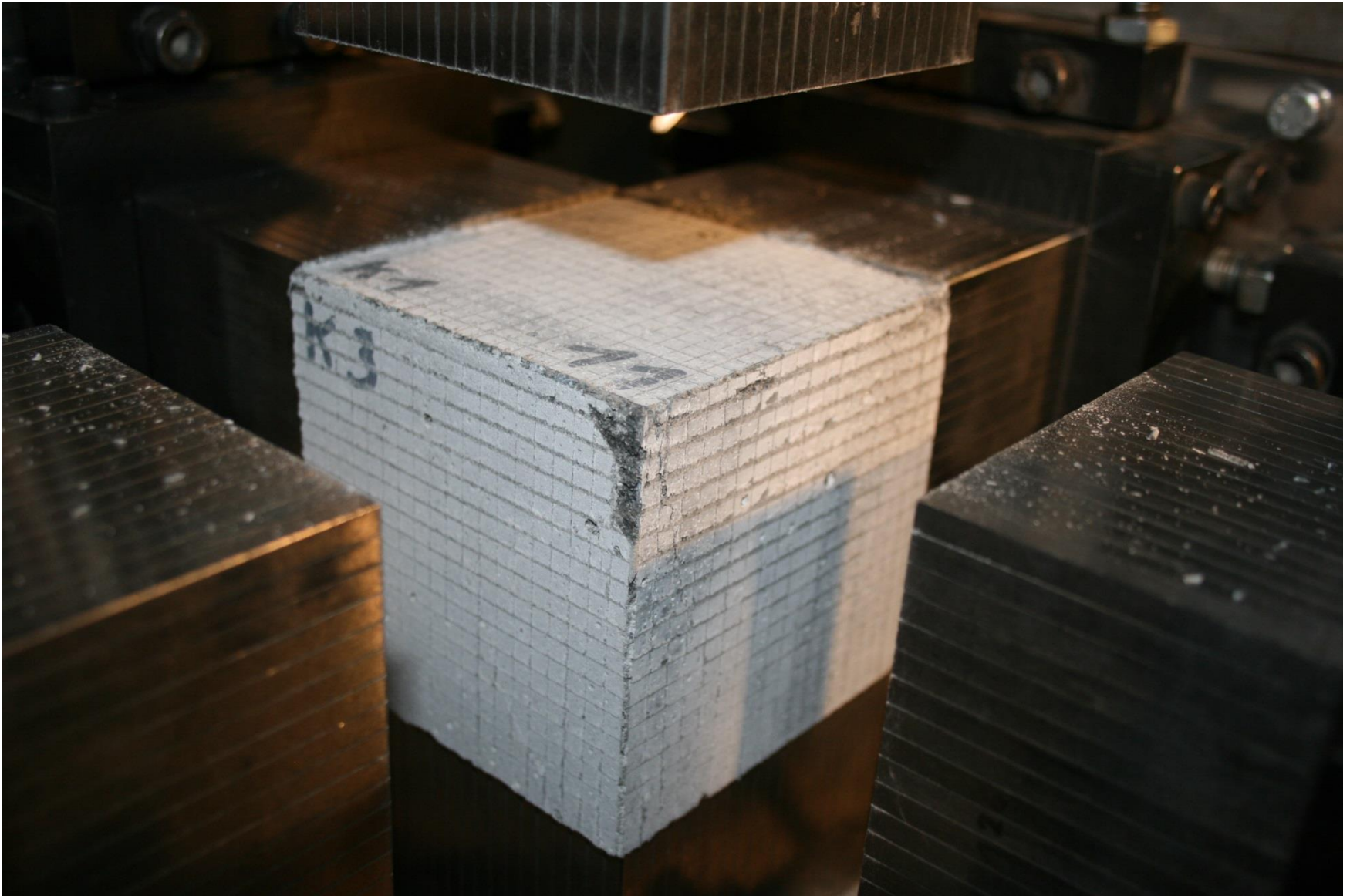
- Fakulta stavební, ČVUT v Praze



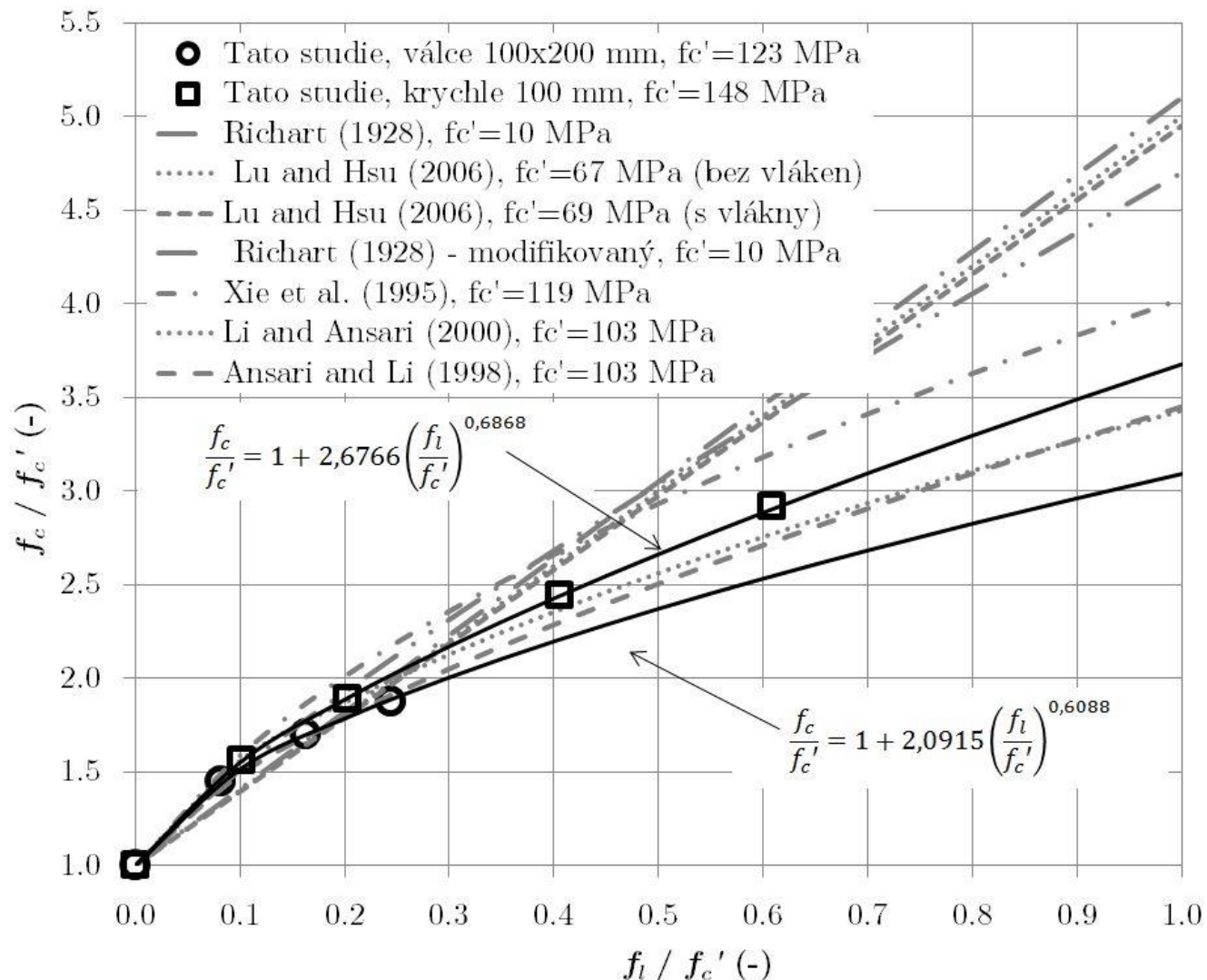
Víceosá napjatost-aktivní boční tlak

- Otto-Mohr Laboratorium, TU Dresden

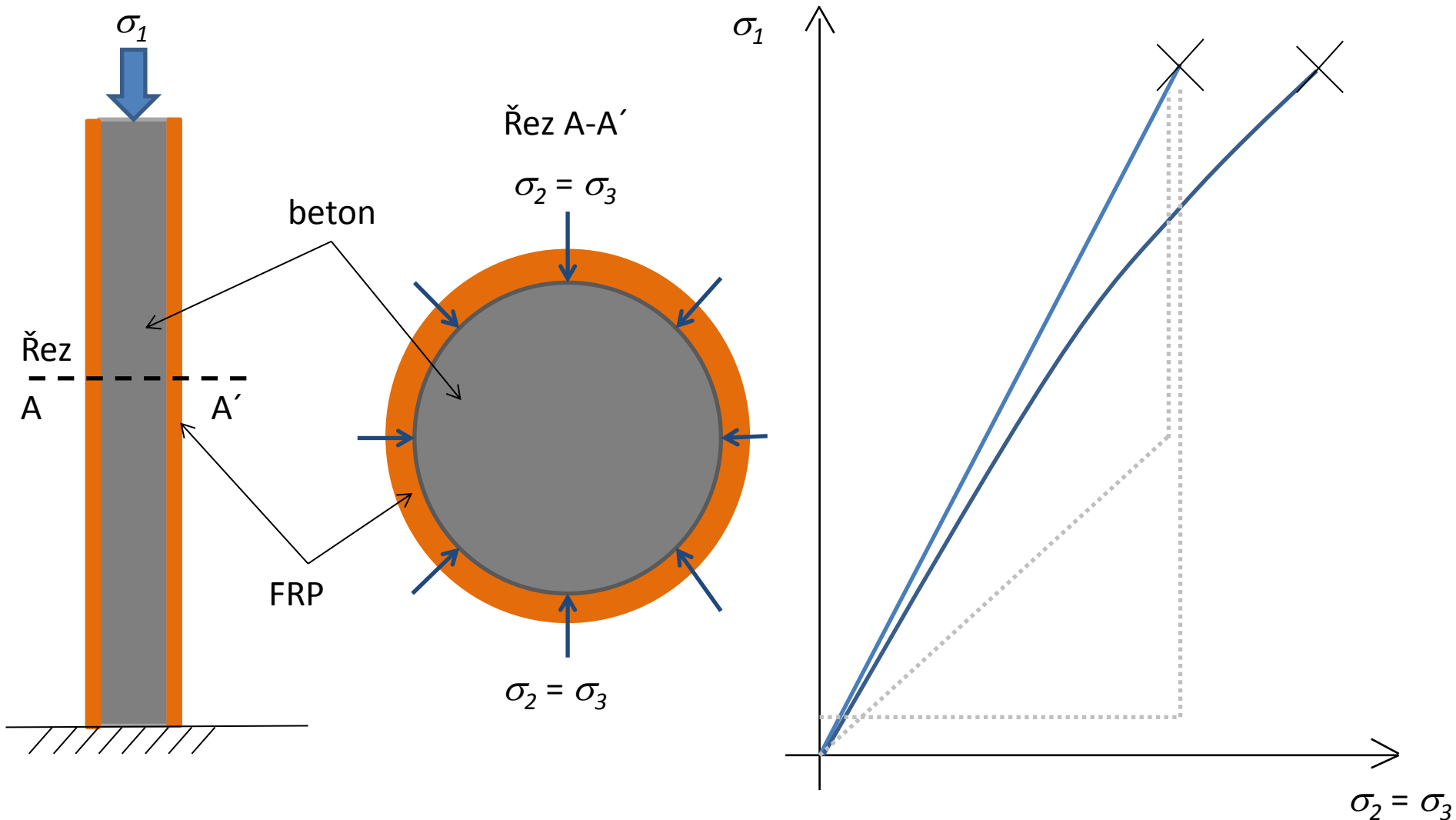




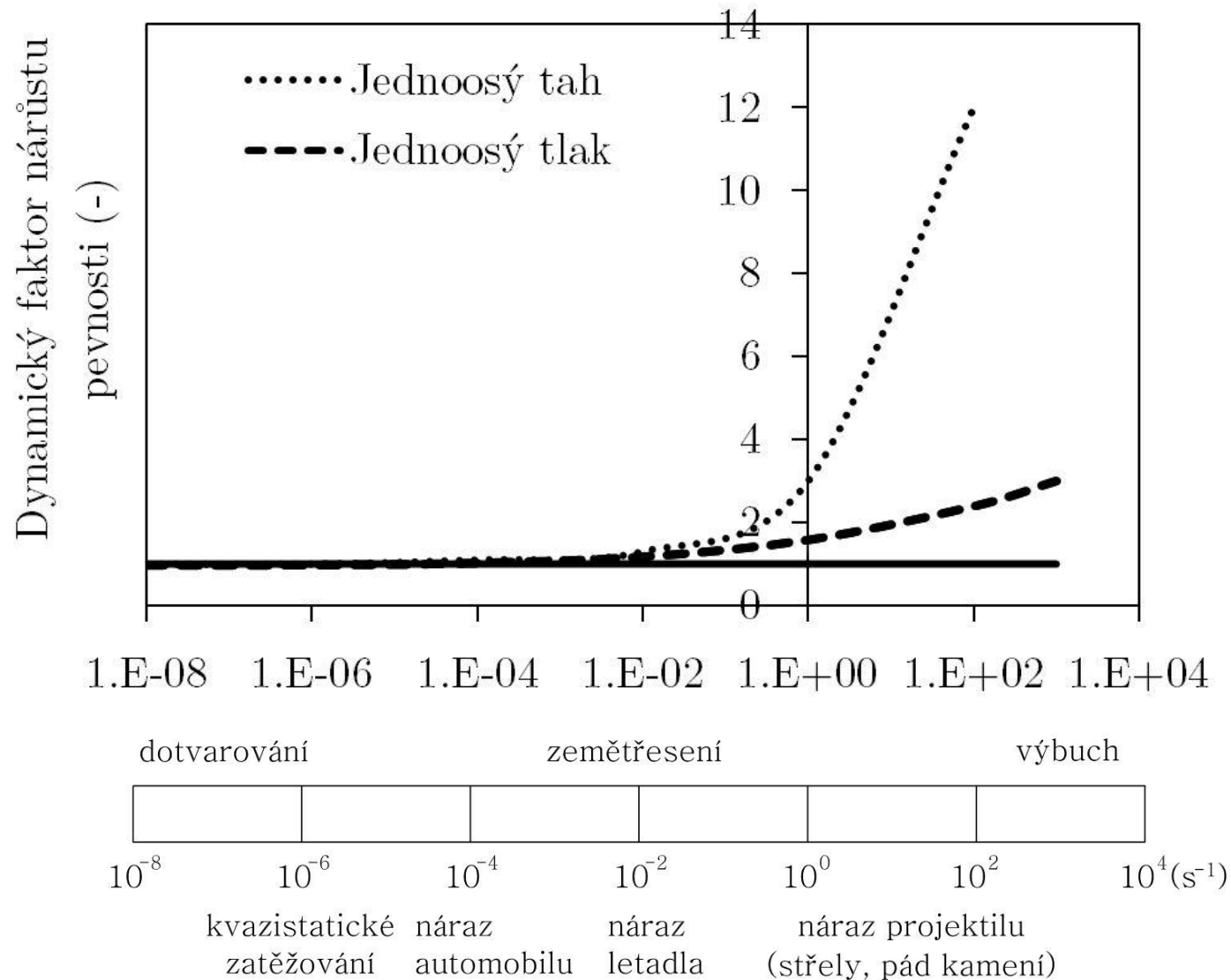
Pevnost betonu ve triaxiálním tlaku



Víceosá napjatost – pasivní boční tlak



Dynamický faktor nárůstu pevnosti (DIF)

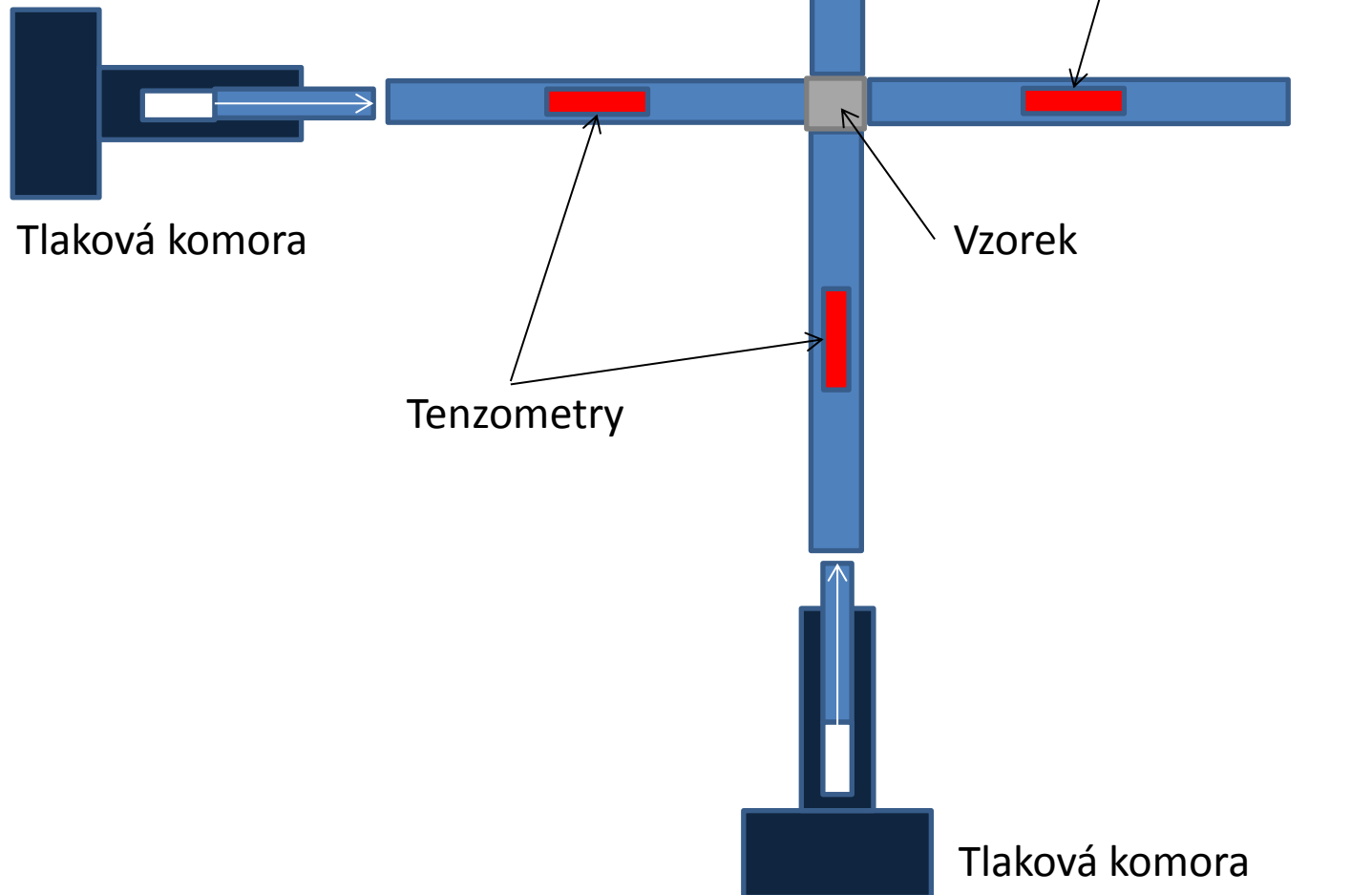




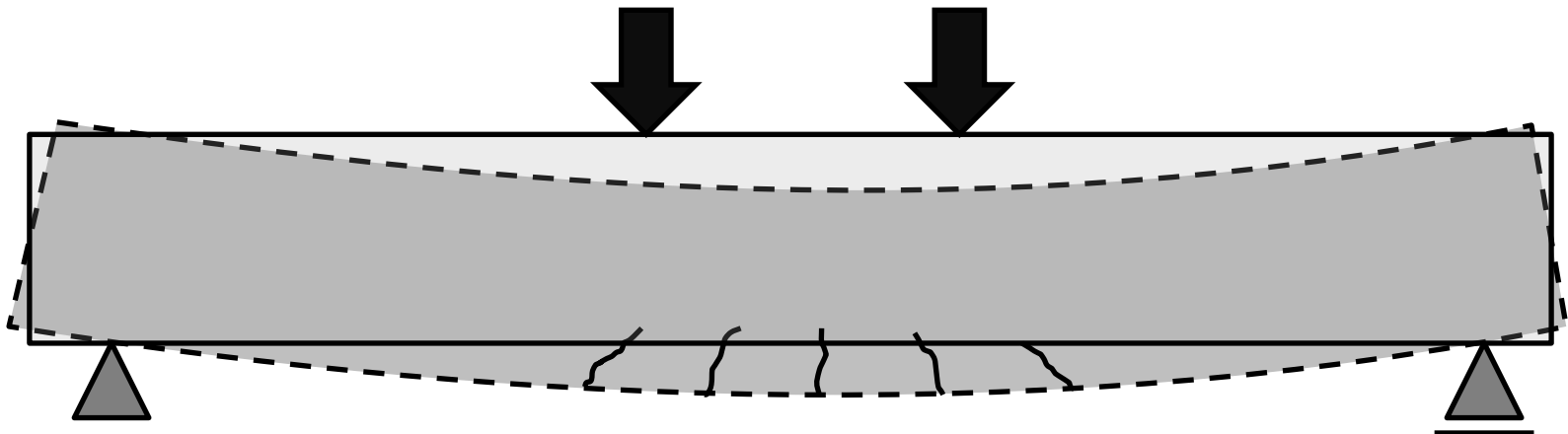
DIF + víceosá napjatost

Split-Hopkinson Pressure bar (SHPB)

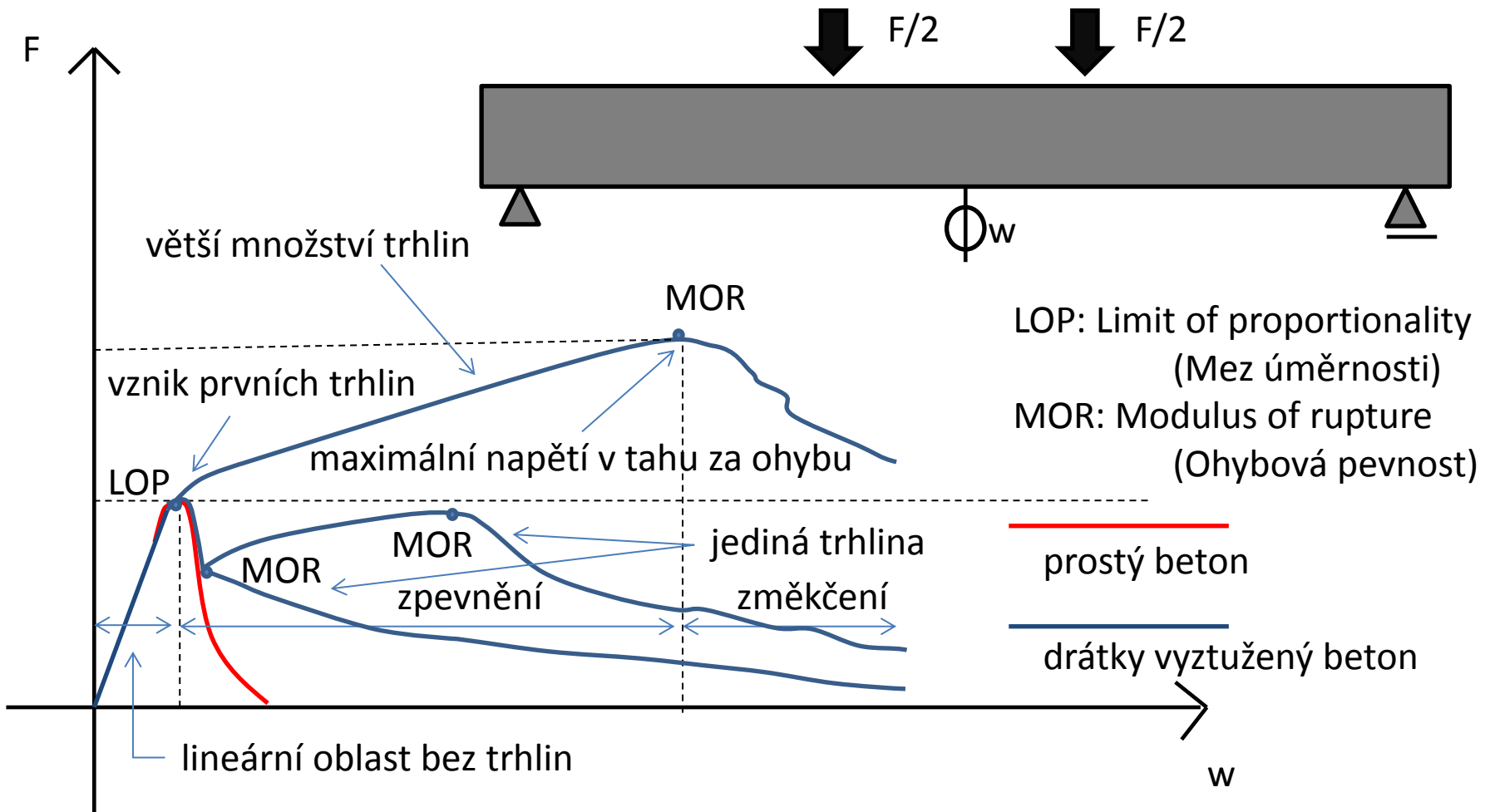
Uni-axial / Bi-axial / Tri-axial



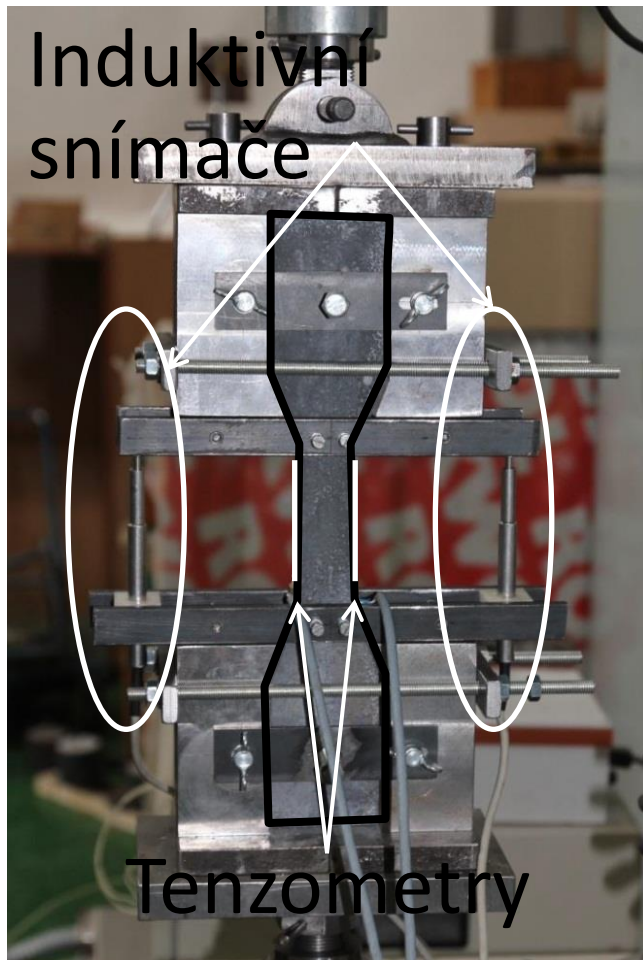
Ohyb



Prostý a drátky vyztužený beton v ohybu

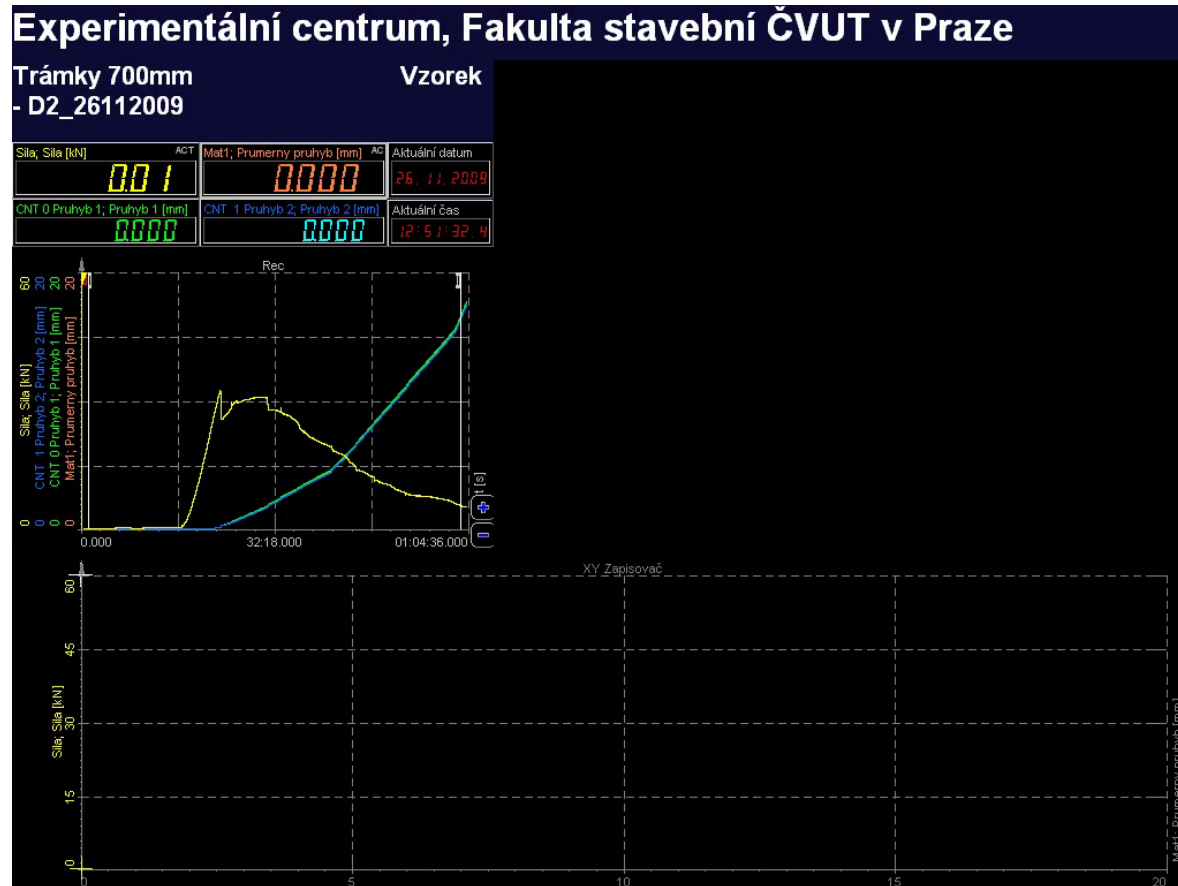


Zatěžovací zkouška betonu v tahu a v tahu za ohybu

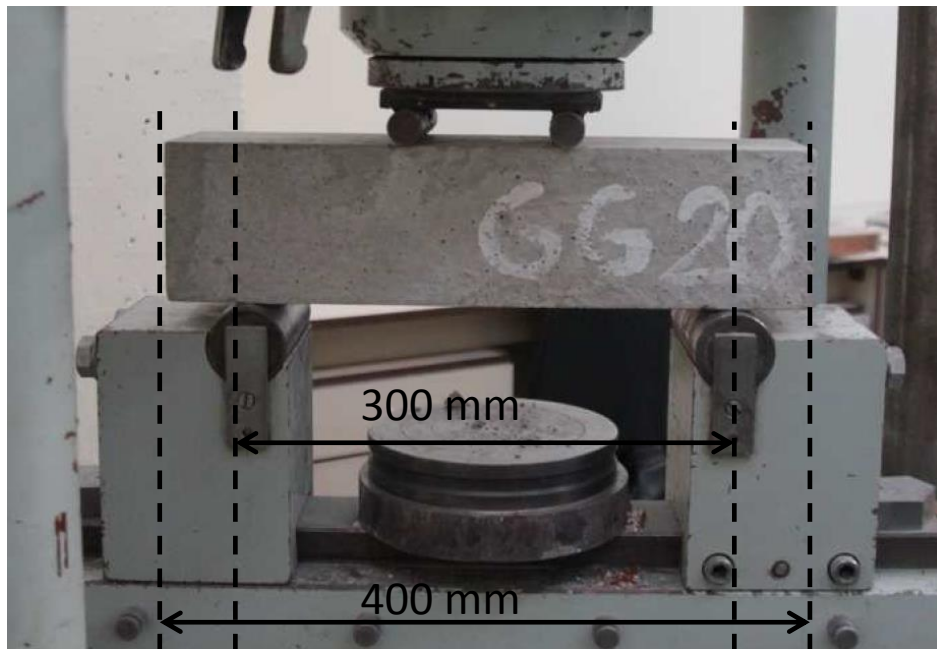




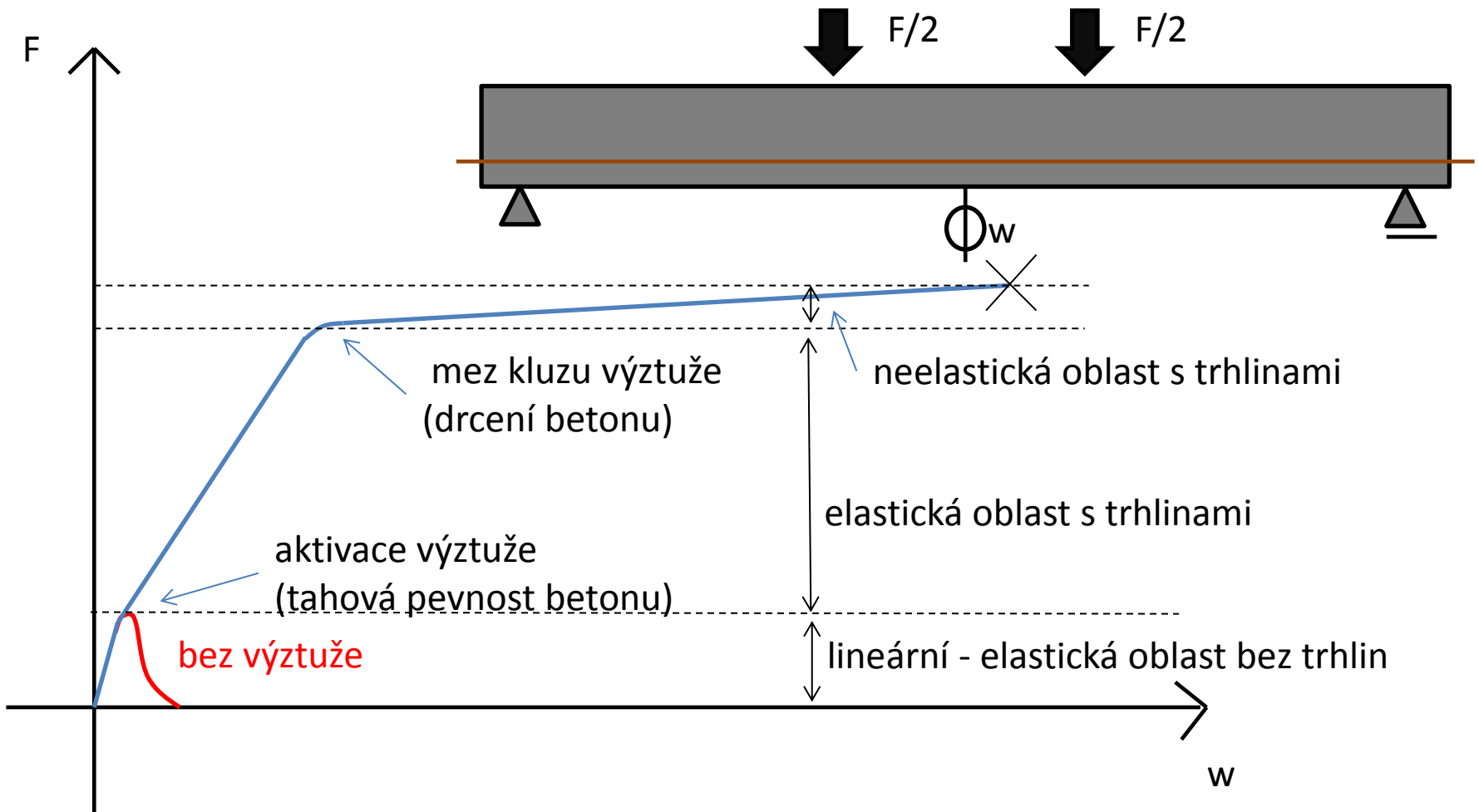
Čtyřbodový ohyb drátkobetonu



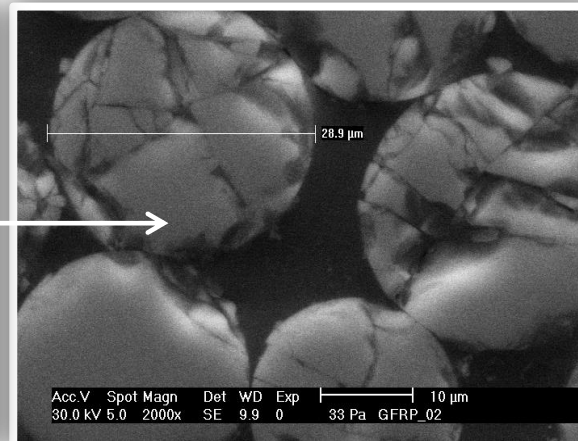
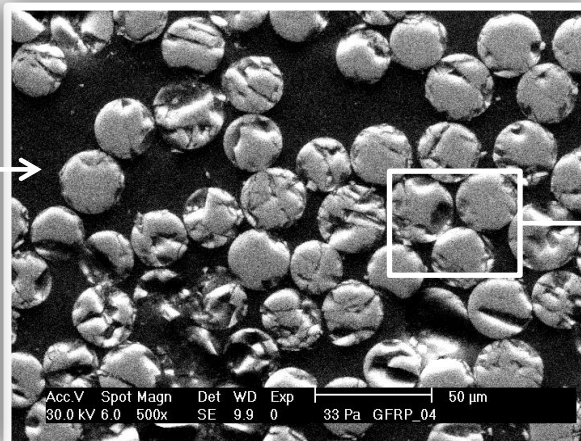
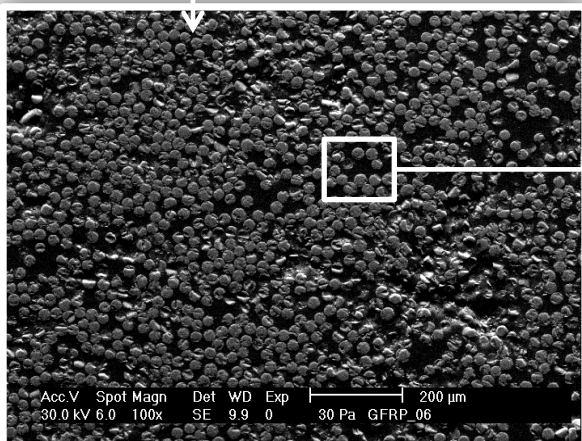
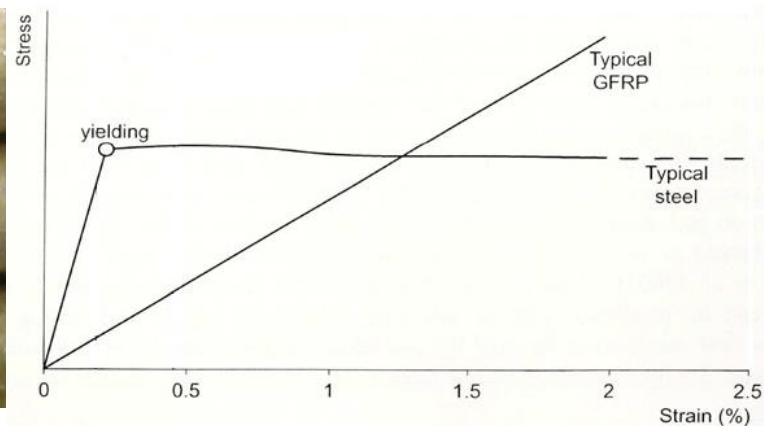
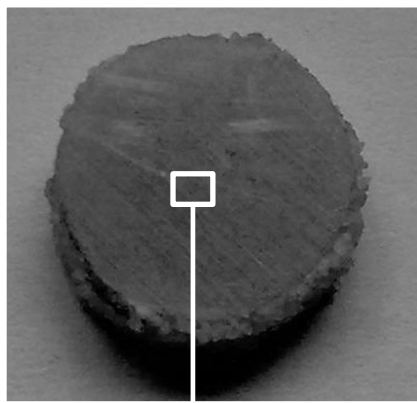
Prostý a drátky vyztužený beton v ohybu



Čtyřbodový ohyb betonového nosníku s ocelovou výztuží



Vlákný vyztužené polymery – FRP (Fibre Reinforced Polymers)



Vláknny vyztužené polymery

+

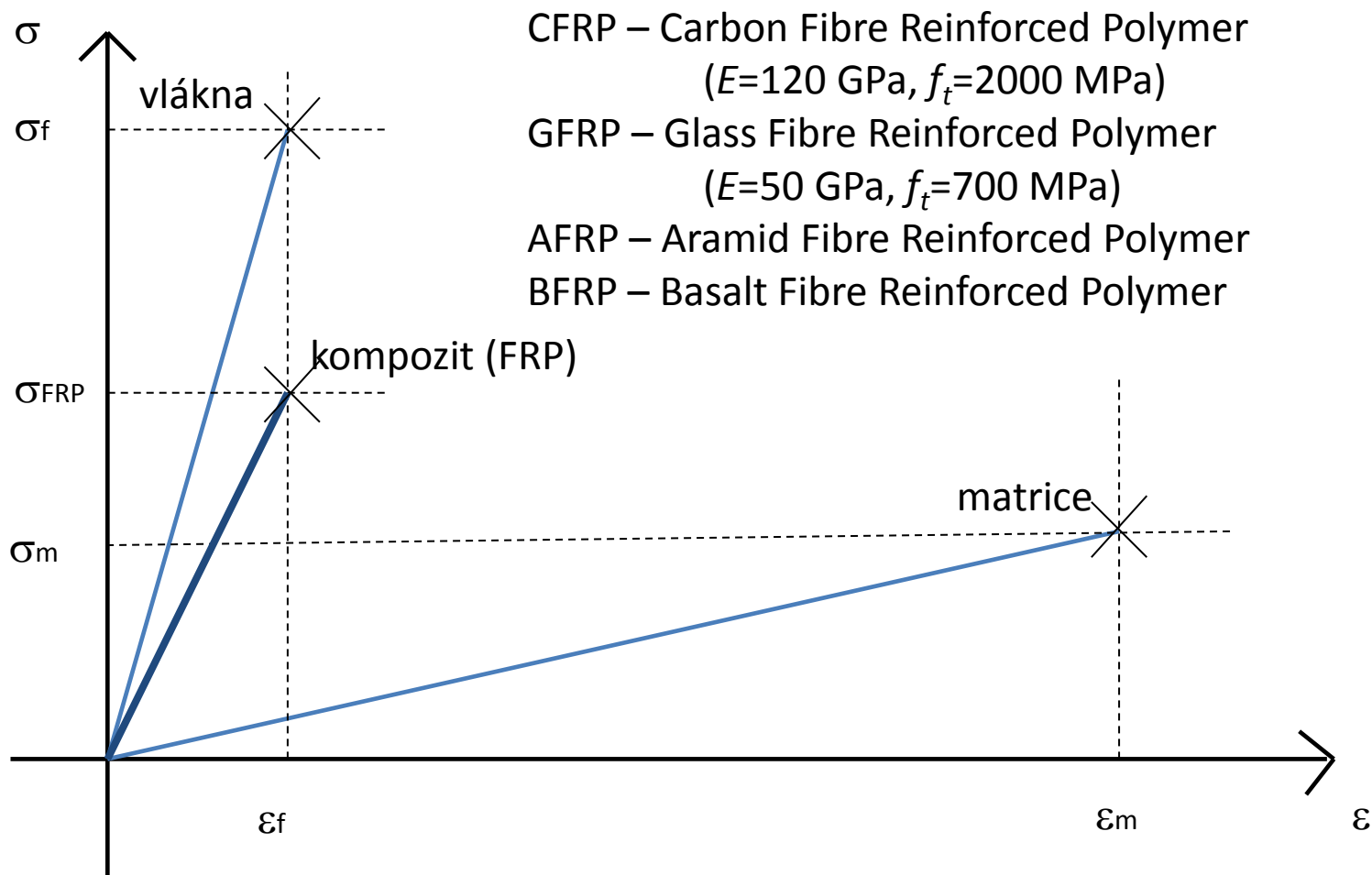
Nízká hmotnost
Vysoká pevnost
Trvanlivost

-

Vysoká pořizovací cena
Nízký modul pružnosti
Křehkost
Ohýbatelnost

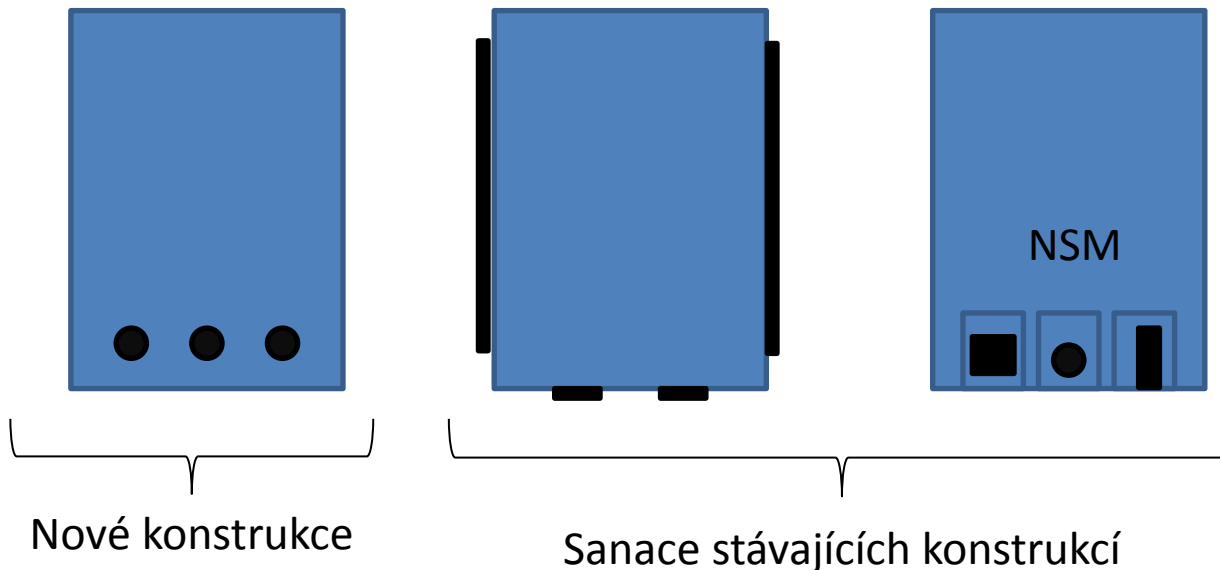


Pracovní diagram FRP



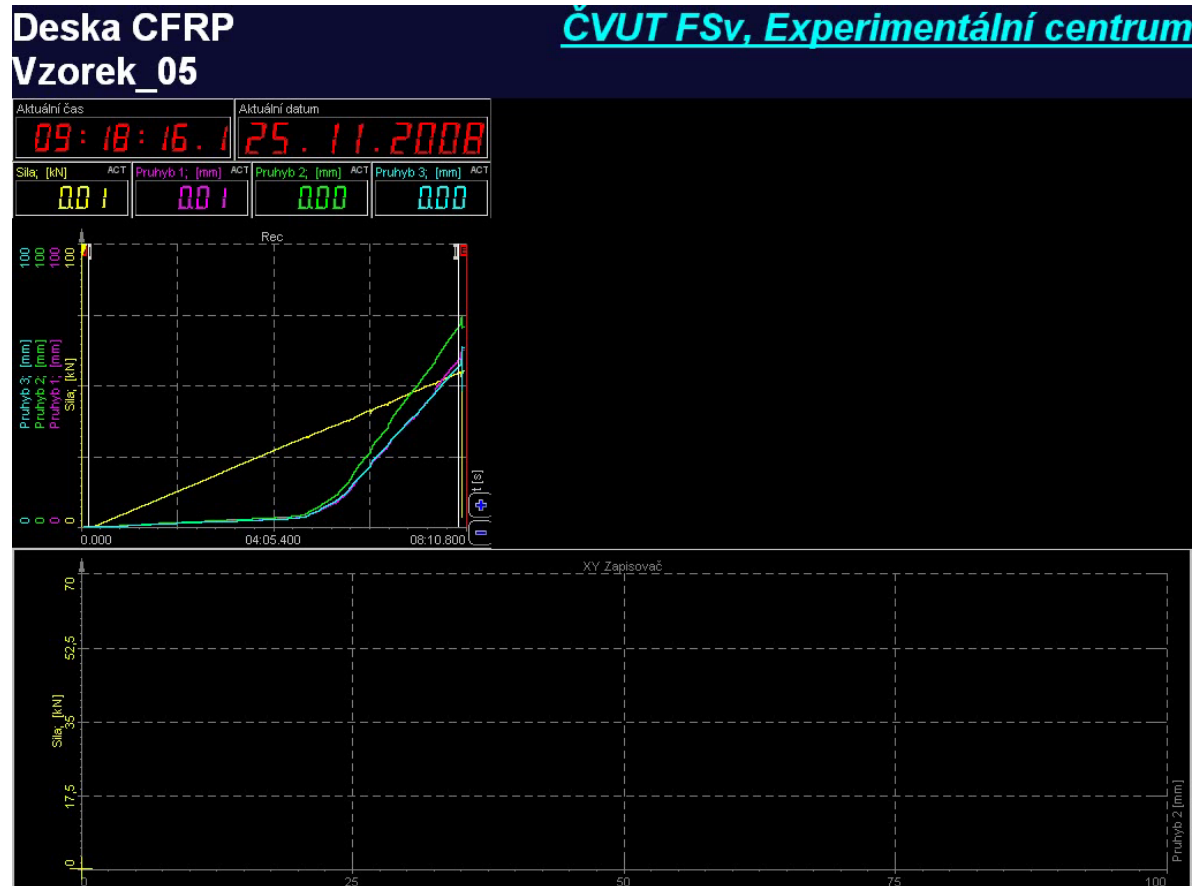
Vlákný vyztužené polymery

- Vnitřní výztuž
- Vnější lamely – ohyb, smyk, obalování sloupů, předpínané lamely
- Výztuž jdoucí v blízkosti povrchu, NSM (Near Surface Mounted)

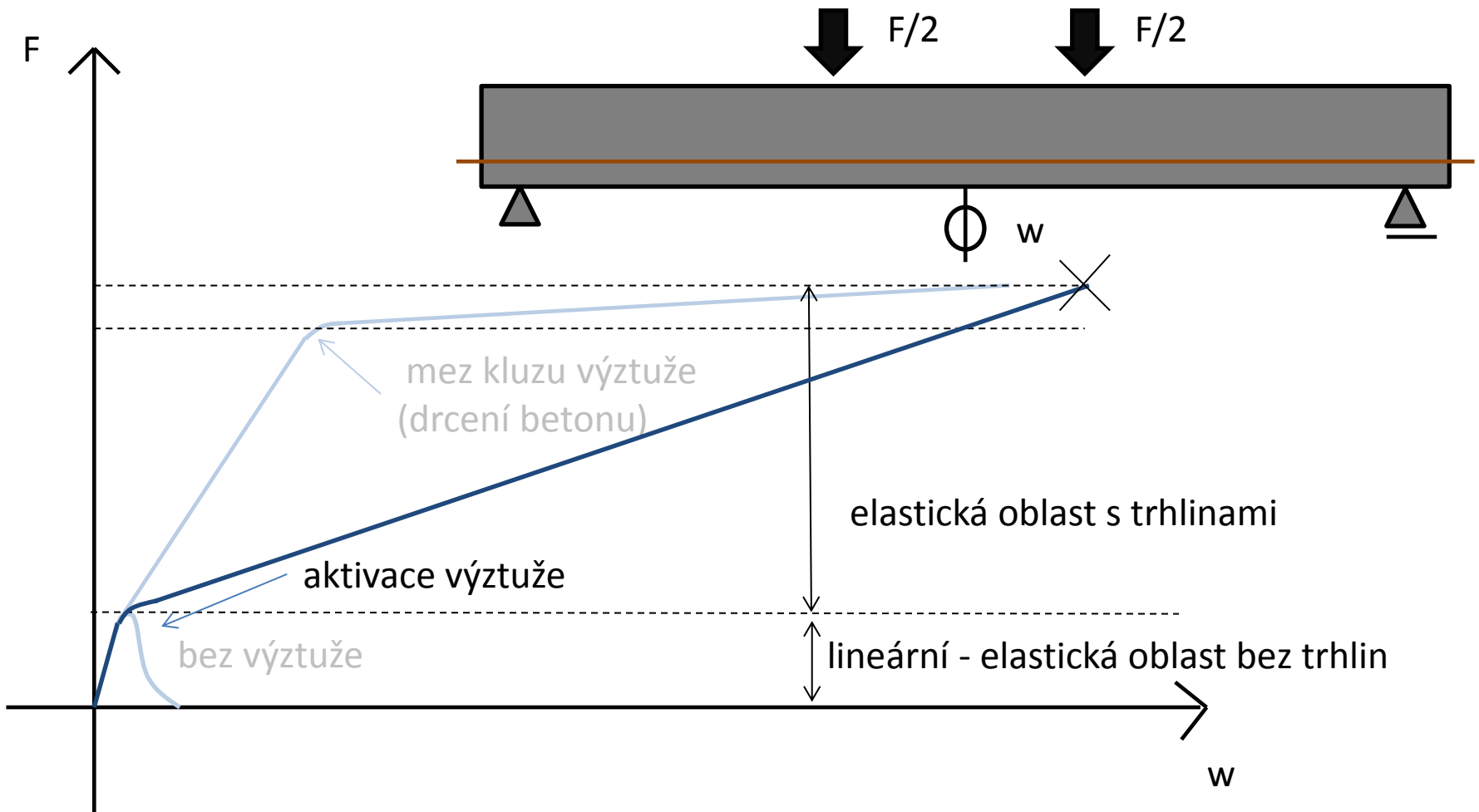




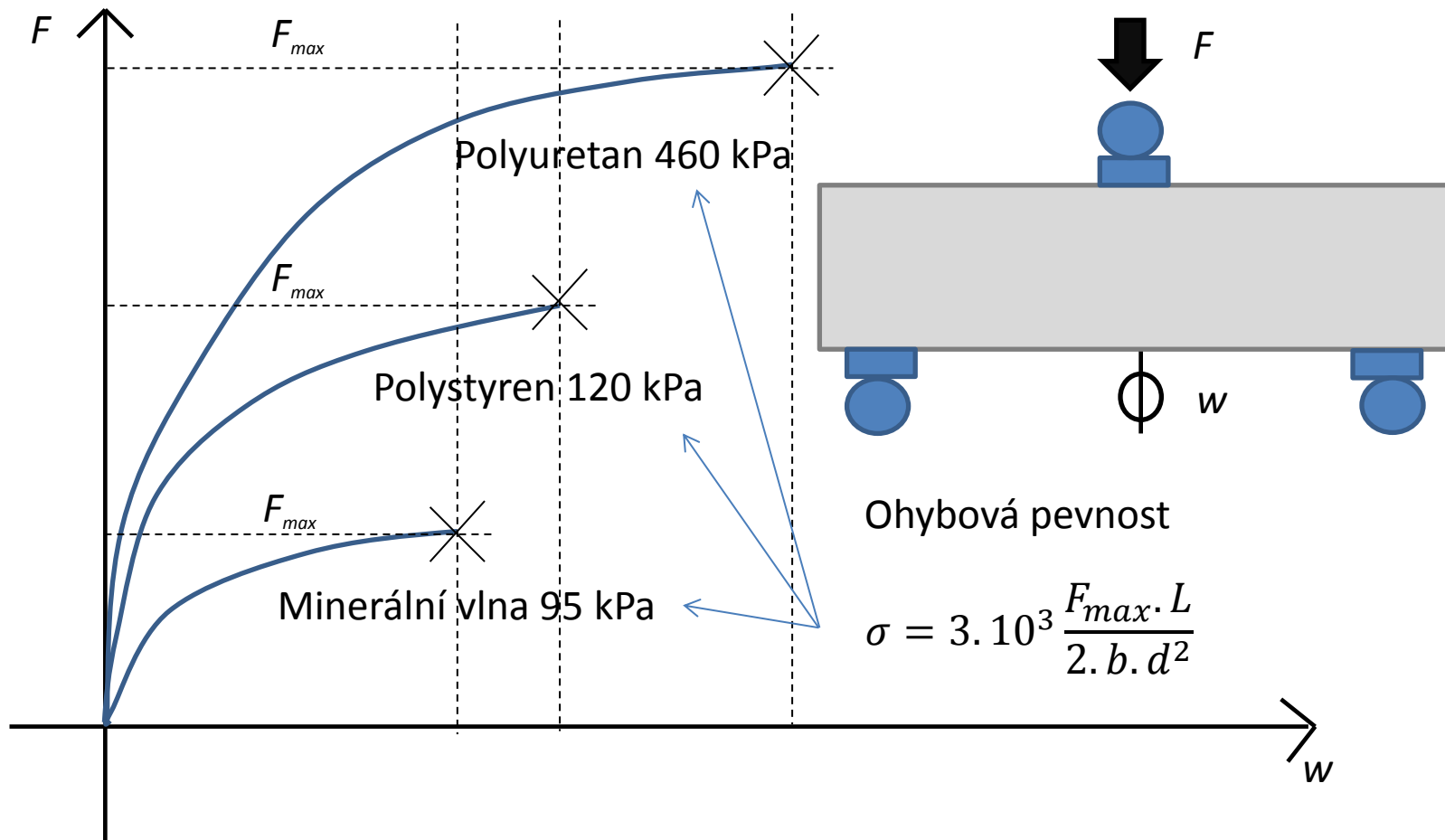
Čtyřbodový ohyb betonového nosníku s FRP výztuží



Čtyřbodový ohyb betonového nosníku s FRP výztuží

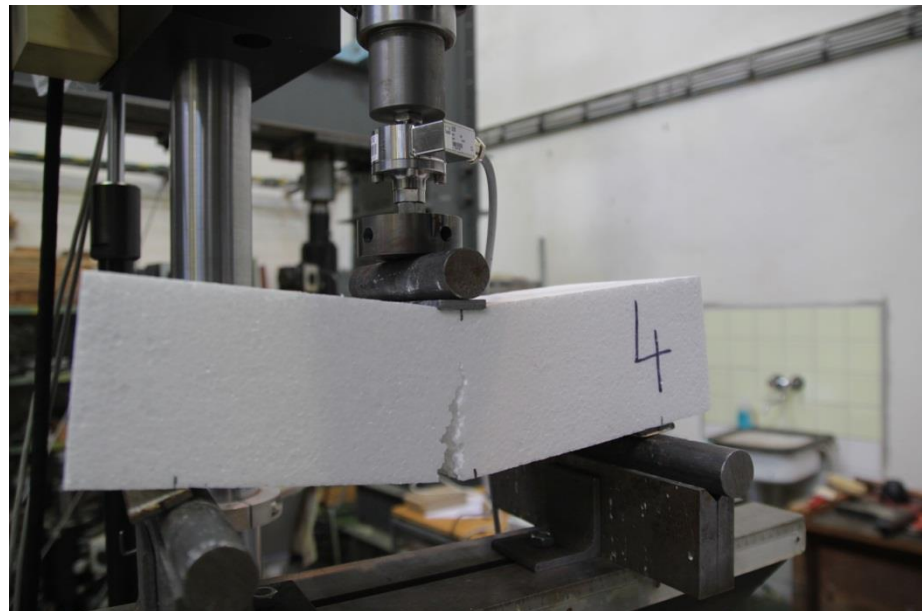
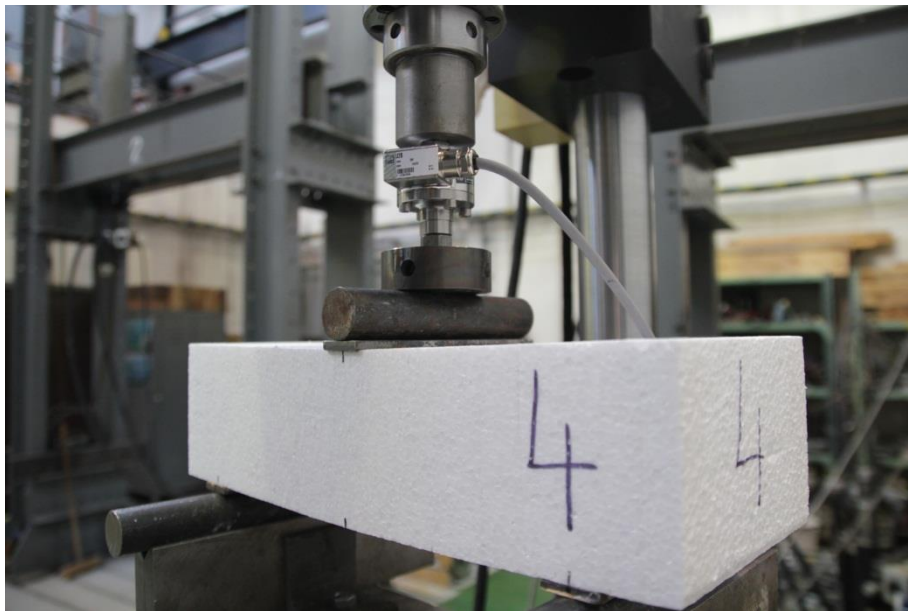


Tepelně izolační výrobky v ohybu

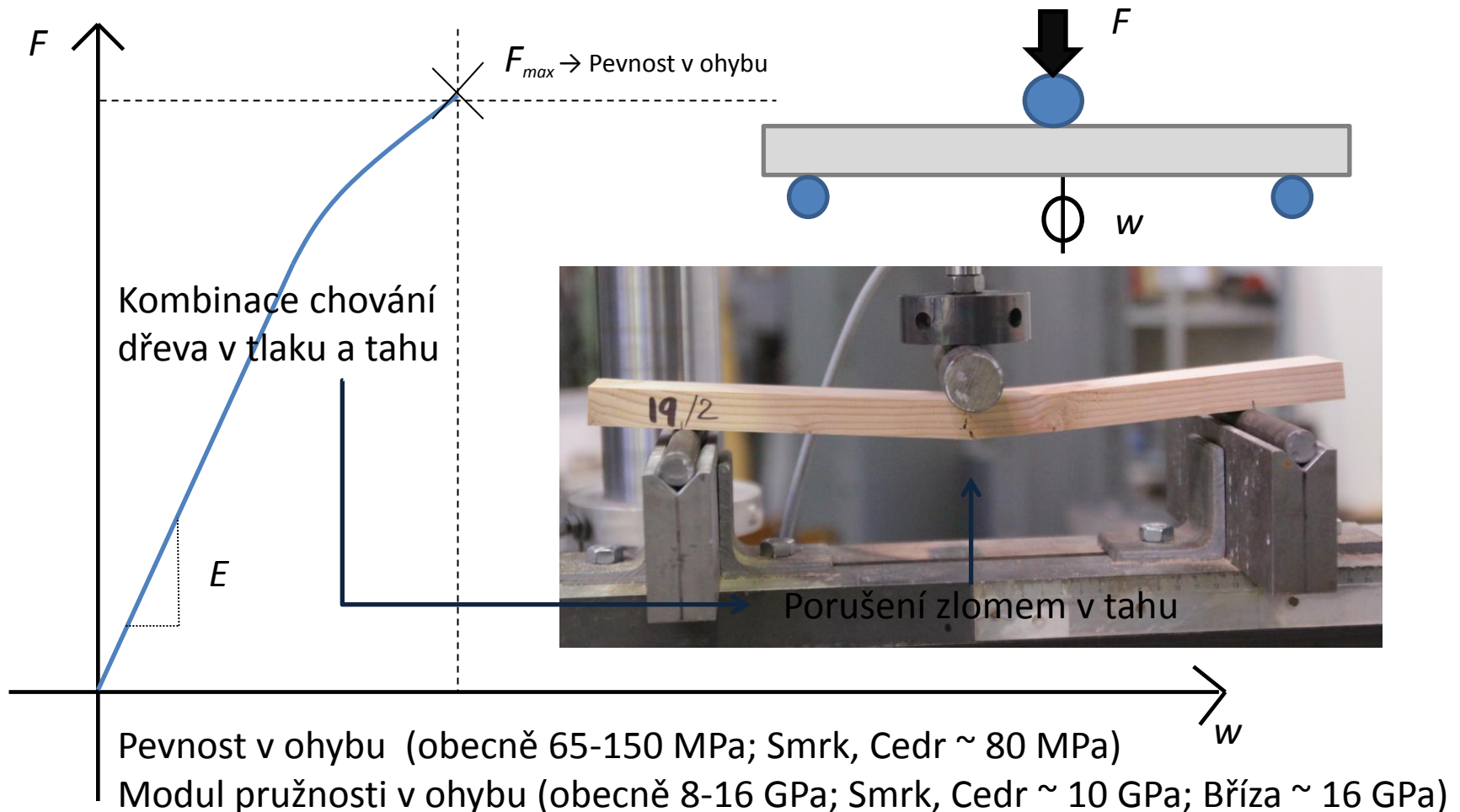




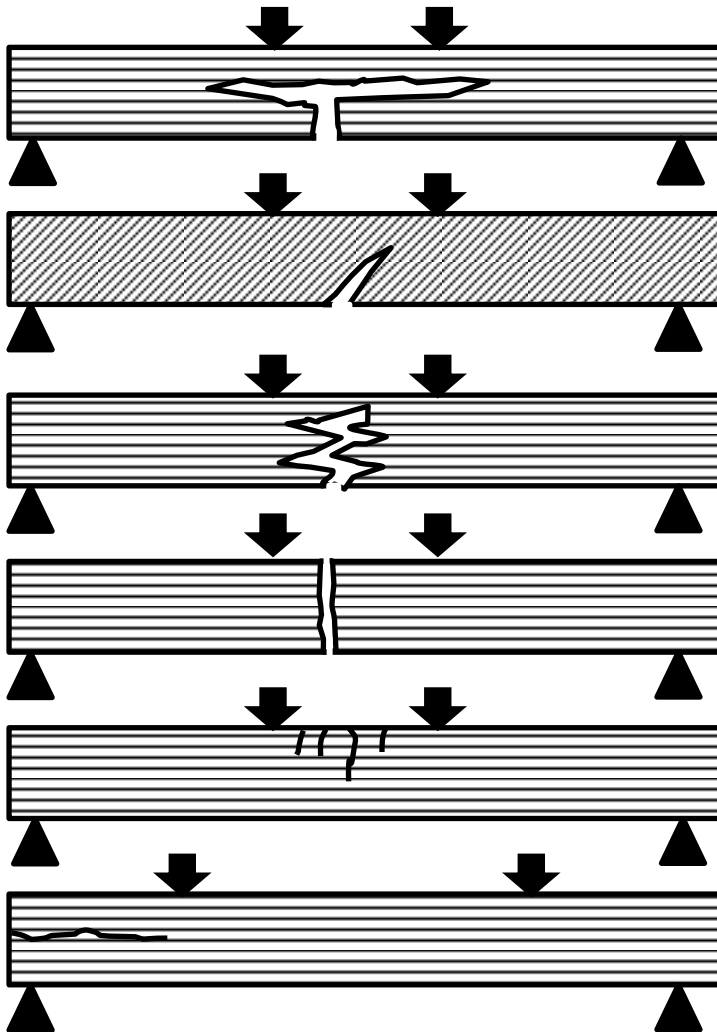
Tepelně izolační výrobky v ohybu



Pracovní diagram dřeva v ohybu



Poruchy dřevěných konstrukcí v ohybu



Vzniklá trhлина se šíří po neutrální ose

Při odklonu vláken dojde ke vzniku trhliny ve směru rovnoběžném se směrem vláken

Vláknitý lom

Křehký lom

Tlakové porušení

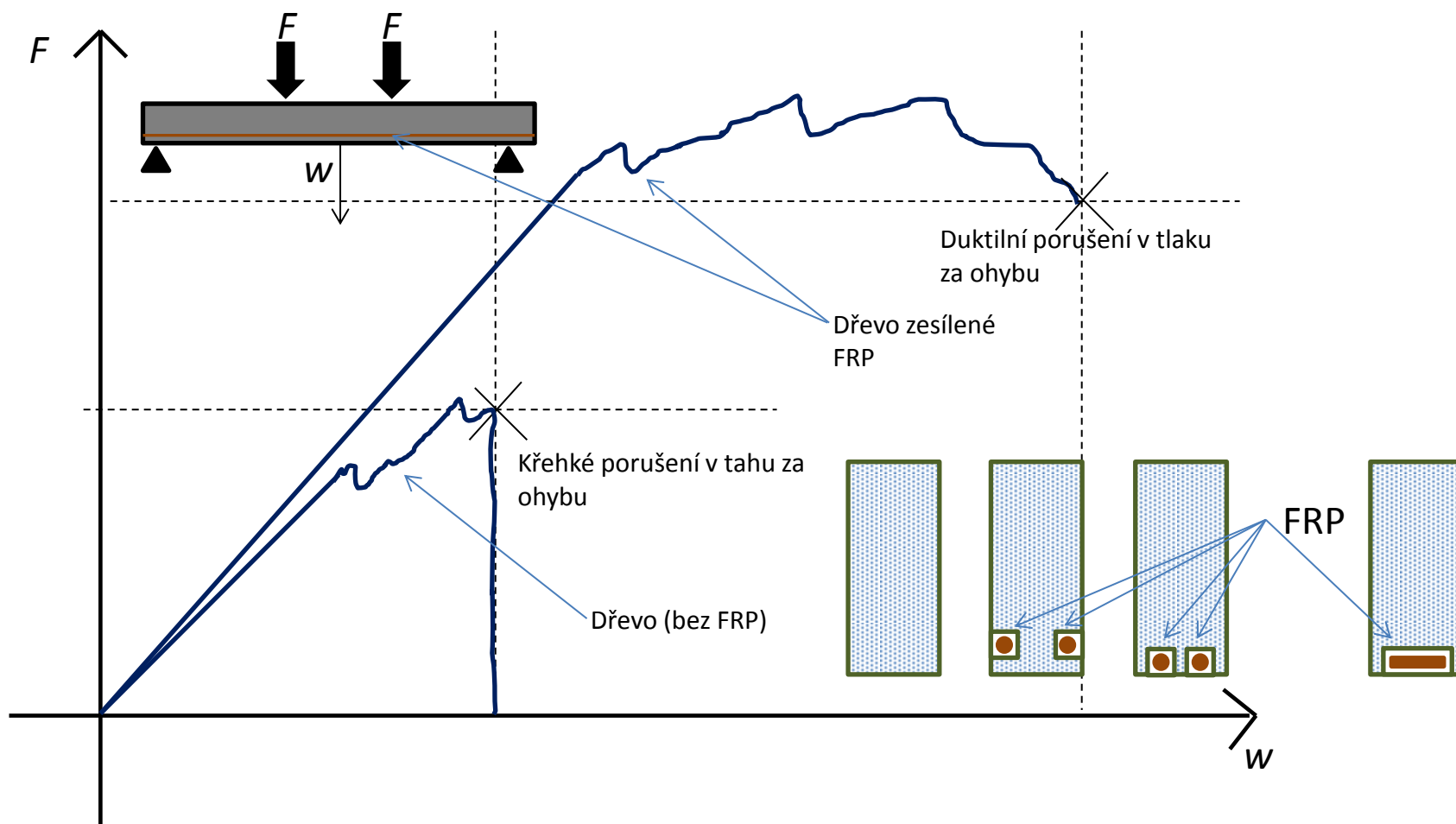
Smykové porušení



Zatěžovací zkouška dřevěného trámu

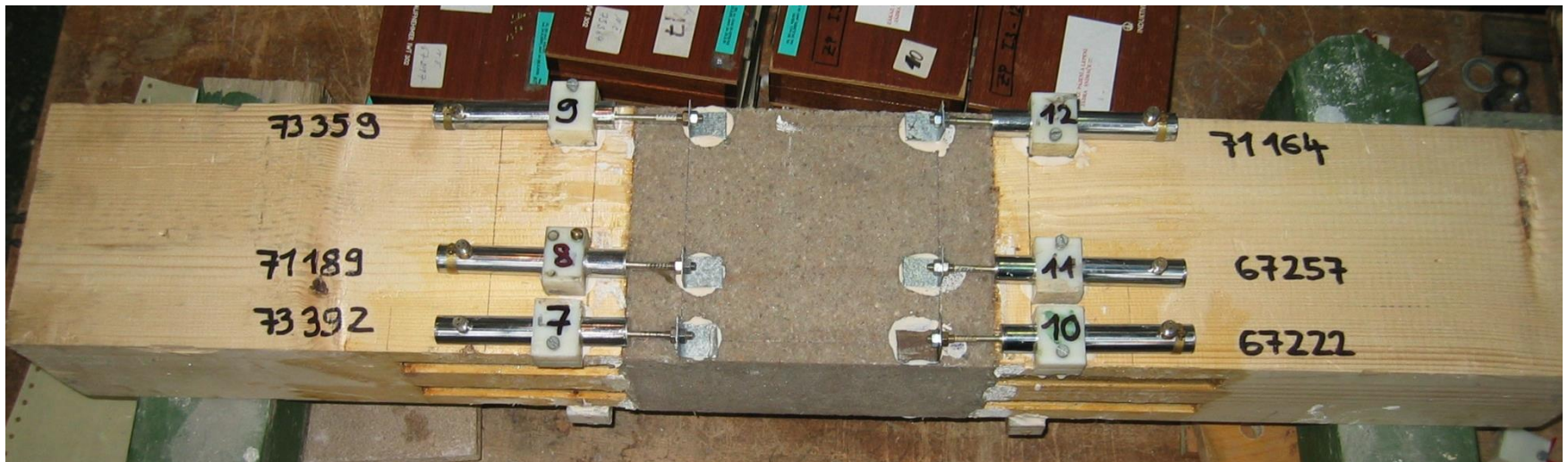


Zesilování dřeva pomocí FRP



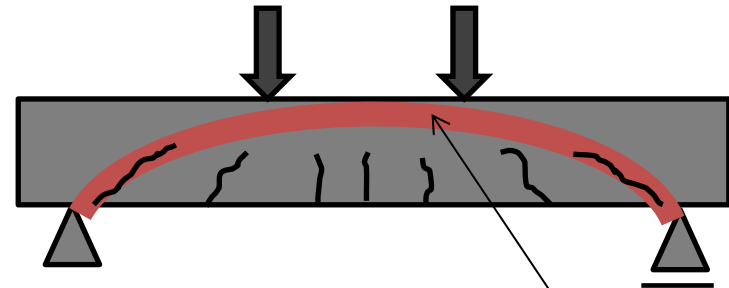
Sanace dřevěných konstrukcí

- Zesilování dřevěných konstrukcí pomocí FRP lamel
- Náhrada části konstrukce

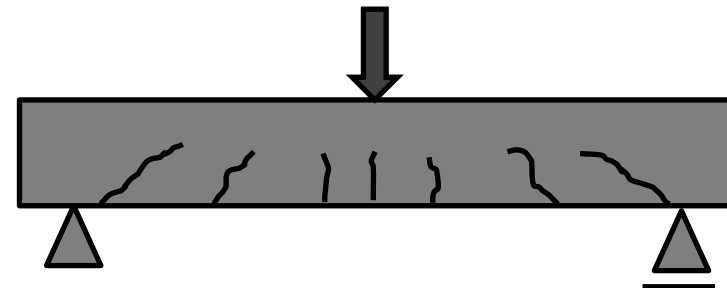
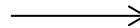
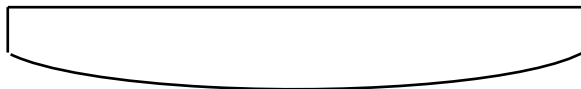
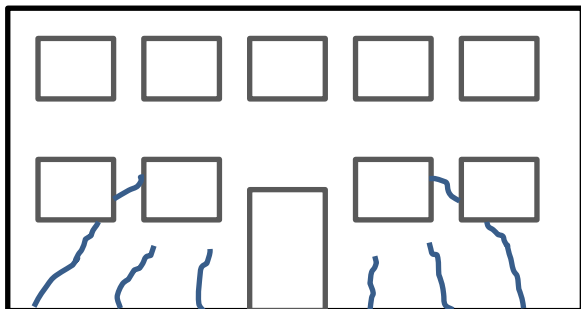


Statické trhliny

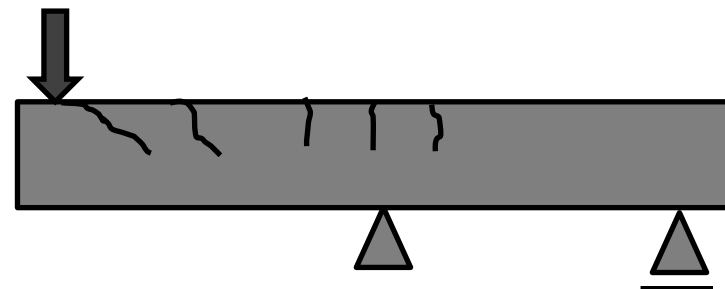
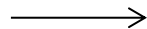
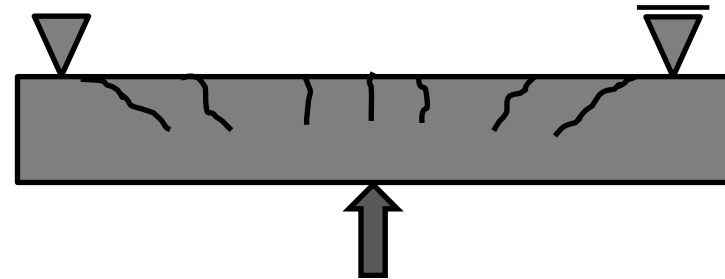
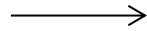
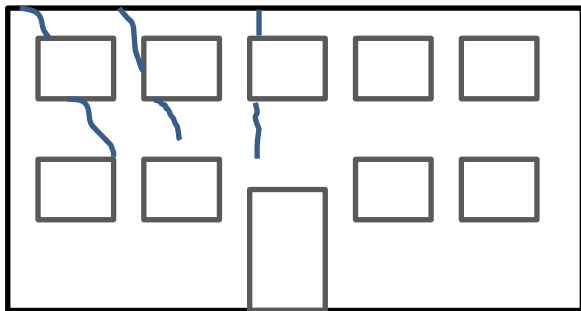
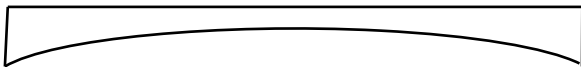
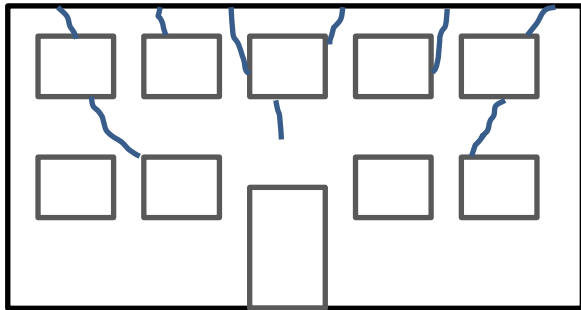
- Tahové trhliny
- Smykové trhliny



Směr hlavních tlakových napětí



Statické trhliny

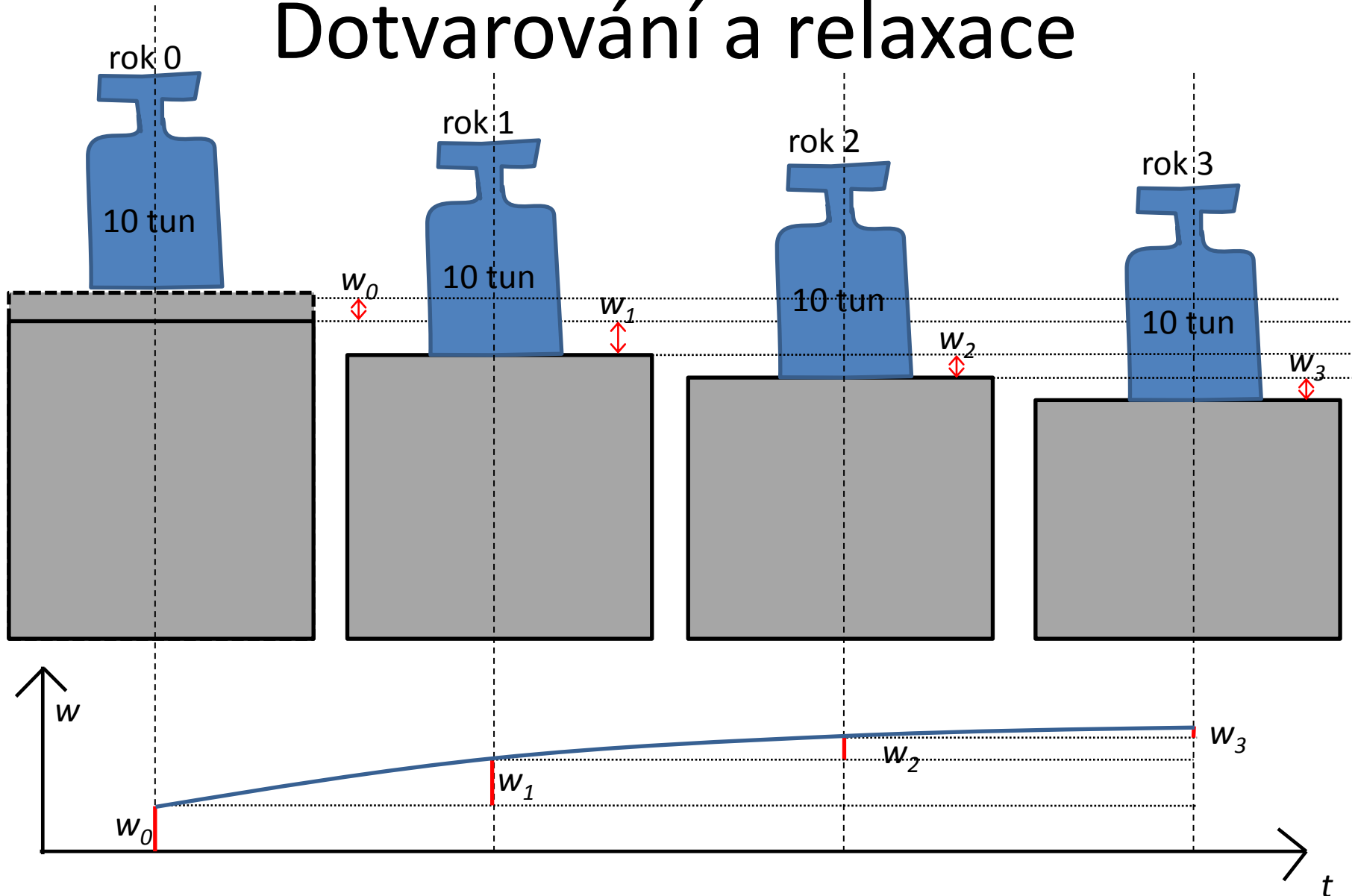


Trhliny způsobené nerovnoměrným sedáním





Dotvarování a relaxace



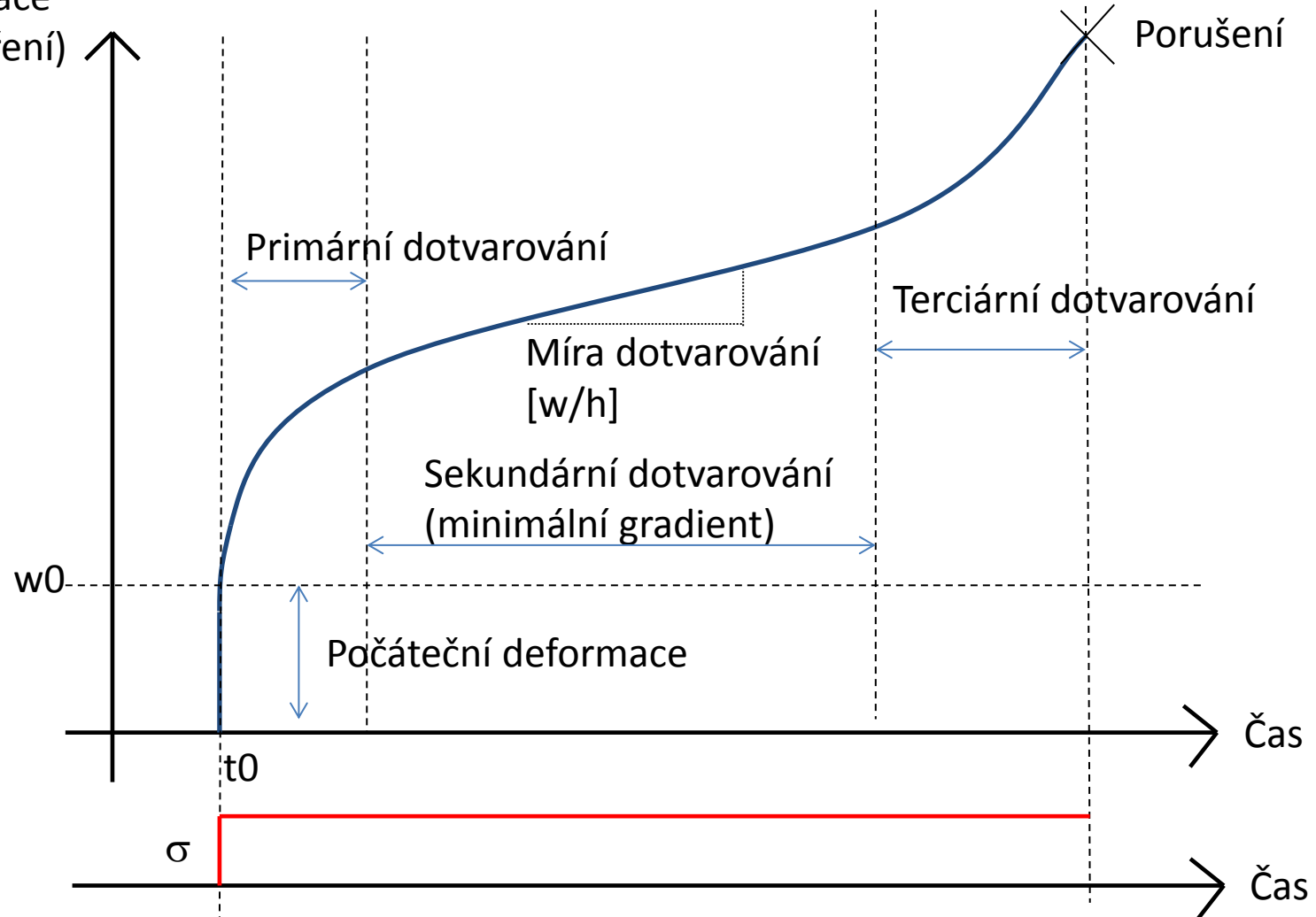
Účinky dotvarování a relaxace

- Dotvarování
 - nárůst průhybů
 - čím vyšší vyztužení tím je dotvarování menší
 - u sloupů (namáhaných mimostředním tlakem) se zvyšuje riziko vybočení
- Relaxace
 - u staticky neurčitých konstrukcí zmenšuje napětí vyvolaná kolísáním teploty, nebo popuštěním podpory

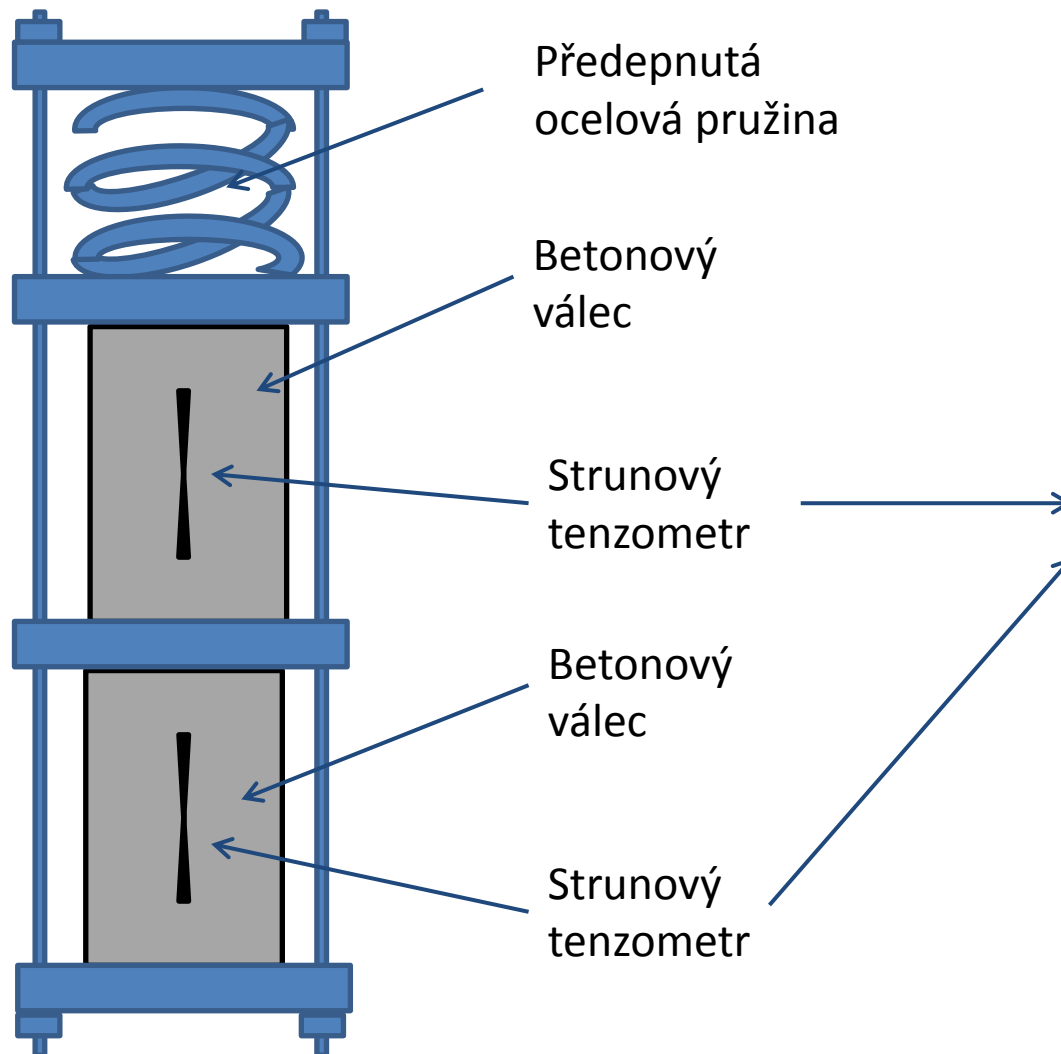


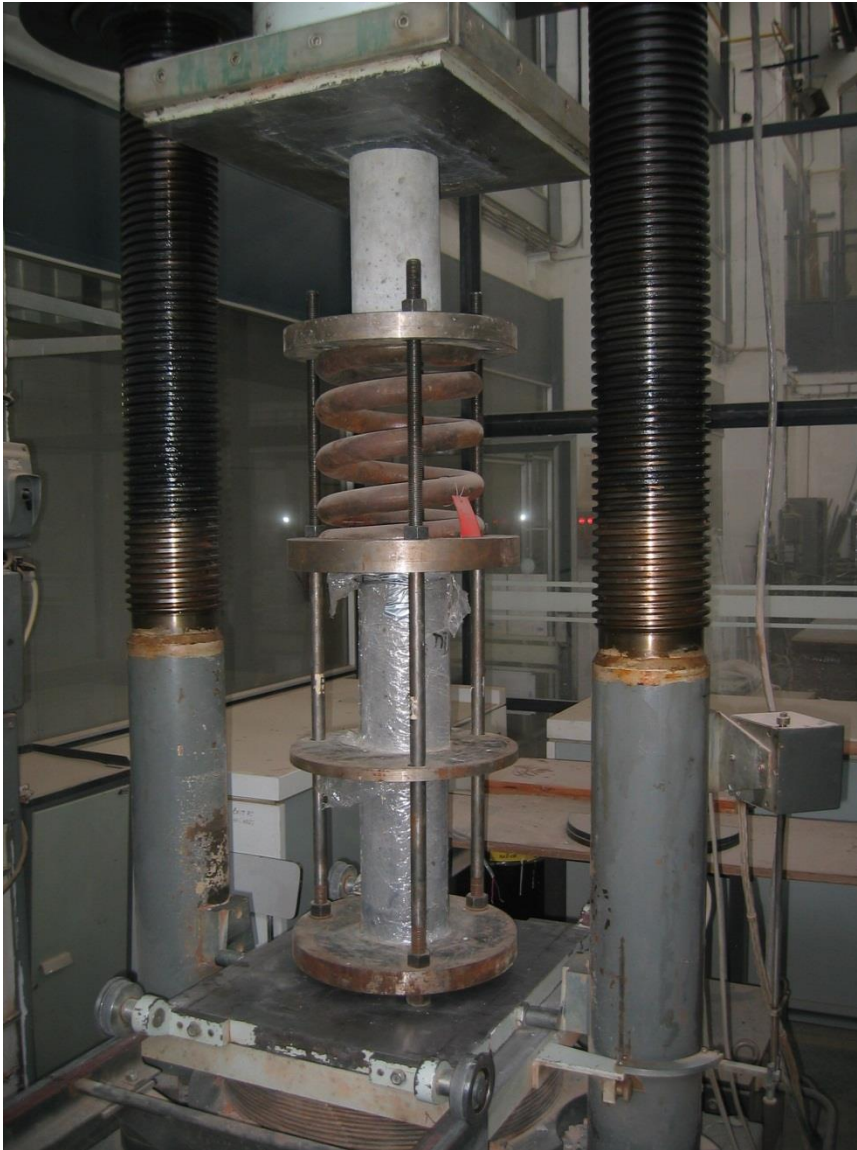
Dotvarování

Deformace
(Přetvoření)



Dotvarování betonu v tlaku

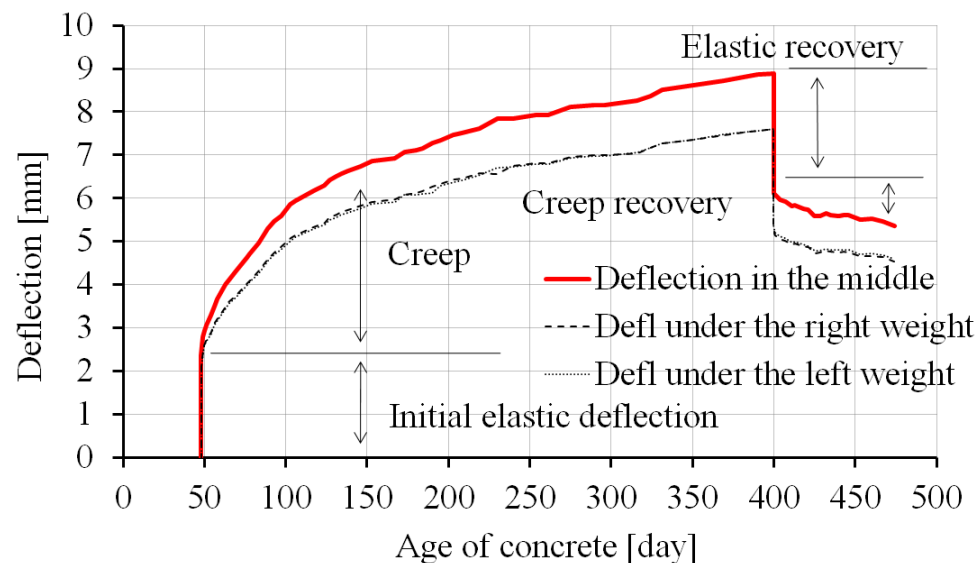
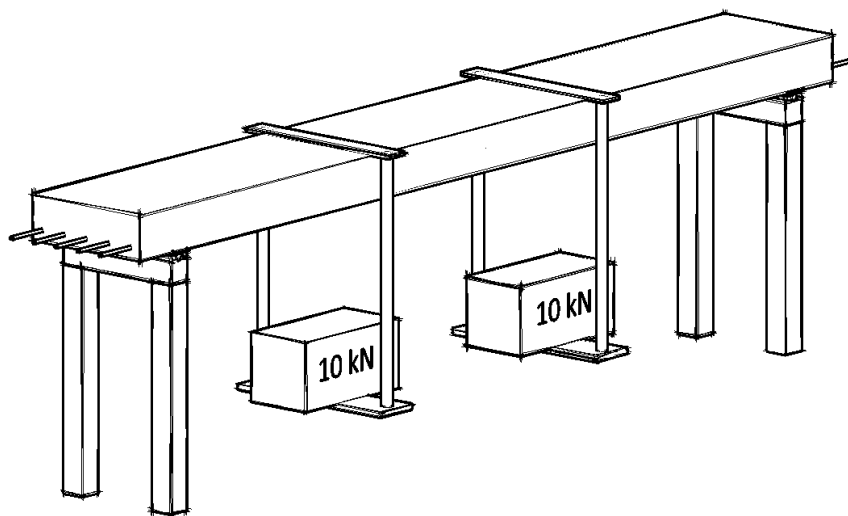




Nadměrné deformace od dlouhodobého zatížení

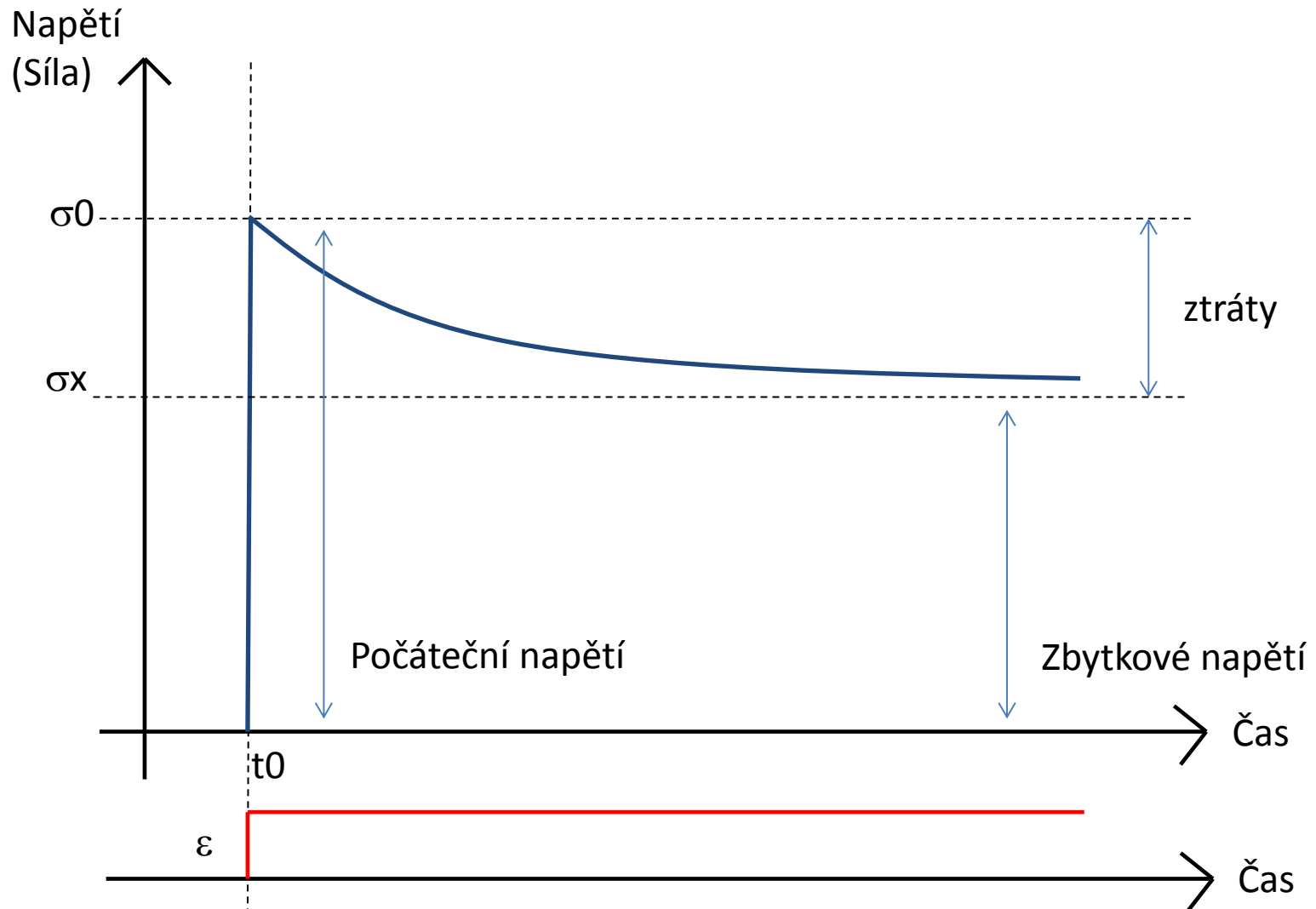
Dotvarování (Creep)

zatížení: konstantní; deformace: časově
závislá proměnná



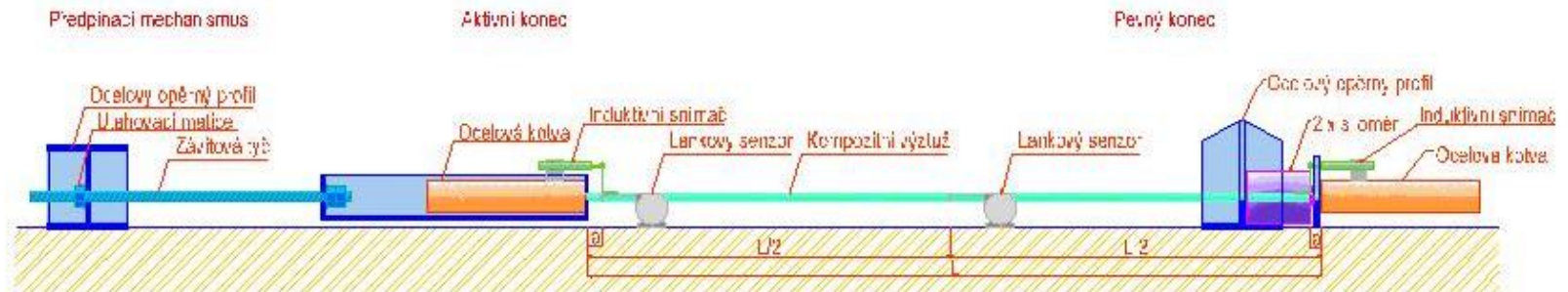
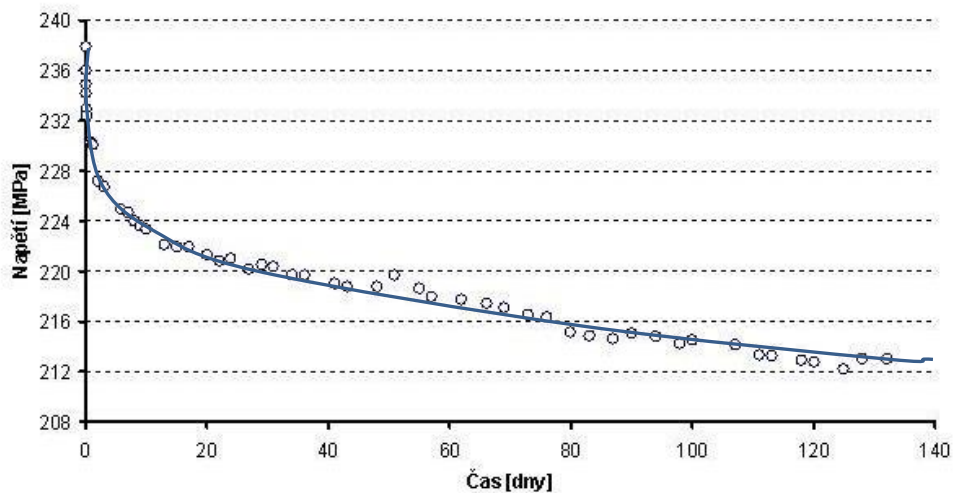


Relaxace

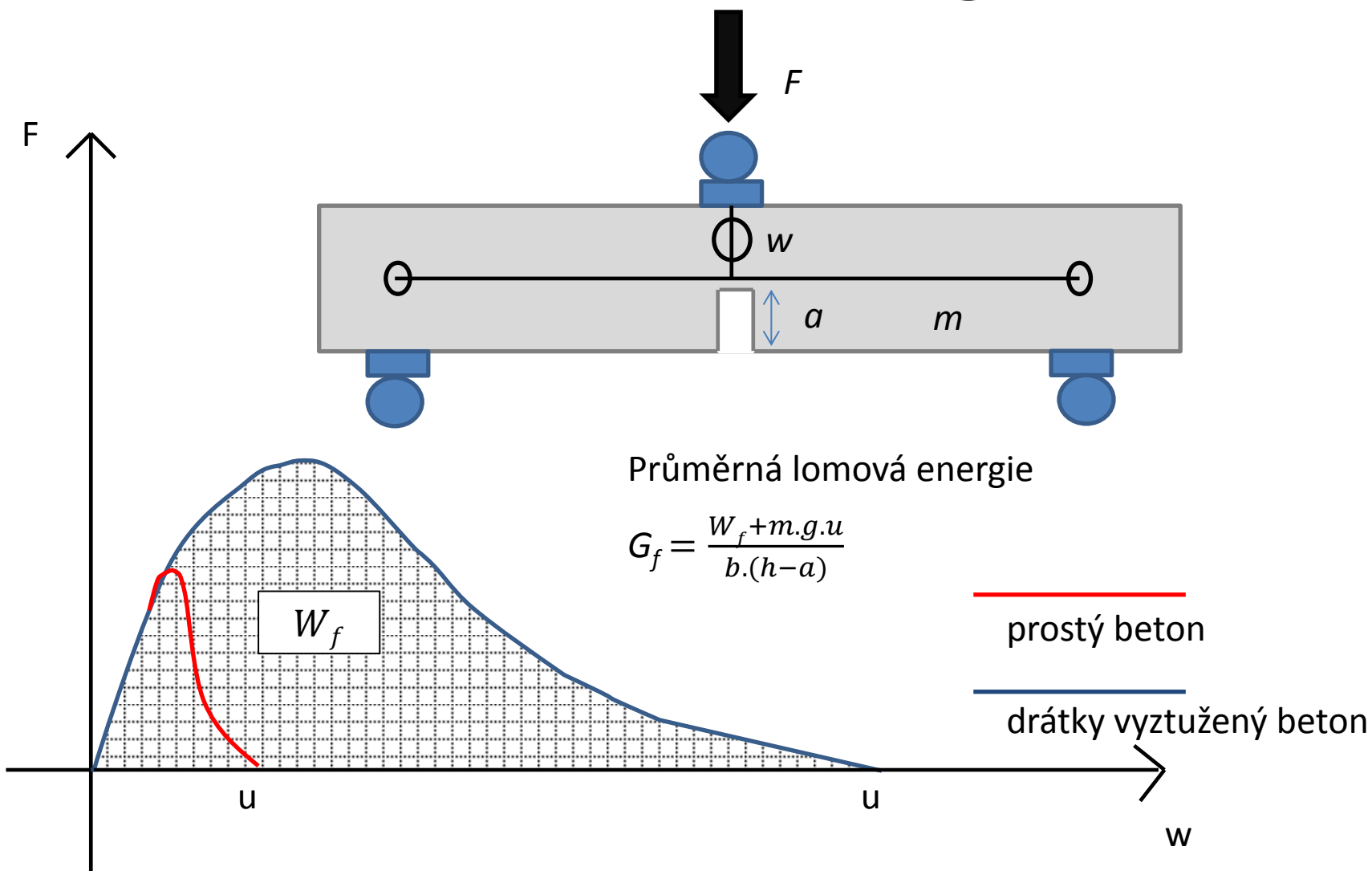


Relaxace

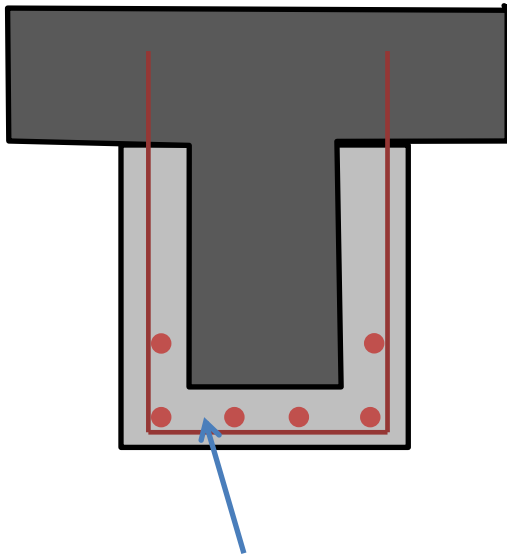
deformace: konstantní; napětí: časově závislá proměnná



Lomová energie

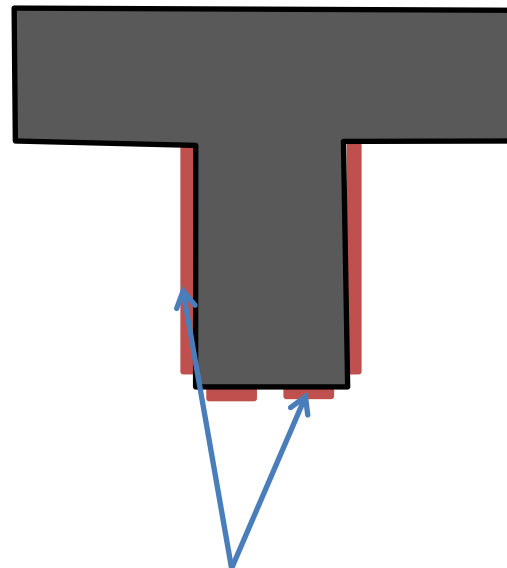


Ověření funkčnosti nových materiálů



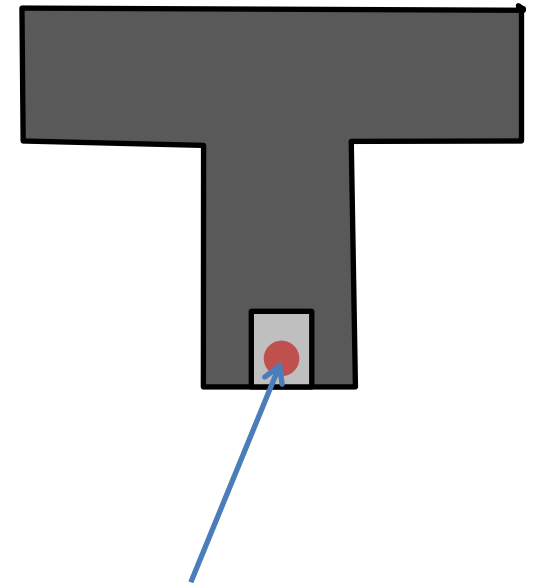
Nástřik nové vrstvy a přidání výztuže

- Světlá výška prostoru
- Vlastní tíha



Externě lepené lamely

- ohyb x smyk
- pasivní x aktivní



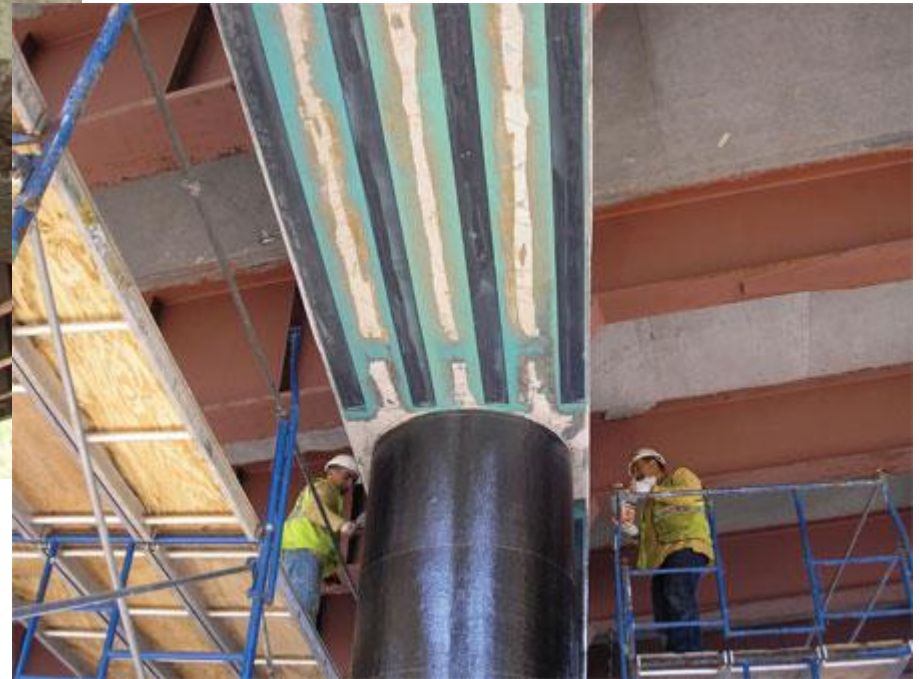
Výztuž jdoucí v blízkosti povrchu
- chráněna proti vnějším vlivům a zamezení mechanického poškození

Sanace mostů pomocí FRP



← Chemické
rozmrazovací látky

Koroze výztuže a
odlupování krycí vrstvy
betonu

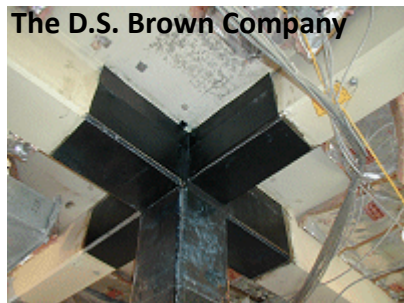


Bridge retrofit using fiber reinforced polymer,
By Hamid Saadatmanesh, Ph.D., P.E.

Zesilování pomocí FRP (beton, dřevo, ocel, zdivo)



National Concrete Solutions, Australia



The D.S. Brown Company



Clever Reinforced Company

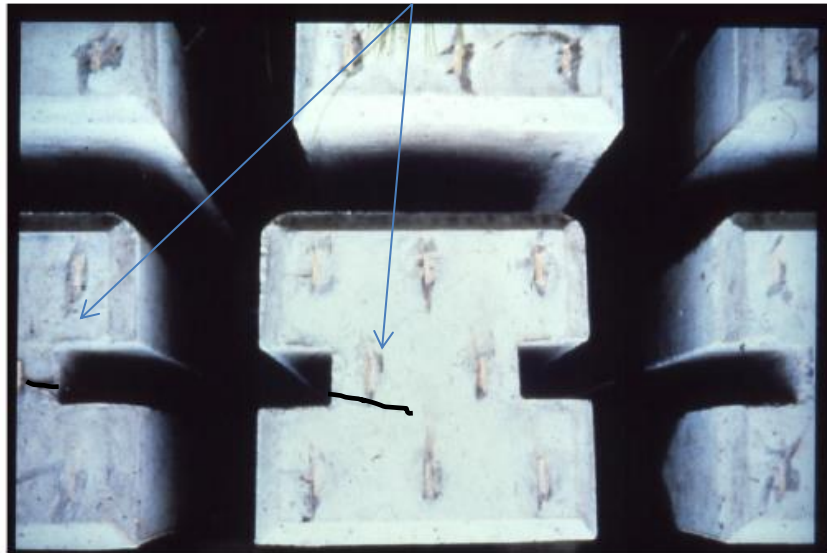


REM Structural Limited

Aplikace FRP předepnutých lamel

Protihlukové bariéry (Holandsko)

Malé trhlinky na bočních stranách



USE OF FRP IN CONCRETE STRUCTURES: TRENDS AND CHALLENGES,
by Taerwe Luc Matthys Stijn, In: *fib Symposium PRAGUE 2011*

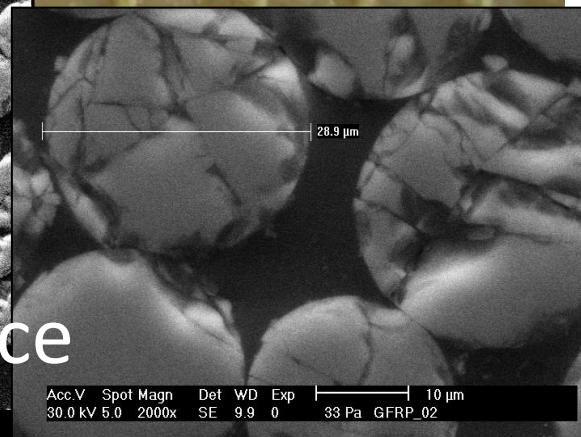
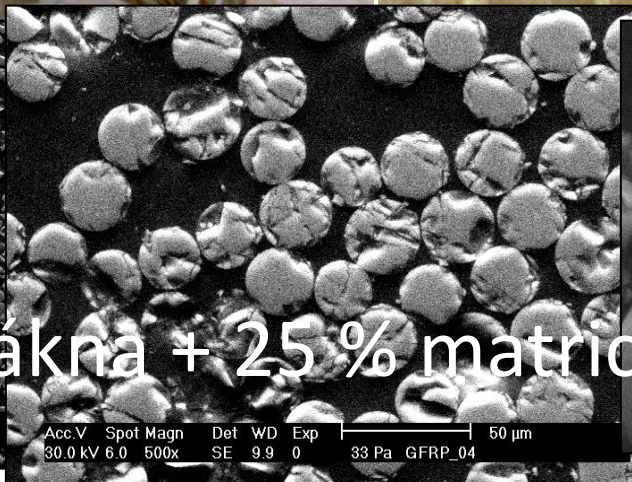
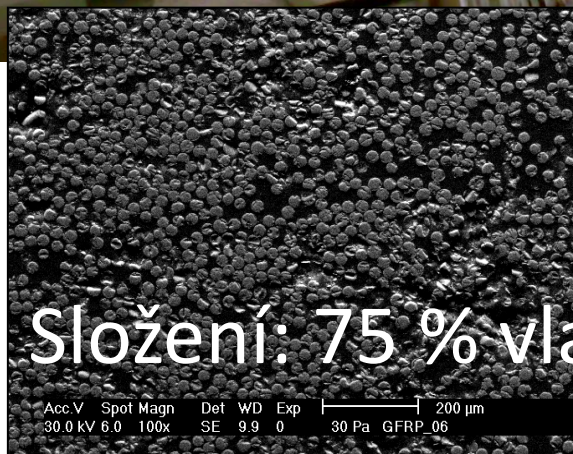




Výroba FRP



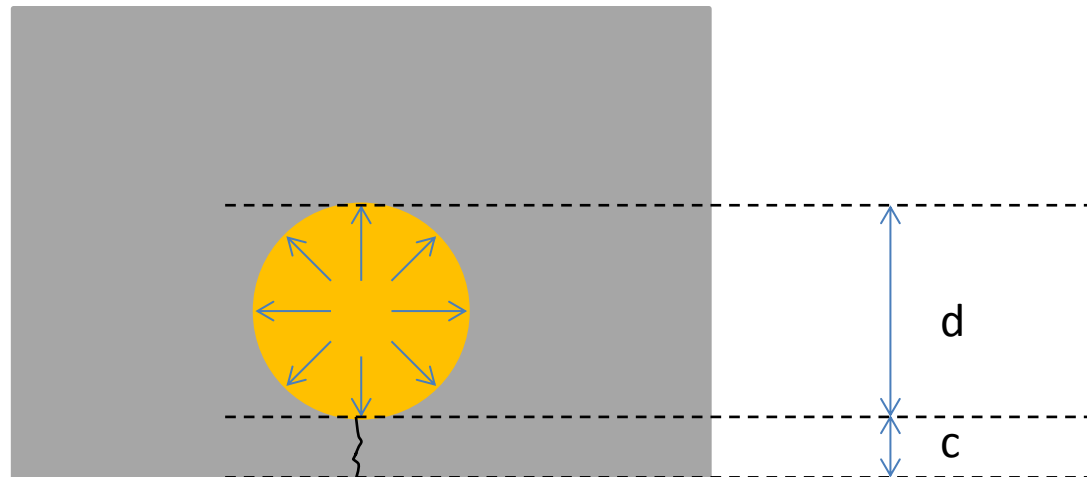
Pultruzní linka



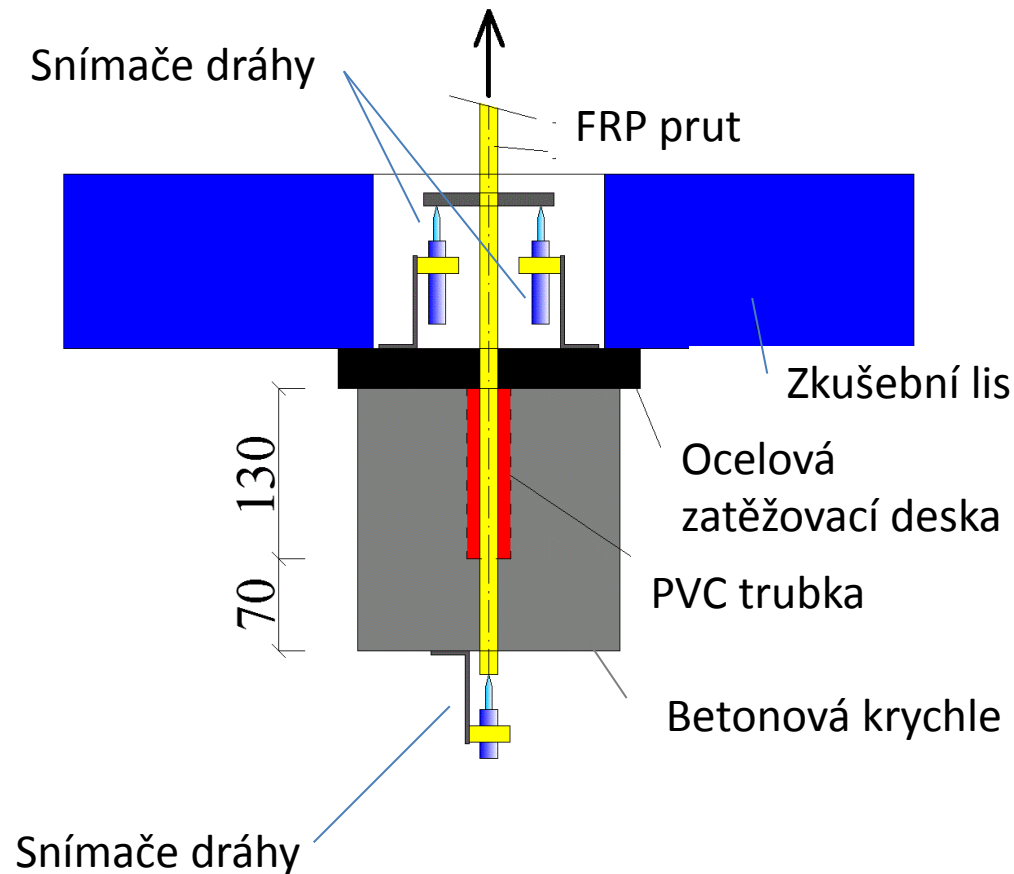
Složení: 75 % vlákna + 25 % matrice

Tři základní pilíře pro spolupůsobení betonu a výztuže

- Povrchová úprava výztuže
- Dostatečná krycí vrstva betonu
- Stejný koeficient teplotní roztažnosti
 - Beton $10-12 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
 - Ocel $10-12 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
 - GFRP $6 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ $50 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

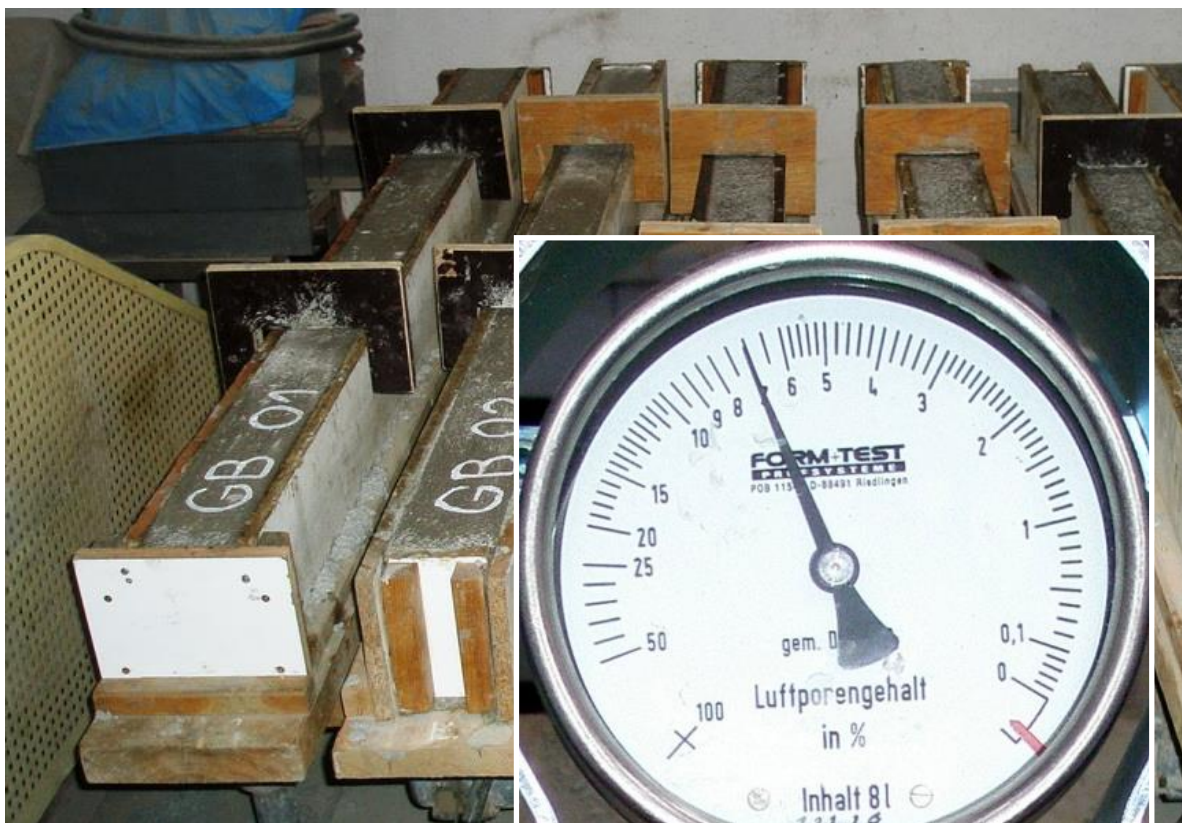


Soudržnost betonu a výztuže

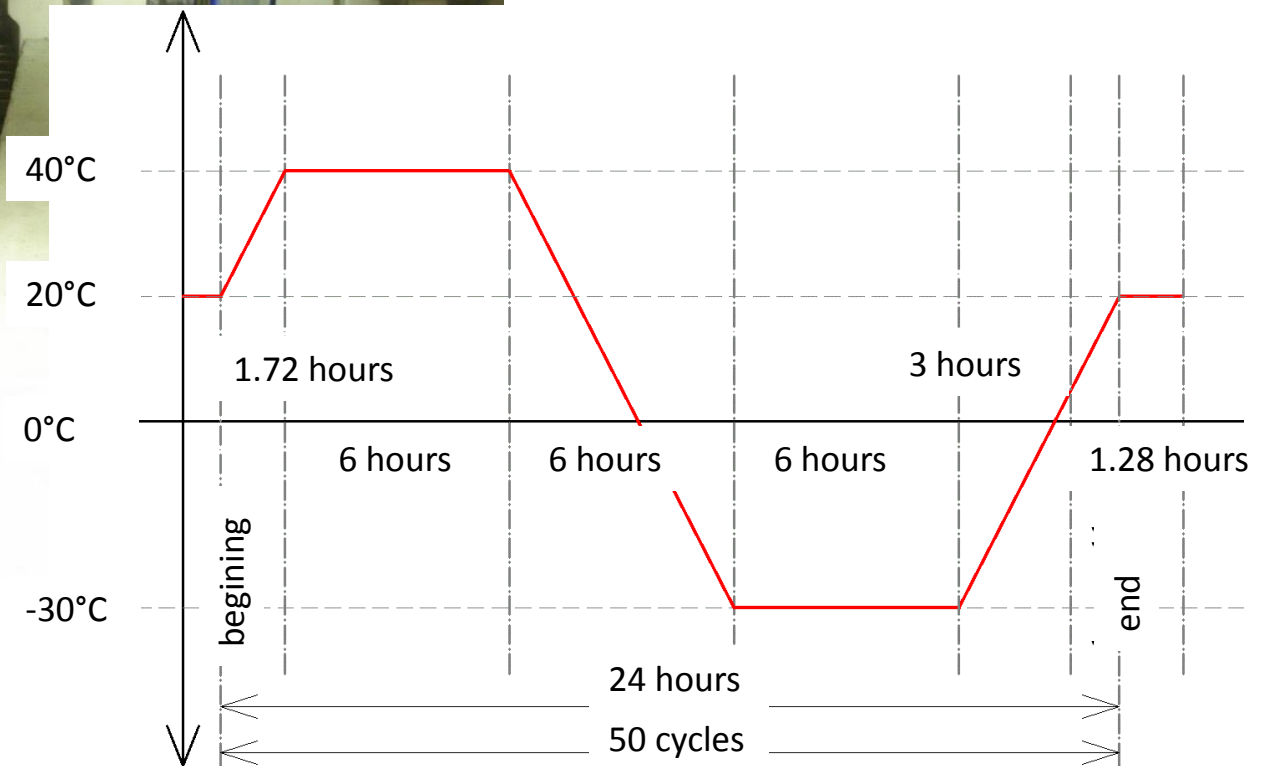
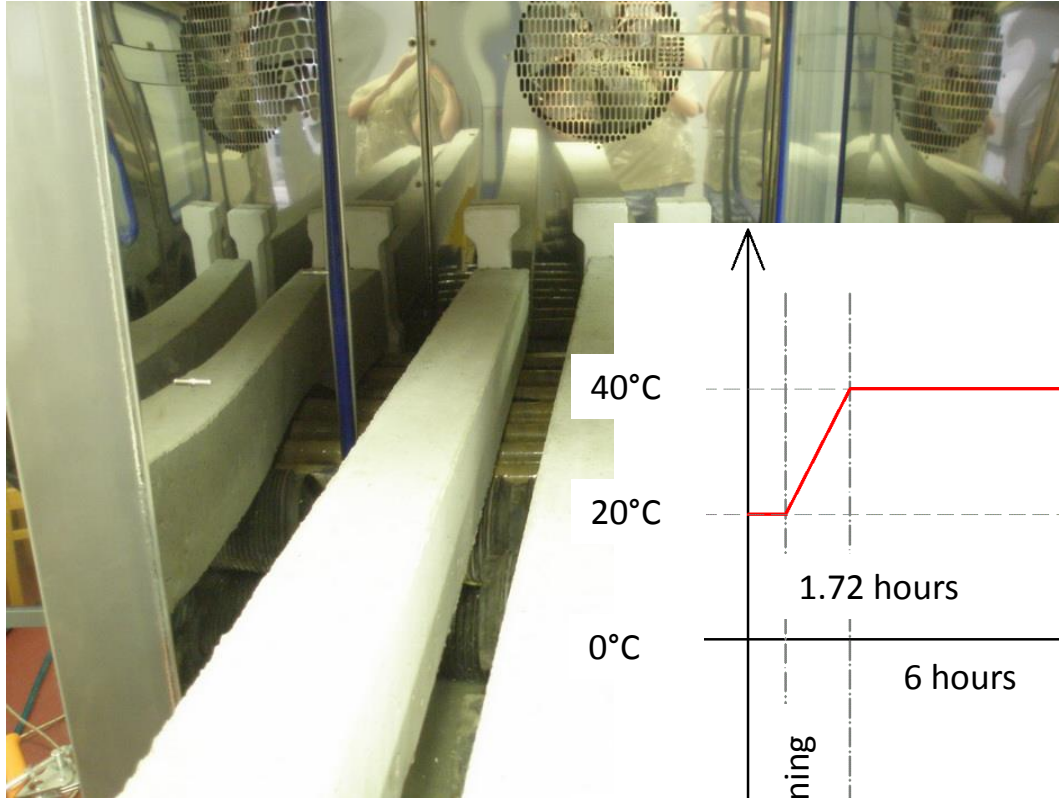




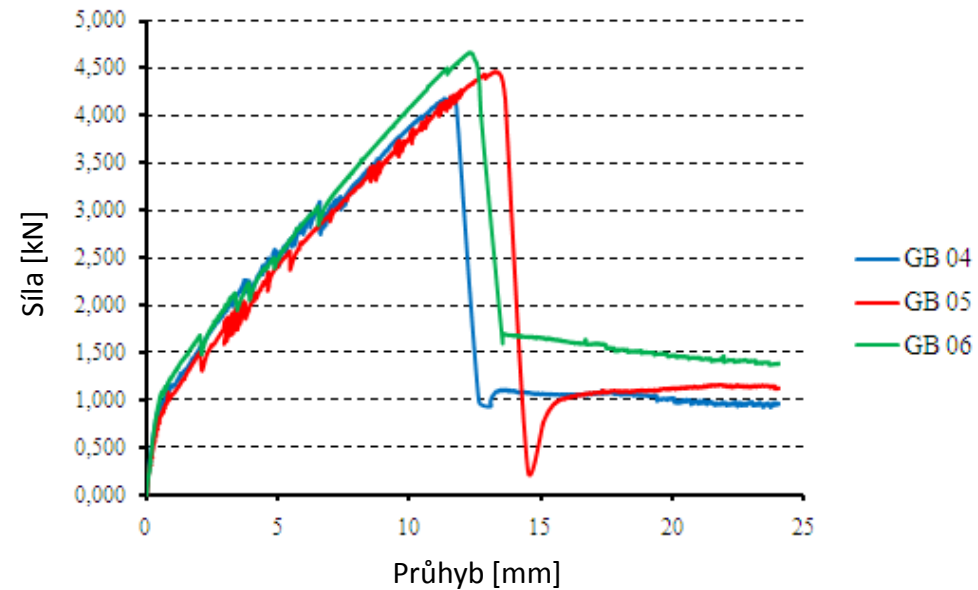
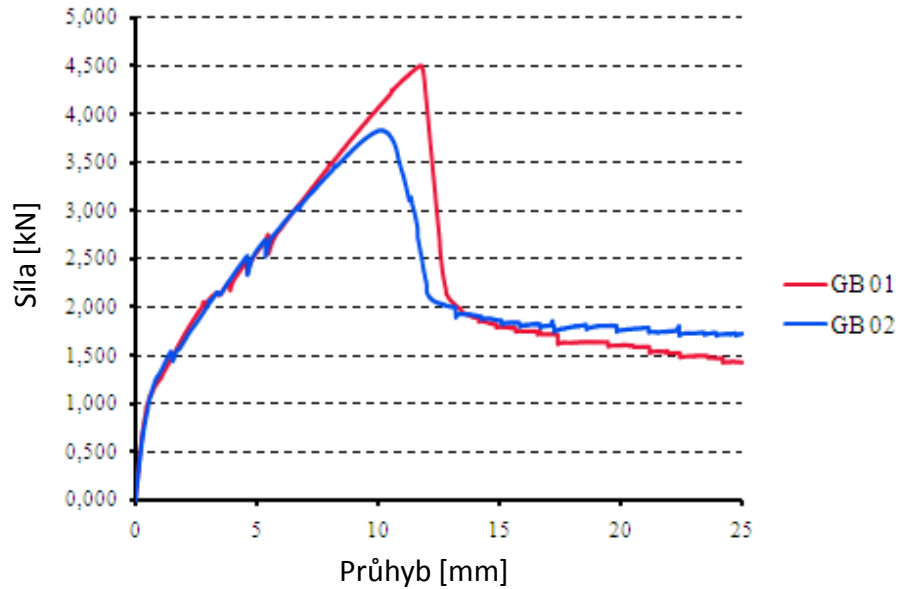
Soudržnost betonu a výztuže



Zmrazovací a rozmrazovací cykly

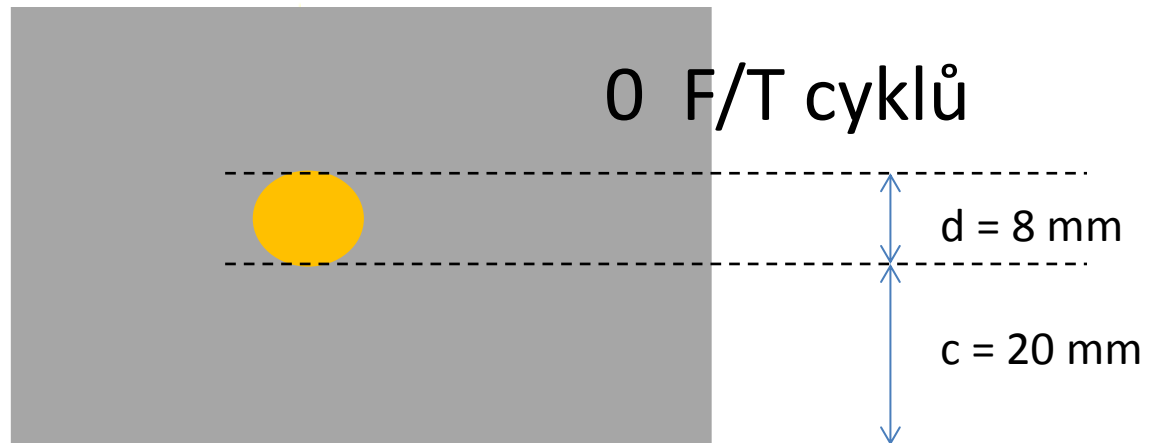


Výsledky



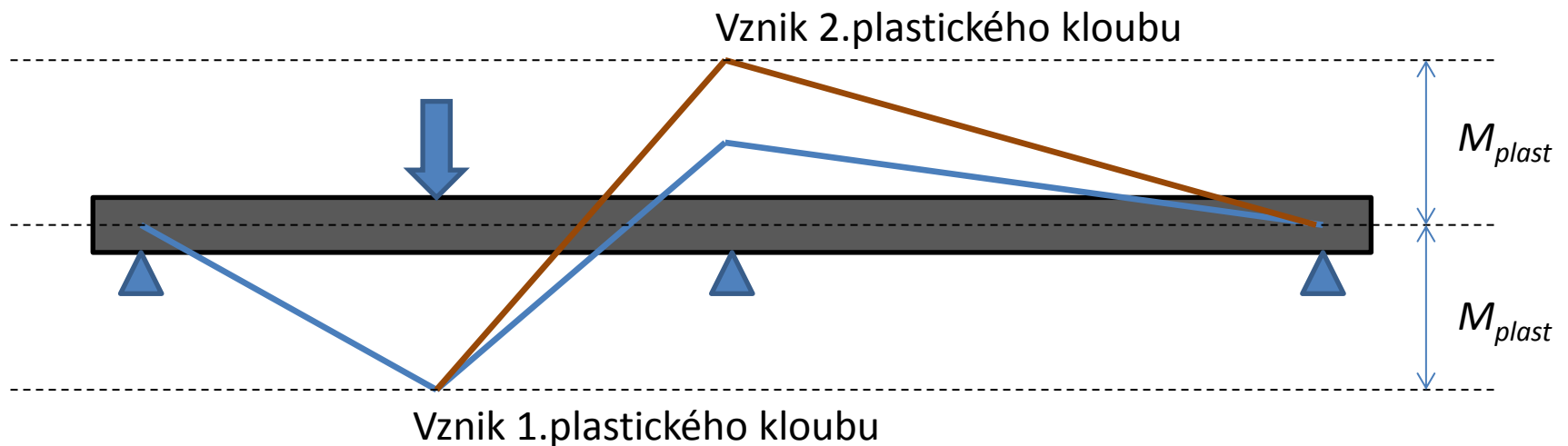
50 F/T cyklů

0 F/T cyklů

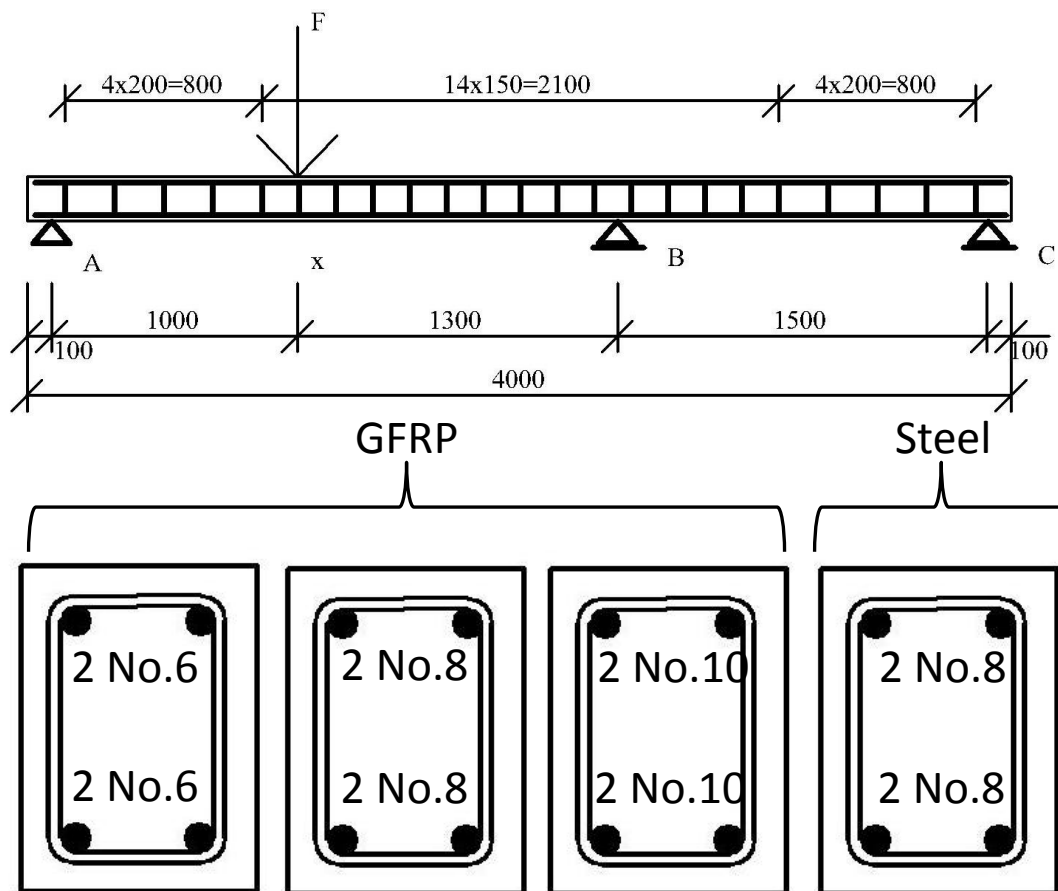


Křehkost-přerozdělování vnitřních sil?

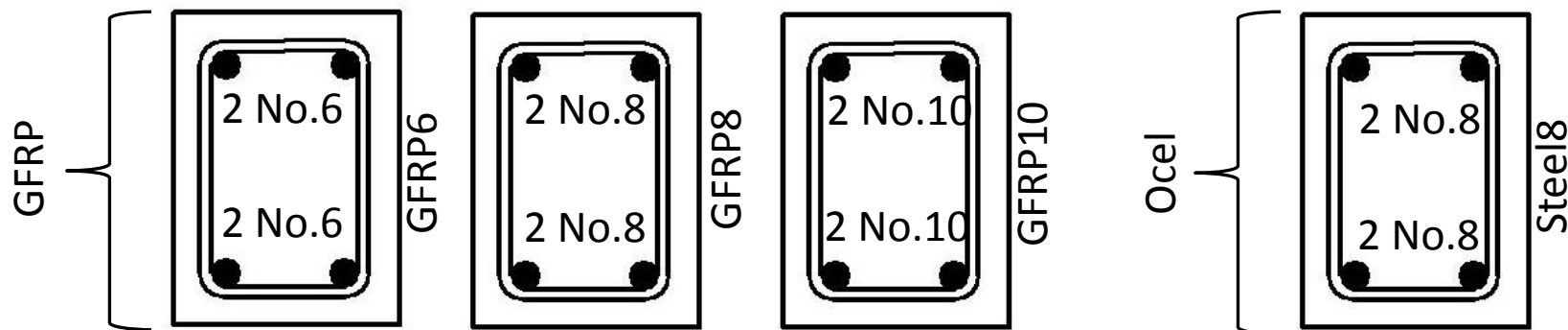
- Vznik plastických kloubů a přerozdělování vnitřních sil



Redistribuce vnitřních sil

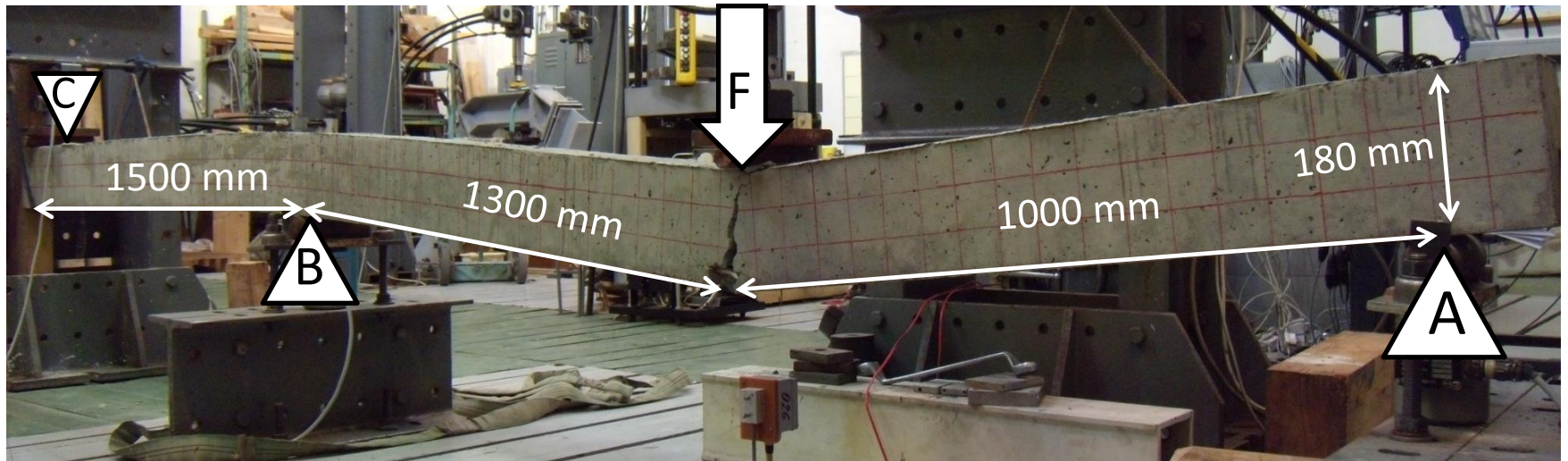


Redistribuce vnitřních sil

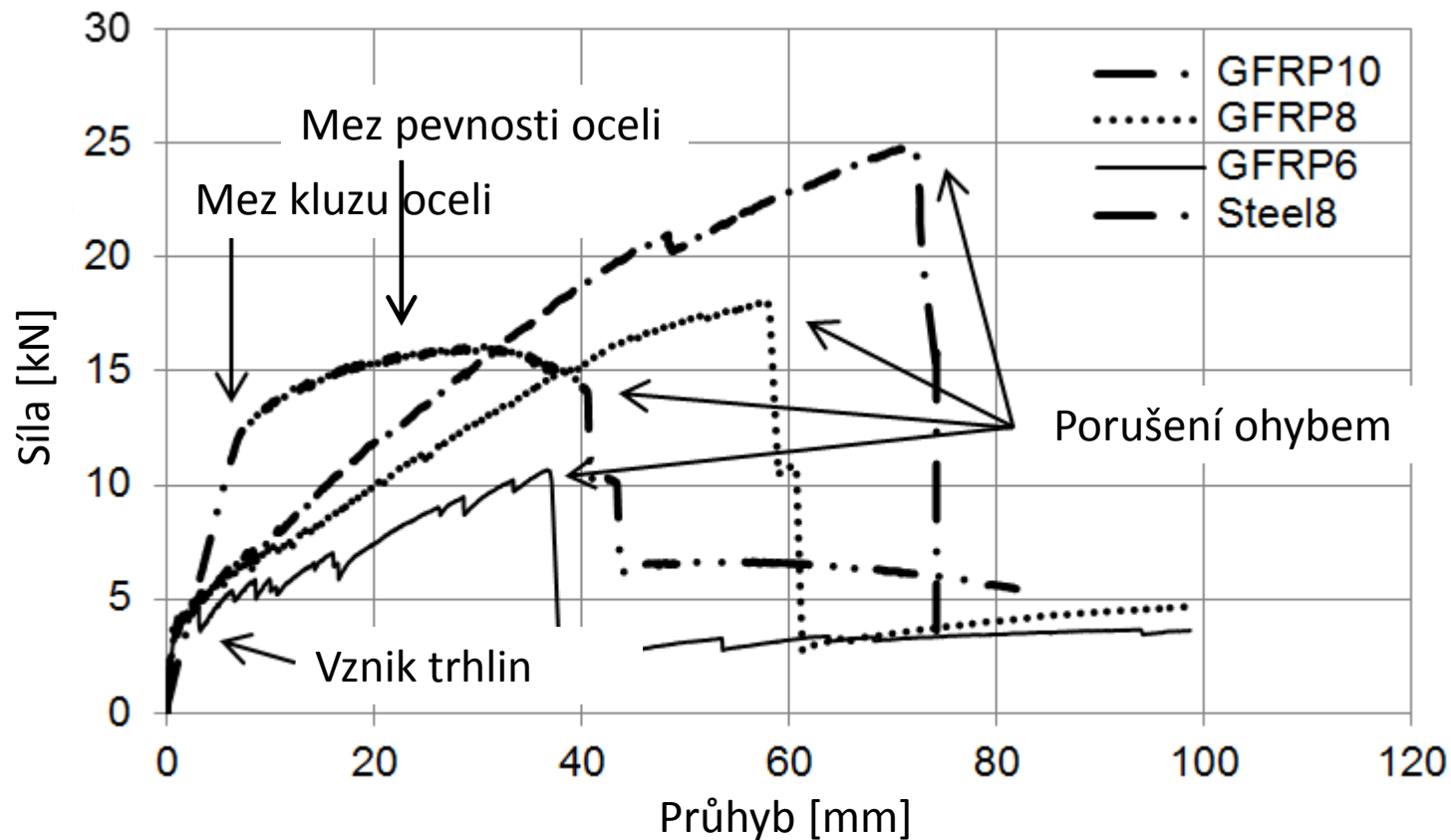


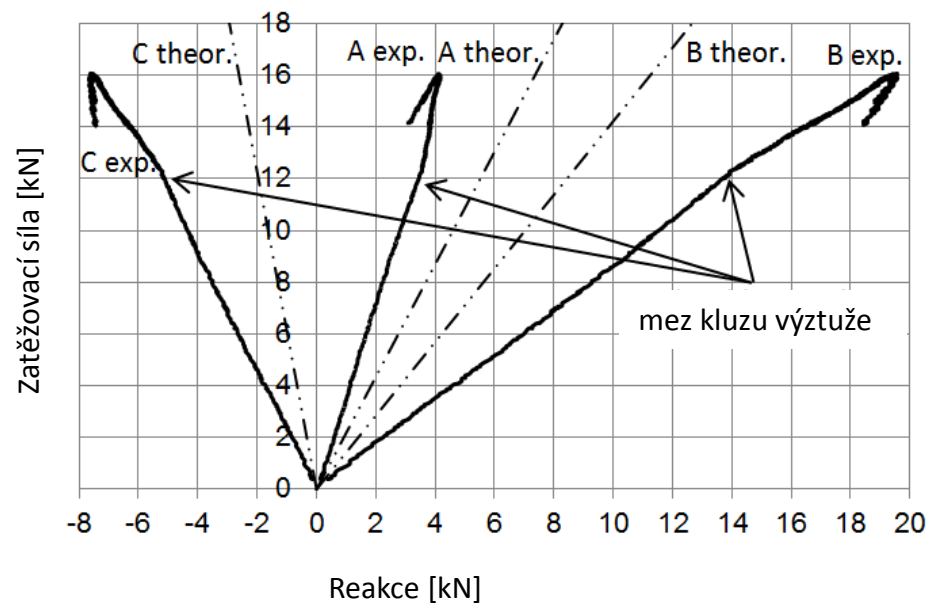
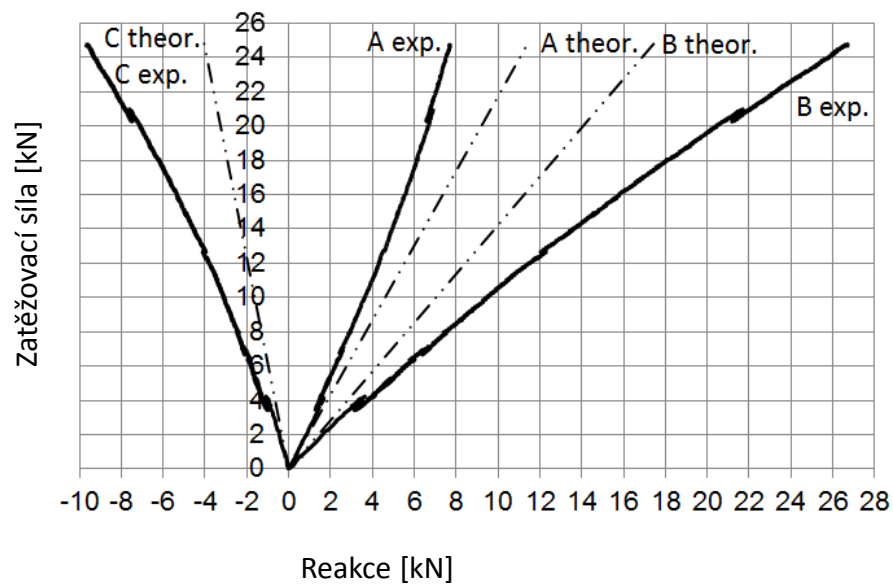
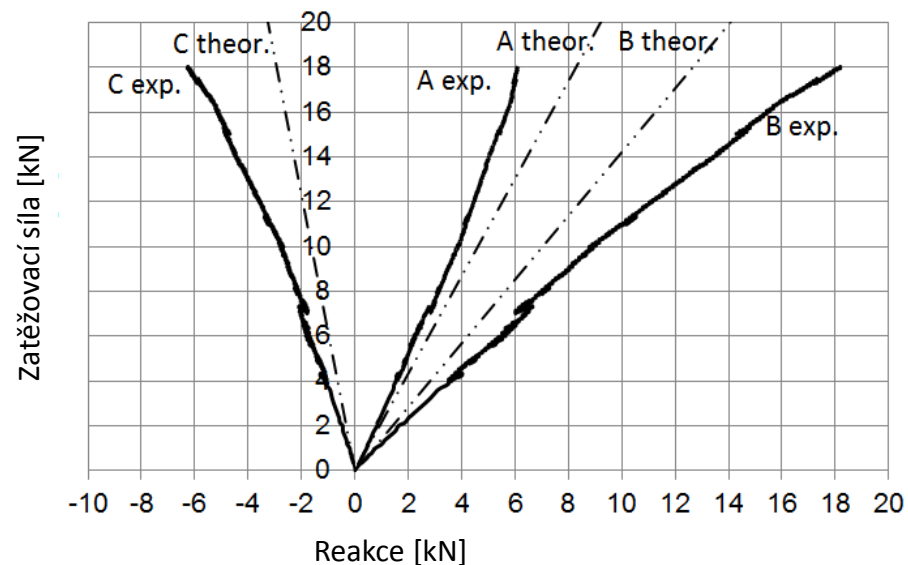
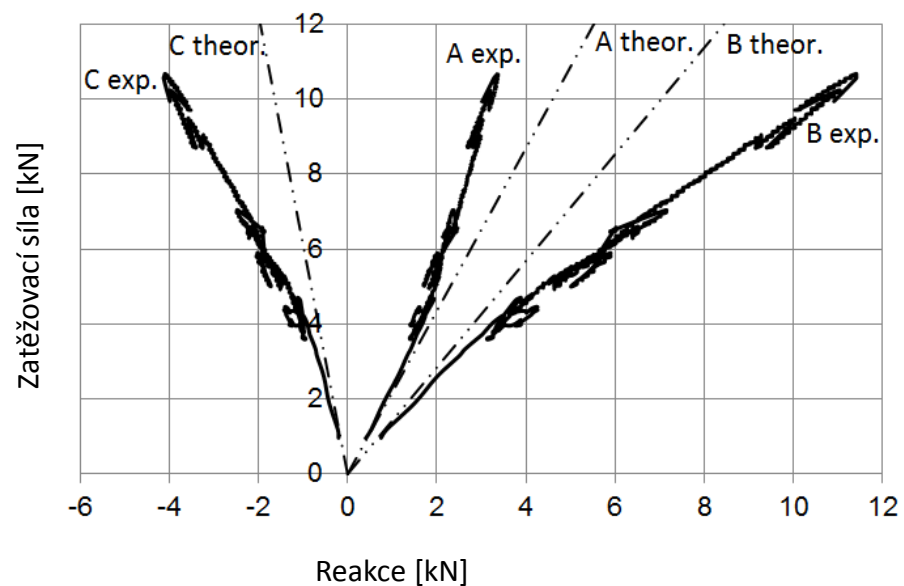
Nosník	Horní/Dolní výztuž		Opt.st.vyzt.[%]
	Výztuž [mm]	St.vyztužení [%]	
GFRP6	2 No.6	0.24	0.40* 0.52**
GFRP8	2 No.8	0.43	
GFRP10	2 No.10	0.67	
Ocel8	2 No.8 B500A	0.43	2.6**

*ACI-440.1R-06, **Pilakoutas et al., ***ACI-318-08



Pracovní diagramy jednotlivých nosníků





Celková redistribuce

$$\% \text{redistribuce} = \frac{(\text{moment po redistribuci} - \text{moment před redistribucí})}{\text{moment před redistribucí}} \times 100$$

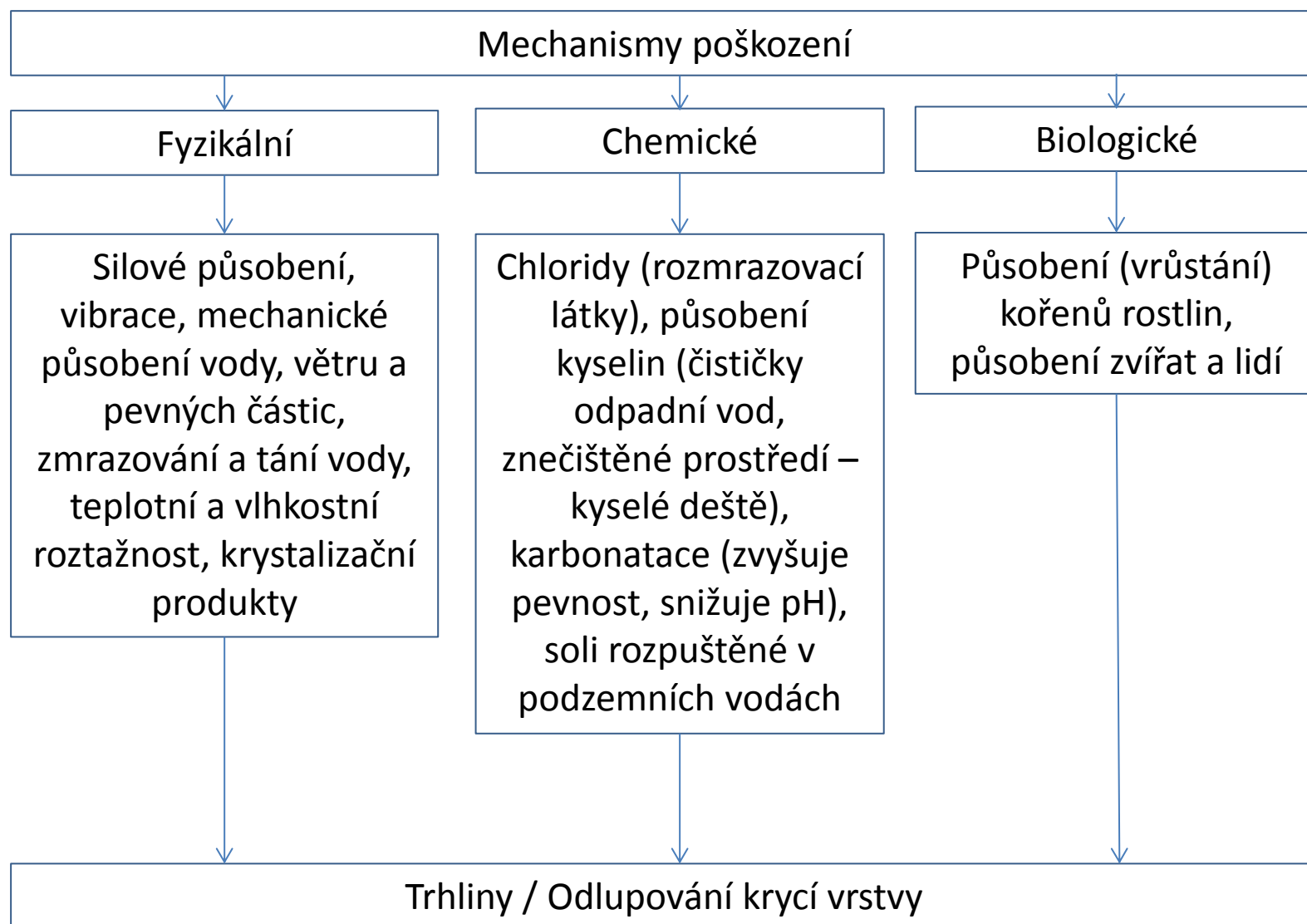
Nosník	Horní/dolní výztuž		Opt.st.[%]	Redistribuce [%]
	Výztuž [mm]	St.vyzt.[%]		Celková (Elastická + Plastická)
GFRP6	2 No.6	0.24	0.40* 0.52**	32 % (32% + 0%)
GFRP8	2 No.8	0.43		28 % (28% + 0%)
GFRP10	2 No.10	0.67		33 % (33% + 0%)
Steel8	2 No.8 B500A	0.43	2.6**	52 % (37% + 15%)

*ACI-440.1R-06, **Pilakoutas et al., ***ACI-318-08



Rozšíření stávajících konstrukcí pomocí FRP profilů





Trhliny

- Nejčastěji a nejnápadněji se poruchy stavebních materiálů projeví trhlinami
 - Statické trhliny: silové účinky
 - Zatížení a nadměrná přetvoření
 - Technologické trhliny: deformační účinek objemových změn
 - smršťovací trhliny
 - trhliny v důsledku teplotních a vlhkostních změn
 - trhlinky způsobené korozí výztuže
 - trhliny v důsledku rozpínání ledu
 - nedostatečné zhutnění a následné sedání při tvrdnutí

Stupně poškození

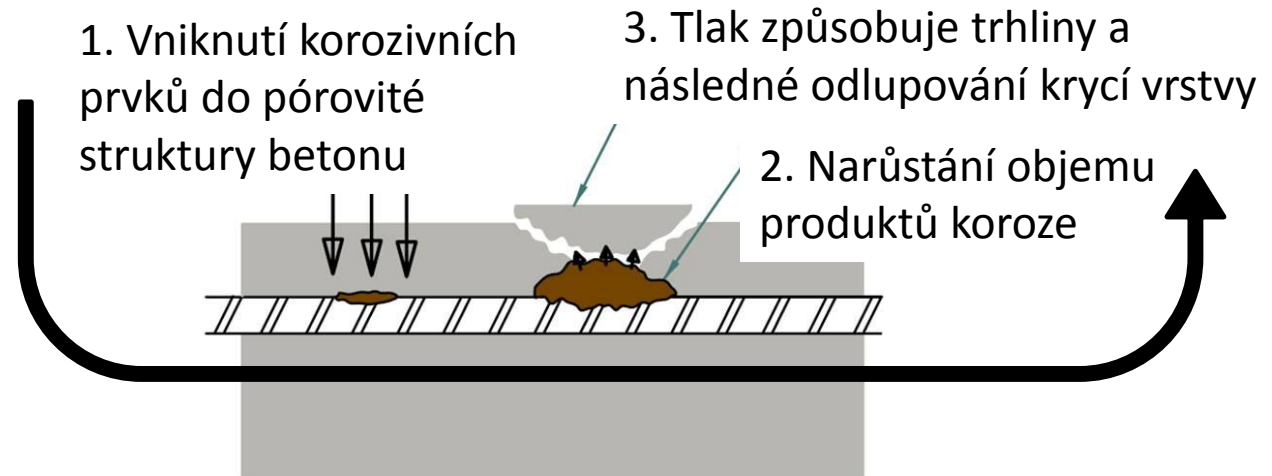
1. První známky škod - vlasové trhliny do 1 mm ve styku stavebních prvků
2. Lehké škody - trhliny do tloušťky 5 mm v omítce, příčkách, odpadávání malty
3. Vážné škody - trhliny nad 5 mm v příčkách ale i nosných zdech, bez ohrožení stability
4. Nebezpečné poruchy - trhliny v nosných zdech a překladech ohrožující jejich statickou funkci, vydrčení příček, narušení stability objektu
5. destrukce

Nejčastější poruchy betonových konstrukcí

- Tahové a smykové trhliny (Silové zatížení)
- Drcení tlačného betonu (Silové zatížení)
- Odlupování krycí vrstvy (Nesilové zatížení)
- Nadměrné deformace od dlouhodobého zatížení (Silové zatížení)

Odlupování krycí vrstvy

- Nedostatečná tloušťka krycí vrstvy na tlačném okraji betonu
- Vybočení tlakové výztuže
- Koroze oceli



Trhliny

– staticky nedůležité

- vlasové trhliny ve styku stavebních prvků a v příčkách do 1 mm

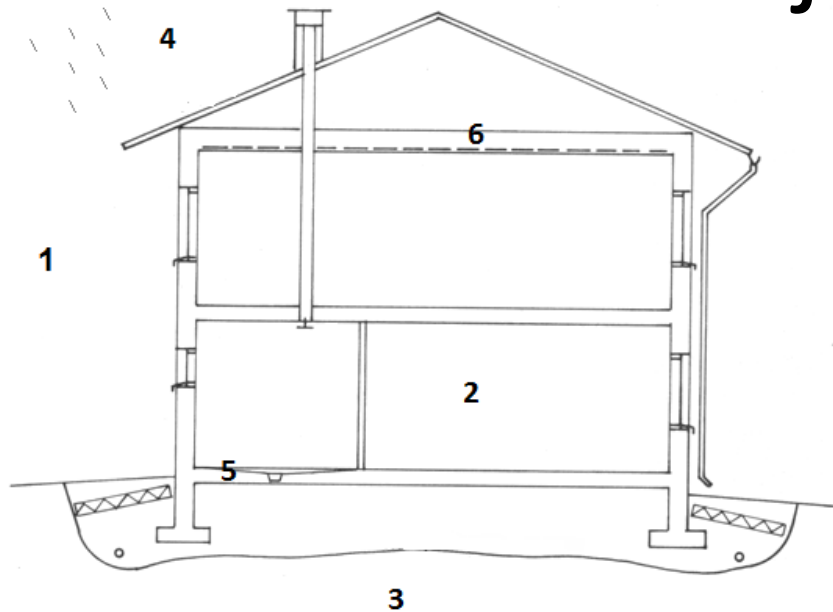
– staticky důležité

- Trhliny v nosných zdech a prvcích nad 5 mm
 - zmenšení zatížení
 - zmenšení rozpětí prvku
 - zesílení průřezu
 - » Přidání podélné a příčné výztuže a nástřikem nové vrstvy
 - » Lepené uhlíkové lamely

Nesilové účinky zatížení

- Teplota (Beton, Ocel)
 - Rovnoměrné ohřátí
 - Nerovnoměrné ohřátí
- Vlhkost (Zdivo, Omítky, Dřevo)
- Pokles podpory, nerovnoměrné sedání
- Agresivní látky (CHRL)

Zdroje vlhkosti



1. Venkovní vlhkost vzduchu
2. Vnitřní vlhkost (vyprodukována lidmi; užitkovou vodou, květinami; průmyslovým procesem; vysycháním materiálu, např. sušárny; atd.)
3. Vlhkost zemin
4. Déšť
5. Průsaky v potrubí a přístrojích
6. Vlhkosti vyšší než rovnovážná vlhkost v konstrukci a stavebních materiálech, vzniklá během skladování a výstavby

Květiny	7 – 20 g/h
Vysychání prádla	50-500 g/h
Vaření	400-900 g/h
Člověk	40-175 g/h
Mytí a praní	200-350 g/h
Sprchování	1700 g/h

Vniknutí vlhkosti do pórobetonových tvárníc





Důsledek vysychání

