

133PSBZ

Požární spolehlivost betonových a zděných konstrukcí

Přednáška B1

ČVUT v Praze, Fakulta stavební
katedra betonových a zděných konstrukcí

Základní informace o předmětu

people.fsv.cvut.cz/www/stefarad/vyuka/133PSBZ.html

- zakončení: zápočet + zkouška
- hodinová dotace 4+2 (6 kreditů)
- vyučující: **prof. Ing. Jaroslav Procházka, CSc.**
jaroslav.prochazka@fsv.cvut.cz
místnost B-736

Ing. Radek Štefan, Ph.D.
radek.stefan@fsv.cvut.cz
místnost B-736

Základní informace o předmětu

3.	4.		5.	6.	7.	8.
	NNK 4+2	C	BK01 3+2	BK02 4+2		
		K	BK01 3+2	BK02 4+2	BEM 4+2	
		Q	BZKQ 3+3		PSBZ 4+2	
		L	RBZS 3+2			
		V	BZKV 3+1			
		Z		BZKV 3+1		
		E			BZKV 3+1	
		R	realizace BZK 3+2	rekonstr. a moder. b. 3+2	požár 3+2 konstr. při prov. 3+2	

+ projekty, BP, volitelné předměty

Základní informace o předmětu

Obsah předmětu:

Část A:

- Navrhování konstrukcí na účinky požáru
- Teplotní analýza
- Stanovení požární odolnosti betonových konstrukcí
- Stanovení požární odolnosti zděných konstrukcí

Část B:

- Mezní stavy použitelnosti
- Předpjatý beton
- Montované konstrukce
- Spřažené konstrukce (beton-beton)

Základní informace o předmětu

Podmínky udělení zápočtu

- aktivní účast na cvičeních, max. 2 neomluvné absence
- vypracování všech zadaných úloh
- odevzdání správně vyřešené úlohy nejpozději do dvou týdnů od zadání (správnost musí být potvrzena cvičícím)
- prokázání příslušných znalostí (v rozsahu přednášek) během konzultací se cvičícím

Zápočet lze získat nejpozději v pátek 13. 1. 2017!

Základní informace o předmětu

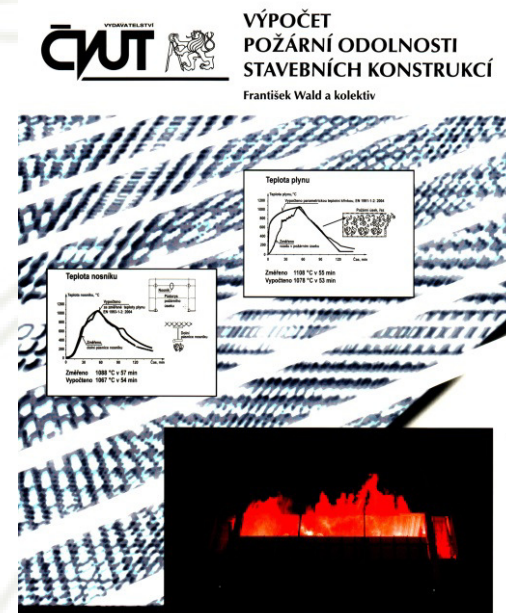
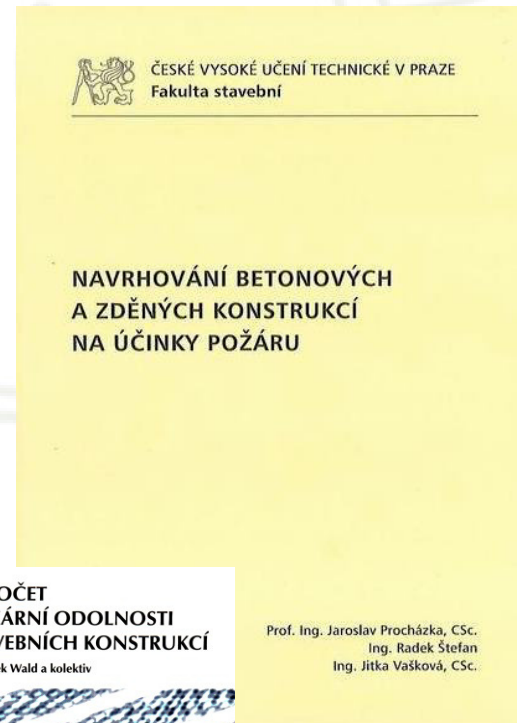
Podmínky pro absolvování zkoušky, informace o zkoušce

- zkouška má písemnou a ústní část
- PÍSEMNÁ ČÁST: test, příklad
- ÚSTNÍ ČÁST: vyhodnocení písemné části, doplňující otázky
- zkouškové termíny budou vypsány v KOSu
- na zkoušku je nutné se přihlásit v KOSu
- podmínkou zápisu na zkoušku je udělený zápočet
- s sebou ke zkoušce:
 - psací potřeby, papíry, kalkulačka,
 - vypracované úlohy ze cvičení

Základní informace o předmětu

Základní literatura

- Procházka, J., Štefan, R., Vašková, J. ***Navrhování betonových a zděných konstrukcí na účinky požáru.*** Praha: ČVUT, 2010. ISBN 978-80-01-04613-5.
- Wald, F. a kol. ***Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí.*** Praha: ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03157-8.



Základní informace o předmětu

Doporučená literatura

- Wald, F. a kol. *Prokazování požární odolnosti statickým výpočtem*. Praha: ČVUT, 2010. ISBN 978-80-89113-69-9.
- Procházka, J. a kol. *Navrhování betonových konstrukcí 1: Prvky z prostého a železového betonu*. Praha: ČBS, 2009. ISBN 80-903807-1-9.



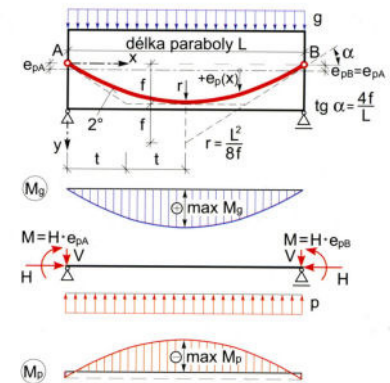
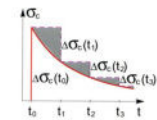
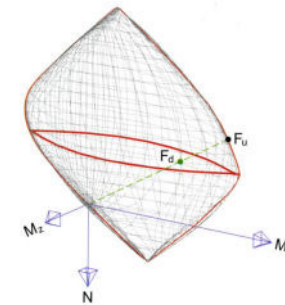
Základní informace o předmětu

Doporučená literatura

- Navrátil, J. *Předpjaté betonové konstrukce*. Brno: CERM, 2008. ISBN 978-80-7204-561-7.

Jaroslav Navrátil

**PŘEDPJATÉ
BETONOVÉ
KONSTRUKCE**



AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM®, s.r.o.

Použitelnost

- Mezní stavy použitelnosti (MSP) - průkaz vlastností konstrukce z hlediska: provozu a požadavků uživatele, trvanlivosti
- Důležitost průkazu - s ohledem na používání kvalitních materiálů (betonu i výztuže), umožňující navrhovat subtilní konstrukce z hlediska MSP
- Cílem zabránění návrhu konstrukcí, při kterých by bylo omezeno užívání objektu z hlediska:
 - dlouhodobého využívání
 - vzniku a rozevření trhlin
 - nadměrných přetvoření a deformací konstrukcí a jejich prvků



Průhyb desky - kaluže, průhyb předpjatého nosníku (vyvěšení desky), krytí třmíneků

Mezní stavy použitelnosti

Mezní stavy použitelnosti (MSP)

- omezení napětí v betonu a ve výztuži
- omezení trhlin
- omezení přetvoření
- omezení kmitání u dynamicky namáhaných konstrukcí

Uvažovaná zatížení

Kombinace zatížení MSP:

- **charakteristická** - nevratné mezní stavy použitelnosti
- **častá** - vratné mezní stavy použitelnosti
- **kvazistálá** - kontrola mezních stavů použitelnosti týkajících se důsledků dlouhodobých účinků a vzhledu konstrukce

Poznámka: V mezních stavech použitelnosti uvažujeme zatížení bez součinitelů zatížení γ_F a dílčí součinitele vlastností materiálů γ_M považujeme rovny 1 (pokud není uvedeno jinak v EN 1992 až EN 1999).

Kombinace zatížení v MSP

- Charakteristická

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} P + Q_{k,1} \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

- Častá

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} P + \psi_{1,1} Q_{k,1} \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

- Kvazistálá

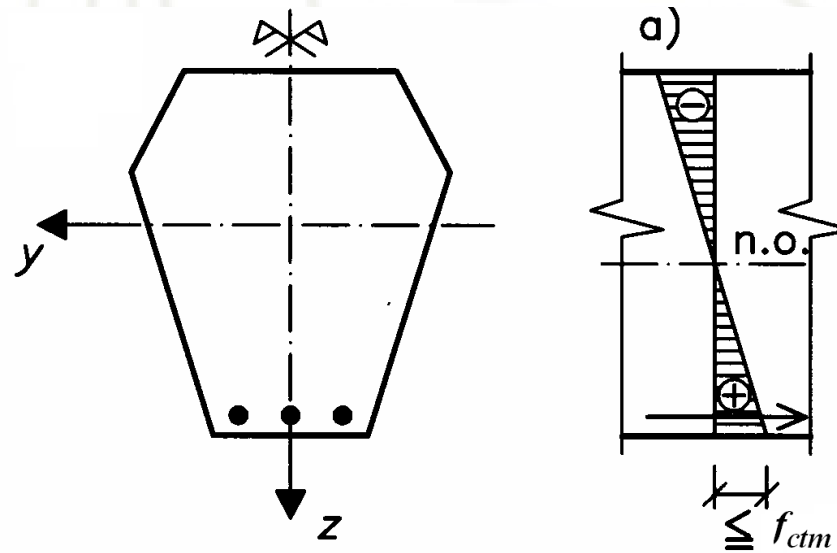
$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} P + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

G_k Q_k charakter. hodnota stálého, proměnného zatížení;
 Q_{k1} dominantní hodnota proměnného zatížení;
 P střední hodnota předpínací síly

Stadia působení betonových prvků v MSP

Stádium I - počáteční fáze zatěžování

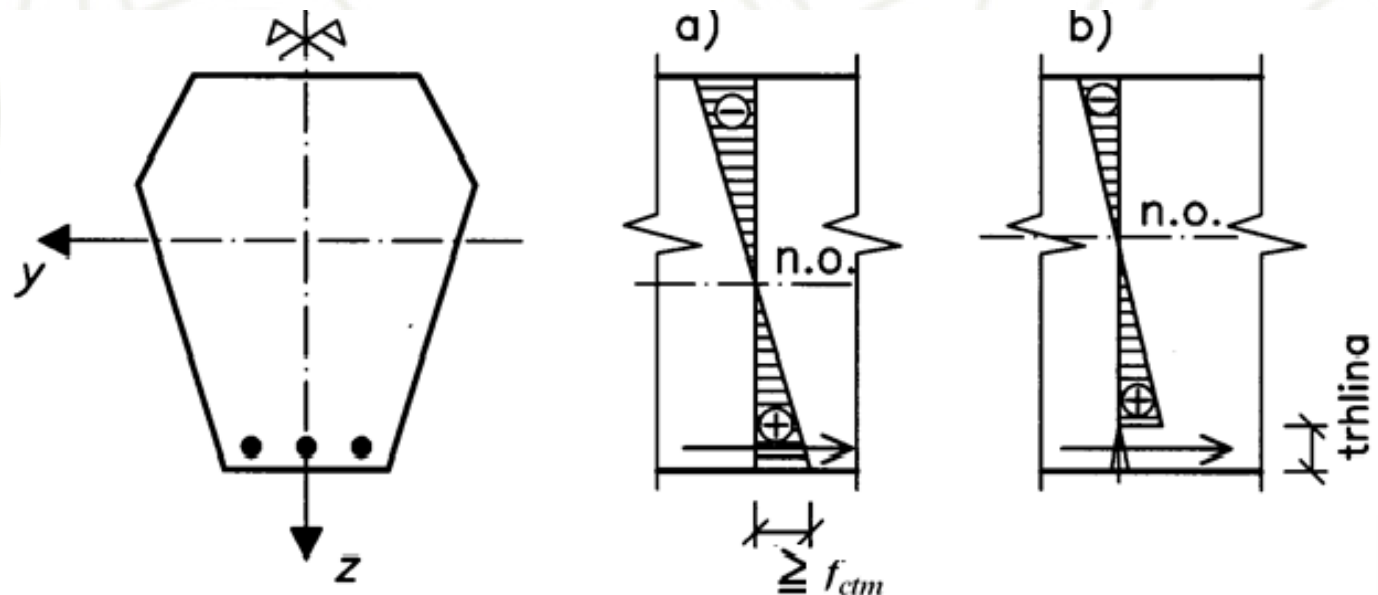
- malá přetvoření a napětí v průřezu
- na přenášení zatížení se podílí celý průřez
- celý průřez působí přibližně pružně
- stadium I trvá až do okamžiku, kdy je v tažených vláknech dosaženo mezní hodnoty napětí pevnosti betonu v tahu



Stadia působení betonových prvků v MSP

Stádium II a - začíná na mezi vzniku trhlin

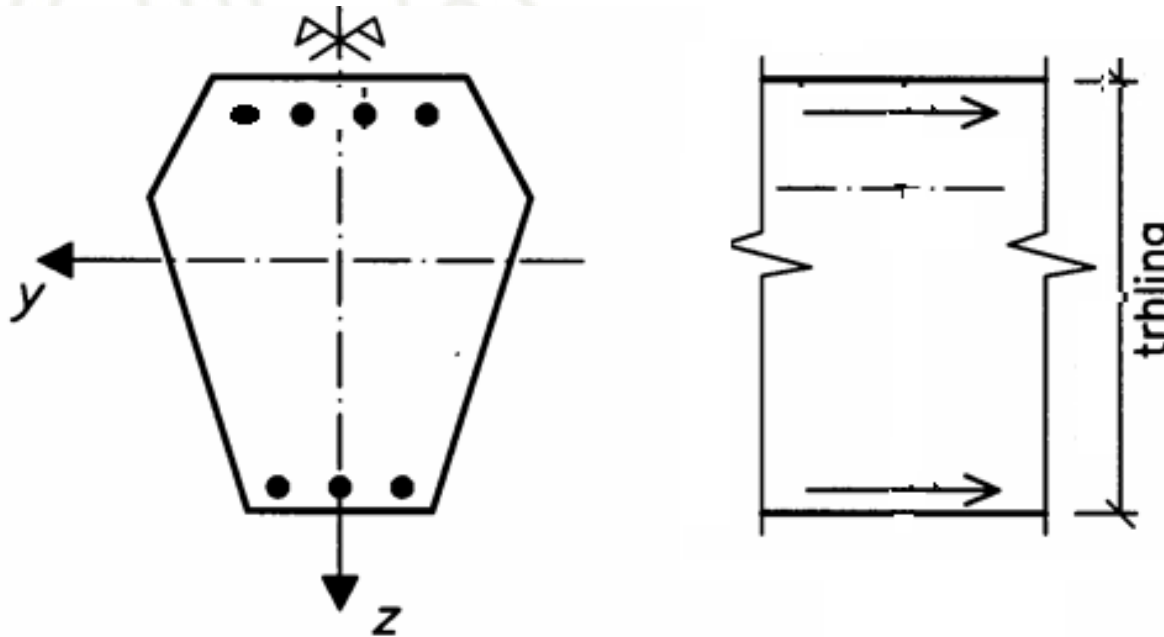
- při rostoucím zatížení se trhlina v průřezu rozšiřuje a prohlubuje směrem k neutrální ose
- při prohlubování a rozevírání trhliny od rostoucího zatížení se neutrální osa posouvá blíže k tlačnému kraji průřezu
- stádium končí, když je trhlinou prostoupena celá tažená část průřezu



Stadia působení betonových prvků v MSP

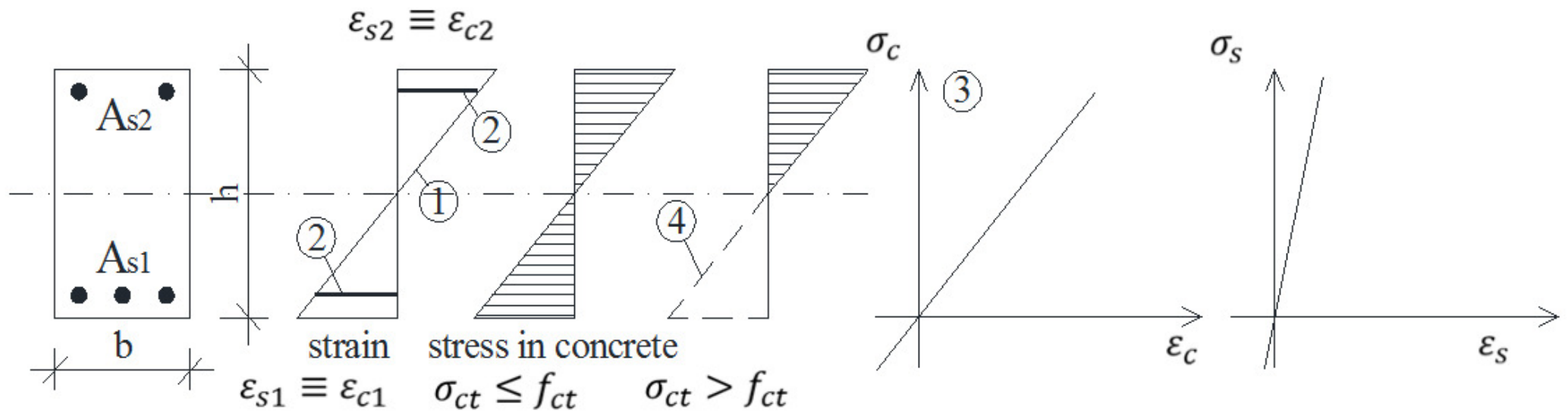
Stádium II b - trhлина prostupuje celým průřezem

- tahová normálová síla působí s velkou výstředností
- beton je ze spolupůsobení vyloučen
- zatížení přenáší pouze výztuž

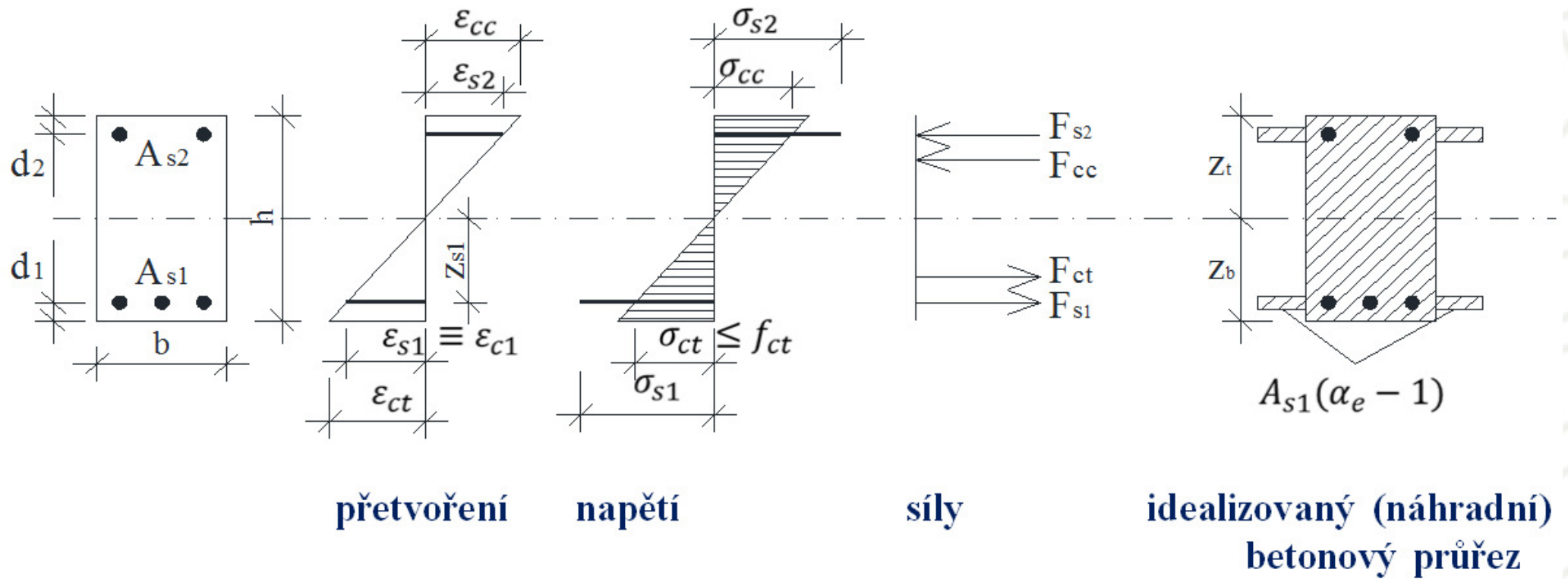


Předpoklady výpočtu napětí nehomogenního průřezu

- Přetvoření je přímo úměrné vzdálenosti od neutrální osy
- Přetvoření soudržné výztuže je rovno přetvoření betonu v úrovni výztuže
- Beton i výztuž působí jako lineárně pružné materiály
- Beton v tahu působí do vzniku první trhliny (do dosažení napětí f_{ct} v krajních tažených betonových vláknech)



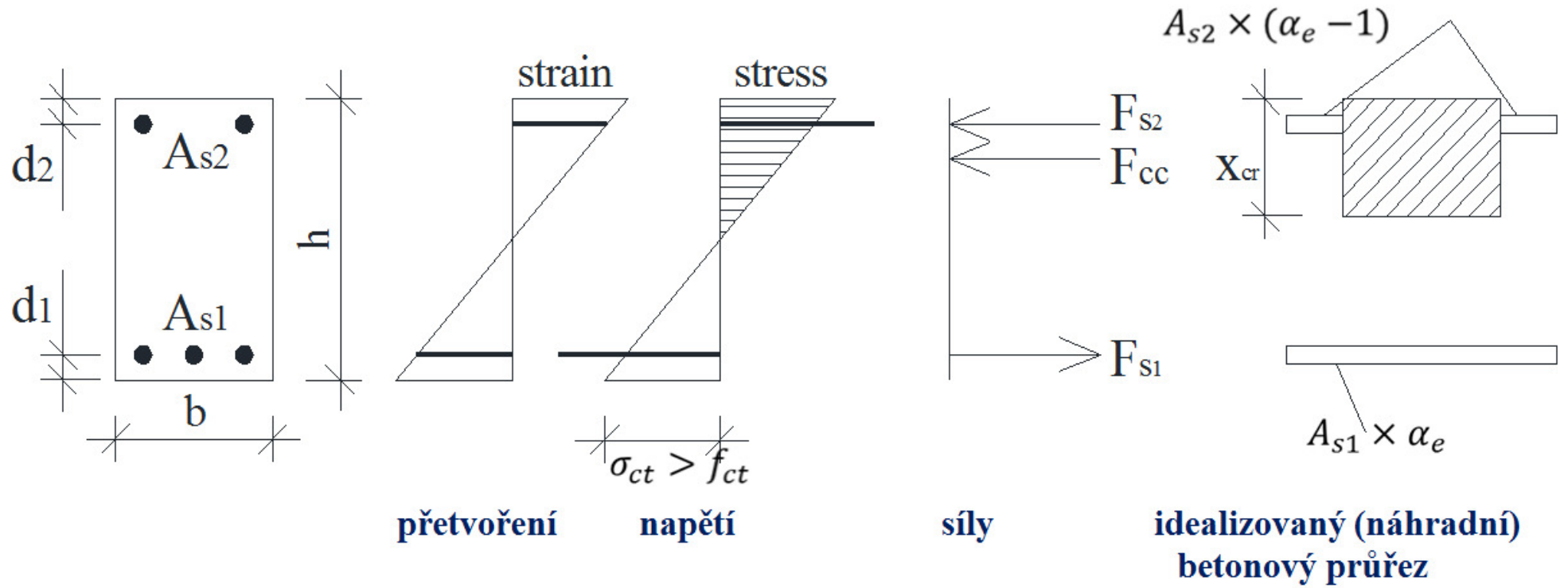
Průřez bez trhliny



$$\varepsilon_{s1} = \frac{\sigma_{s1}}{E_s} \quad \varepsilon_{c1} = \frac{\sigma_{c1}}{E_c} \quad \frac{\sigma_{s1}}{E_s} = \frac{\sigma_{c1}}{E_c} \rightarrow \sigma_{s1} = \sigma_{c1} \frac{E_s}{E_c} \quad \alpha_e = \frac{E_s}{E_c}$$

$$F_{s1} = A_{s1} \times \sigma_{c1} \times \alpha_e$$

Průřez s trhlinou



$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_c}$$

Zjednodušené předpoklady

Ve stadiu I působí celý průřez

Pro výpočet napětí v průřezu se předpokládá:

- poměrné přetvoření je přímo úměrné vzdálenosti od n.o.
- přetvoření výztuže je stejné jako přetvoření betonu v témže místě
- beton i výztuž působí jako látky lineárně pružné

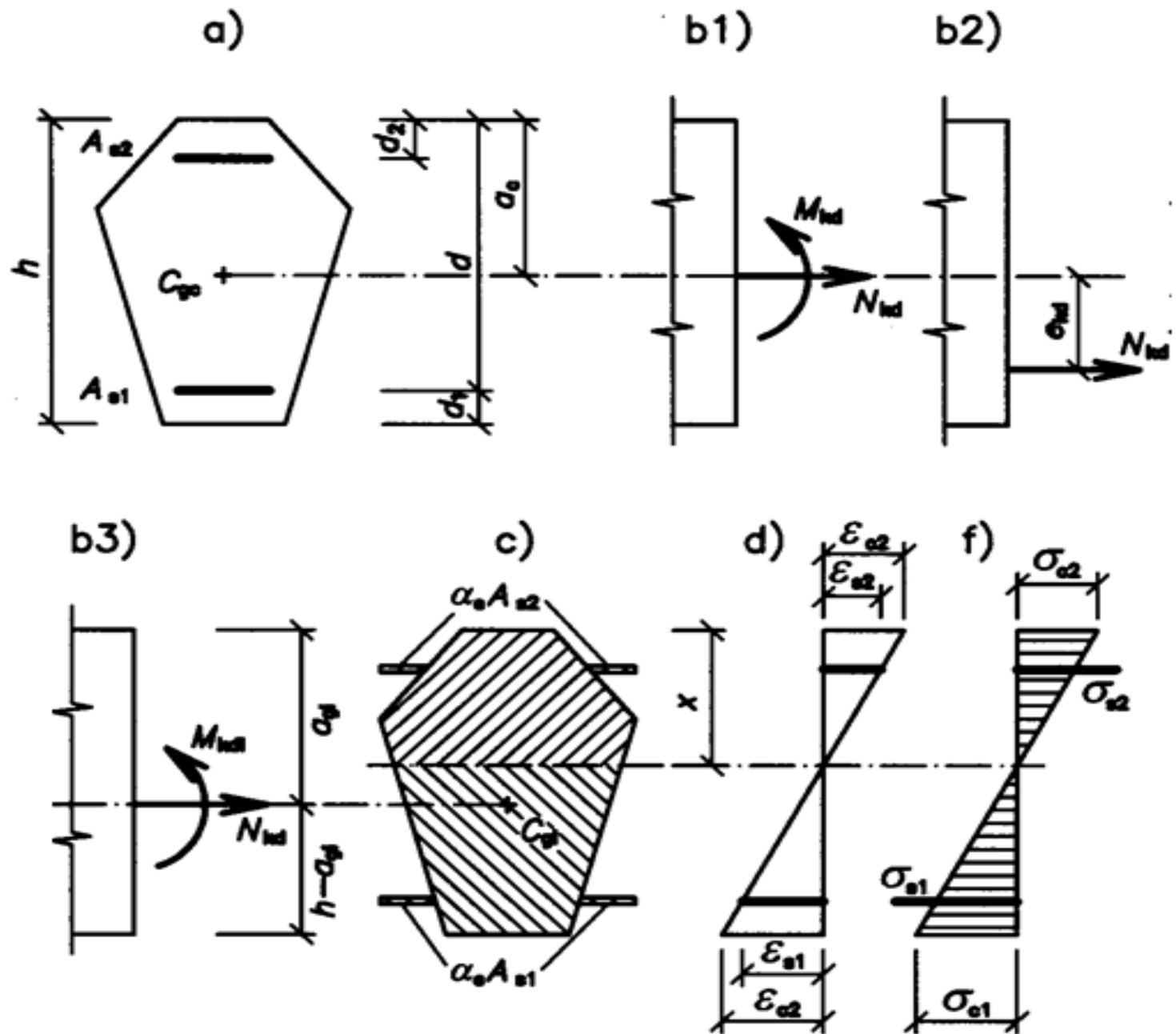
Napětí v průřezu - horní vlákna

$$\sigma_{c2} = \frac{N_{kd}}{A_i} + \frac{M_{kdi} a_{gi}(-)}{I_i}$$

- dolní vlákna

$$\sigma_{c1} = \frac{N_{kd}}{A_i} + \frac{M_{kdi}(h - a_{gi})}{I_i}$$

Uvažujeme náhradní (ideální) betonový průřez



Zjednodušené předpoklady

Ve stadiu II a - průřez s trhlinou a tlačnou částí

- Na okrajích betonového průřezu musí platit

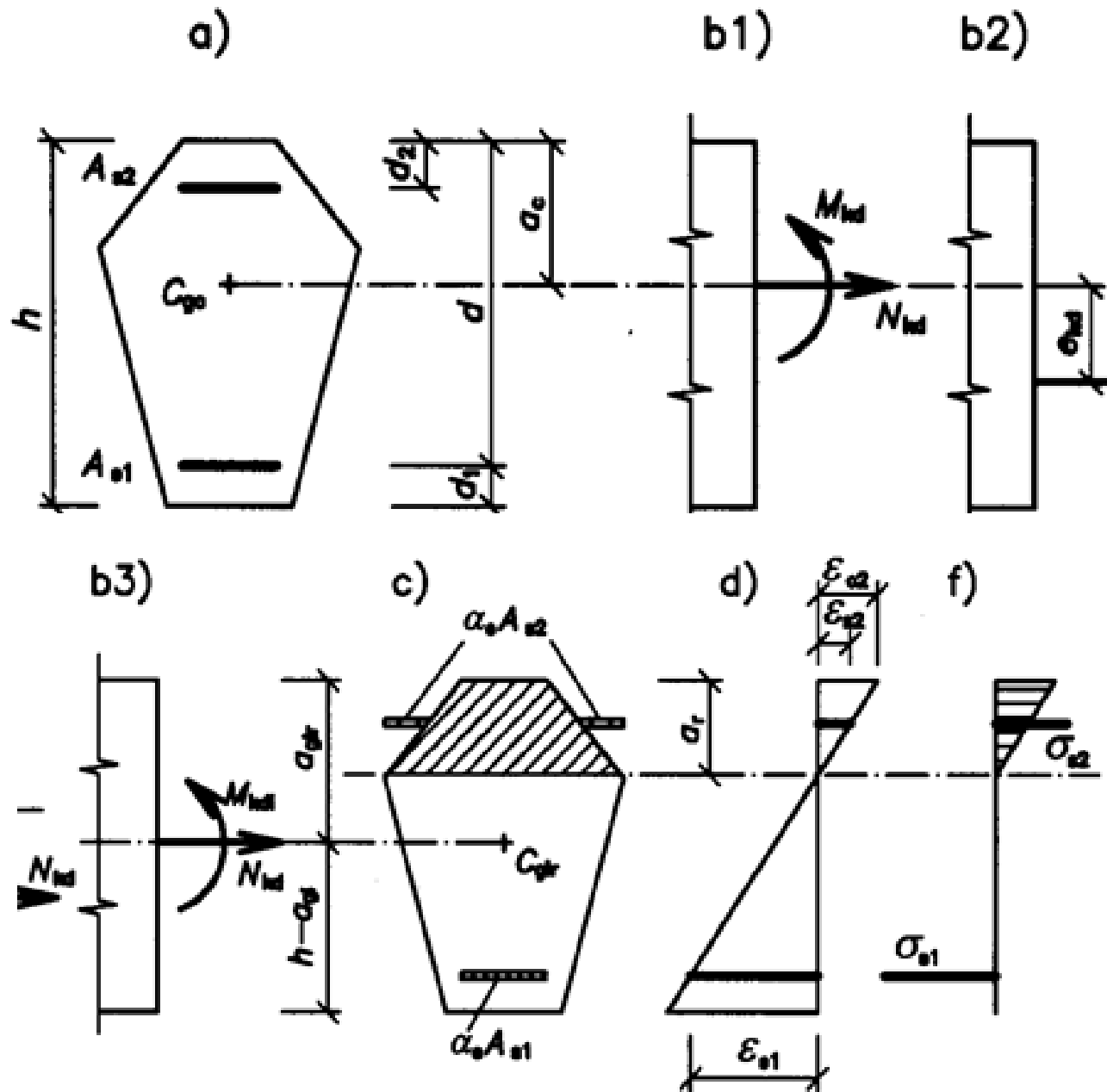
$$\sigma_{c1} > f_{ct,eff} \quad \text{a} \quad \sigma_{c2} < 0$$

resp. $\sigma_{c2} > f_{ct,eff}$ a $\sigma_{c1} < 0$

Pro výpočet napětí v průřezu s trhlinou a tlačnou částí se předpokládá:

- poměrné přetvoření je přímo úměrné vzdálenosti od n.o.
- přetvoření výztuže je stejné jako přetvoření betonu v témže místě
- beton i ocel působí jako látky lineárně pružné
- beton v tahu nepůsobí

Uvažujeme náhradní (ideální) betonový průřez s vyloučeným betonem v tahu



Zjednodušené předpoklady

Ve stadiu II b - trhlina prostupuje celým průřezem

- Pokud na obou okrajích taženého průřezu platí

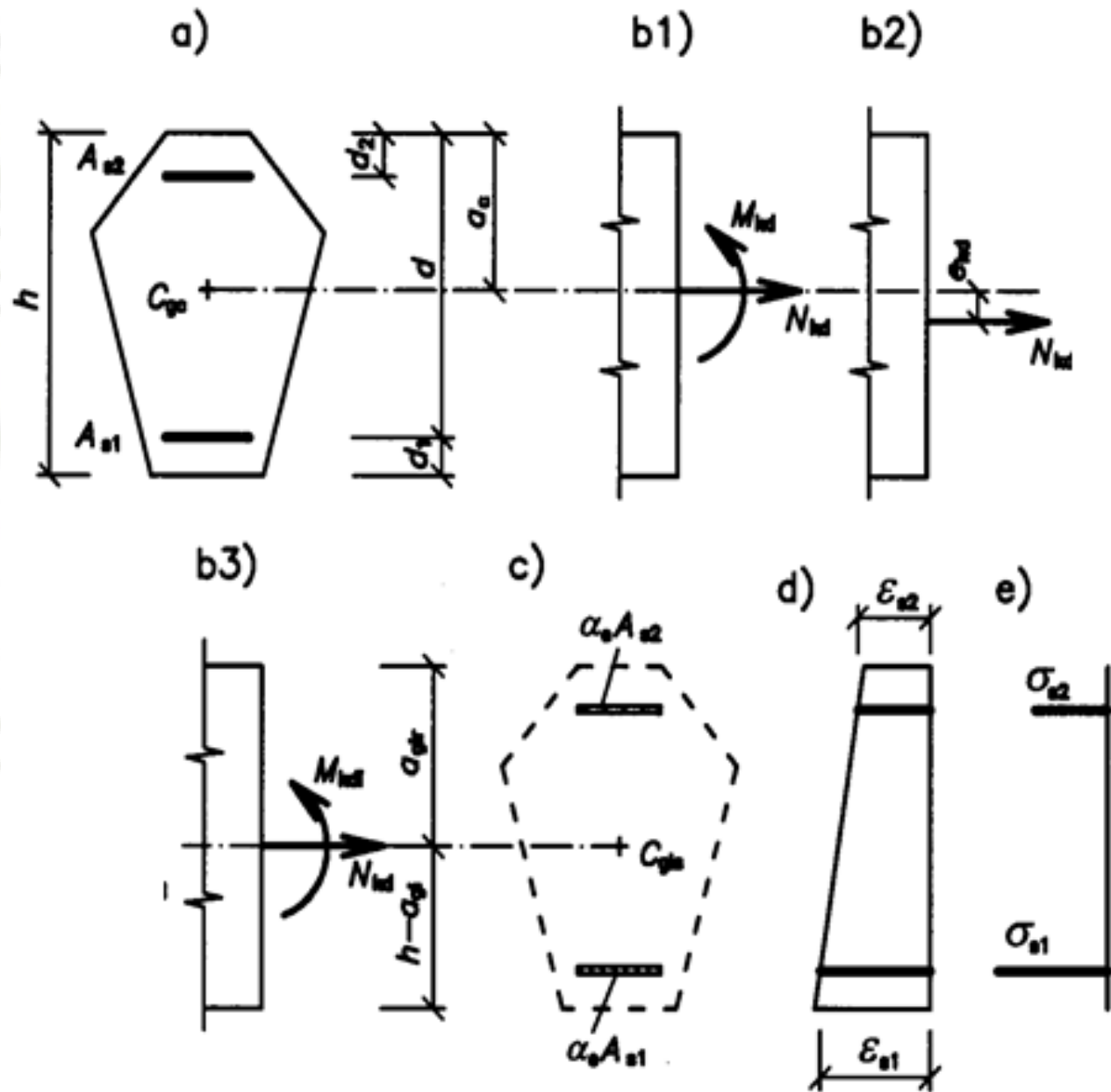
$$\sigma_{c1} > f_{ct,eff} \quad \text{a} \quad \sigma_{c2} > f_{ct,eff}$$

- průřez je po celé výšce prostoupen trhlinou

Pro výpočet napětí v průřezu s trhlinou prostupující celým průřezem se předpokládá:

- působí pouze výztuž jako lineárně pružná látka
- poměrné přetvoření je přímo úměrné vzdálenosti od n.o. ležící mimo průřez

Tahová síla leží v těžišti tahových sil působících ve výztuži



Mezní stav omezení napětí

Omezení napětí se předepisuje pro

a) tlaková napětí v betonu - nadměrné hodnoty tlakových napětí v betonu mohou v provozním stavu na konstrukci vyvolat:

- vznik podélných trhlin
- rozvoj mikrotrhlin v betonu
- vyšší hodnoty dotvarování

Tyto jevy mohou vést ke vzniku takových stavů, které znemožní používání konstrukce.

Mezní stav omezení napětí

Omezení napětí se předepisuje pro

b) tahová napětí ve výztuži - za účelem:

- zamezení vzniku nadměrného nepružného přetvoření výztuže (a tím i celého prvku)
- zamezení vzniku širokých, trvale otevřených trhlin v betonu

Po překročení meze kluzu ve výztuži - nevratný mezní stav!

Omezení tlakových napětí v betonu

Pro charakteristickou kombinaci zatížení konstrukce

- nacházející se v třídách agresivity prostředí XD, XF a XS

$$|\sigma_{c1}| \leq 0,6 f_{ck}$$

- lineární dotvarování betonu lze uvažovat, pokud

$$|\sigma_{c1}| \leq 0,45 f_{ck}$$

Omezení napětí ve výztuži

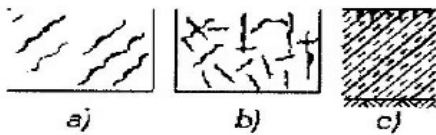
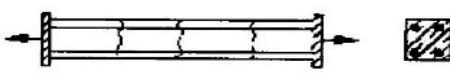
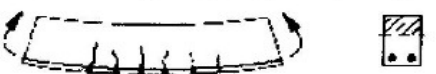
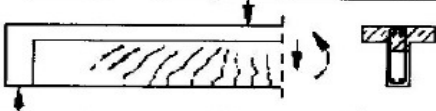

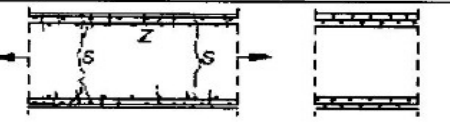
Pro charakteristickou kombinaci zatížení konstrukce

$$\sigma_s \leq 0,8 f_{yk}$$

Je-li napětí ve výztuži vyvozeno vynuceným přetvořením

$$\sigma_s \leq 1,0 f_{yk}$$

Trhliny

Druh trhliny		schéma	popis
Povrchové trhliny, trhliny u povrchu	Trhliny podélné s výztuží		Obvykle nad horními výztužnými pruty Sedání betonové směsi, rané smrštění, chybné uložení výztuže
	Trhliny v soudržnosti		Probíhají průběžně s výztuží, dosahují líce výztuže
	Povrchové trhliny		Na horním líci plošných prvků, kopírují výztuž, případně nezávislý průběh, hloubka trhlín je obvykle malá
Hluboké trhliny	Tahové trhliny		Procházejí celým průřezem, vznikají při soustředném tahu nebo tahovém namáhání s malou excentricitou
	Ohybové trhliny		Procházejí obvykle kolmo na taženou výztuž, začínají na taženém líci a jsou až do oblasti neutrální osy
	Smykové trhliny		Trhliny jsou skloněné vůči ose prvku, vyvíjejí se z ohybových trhlín
	S-primární trhliny Z- sekundární trhliny		Jen některé trhliny dosahují neutrální osy. Jsou časté u silně vyztužených okrajů nebo u velkých průřezů vlivem centrických tahových namáhání
			Mezi primárními trhlinami vznikají sekundární trhliny, které jsou jen v oblasti výztuže.

Mezní stav trhlin

Trhliny vznikají působením mechanického zatížení nebo vlivem nesilových účinků (např. smršťováním, dotvarováním, vývinem hydratačního tepla apod.) při omezení přetvoření (tj. omezením vynucených deformací), resp. jejich kombinací.

Mají limitující vliv na trvanlivost a životnost konstrukce.

Šířka trhlin závisí na

- pevnosti betonu v tahu
- soudržnosti výztuže a betonu
- krytí (tj. na tloušťce krycí vrstvy)
- uspořádání výztuže
- rozměrech prvku a na jeho namáhání

Mezní stav trhlin

Obvykle se v normách předpokládá, že

- není možné přesně stanovit šířku trhliny pomocí jednoduchých vztahů, znalost přesné šířky trhliny není pro trvanlivost betonové konstrukce významná
- vypočtená šířka trhliny je jakási reprezentační hodnota, která se porovnává s doporučenou (limitní) hodnotou; reprezentační a limitní hodnota jsou vzájemně spjaty

Cíl návrhu z hlediska mezního stavu šířky trhlin

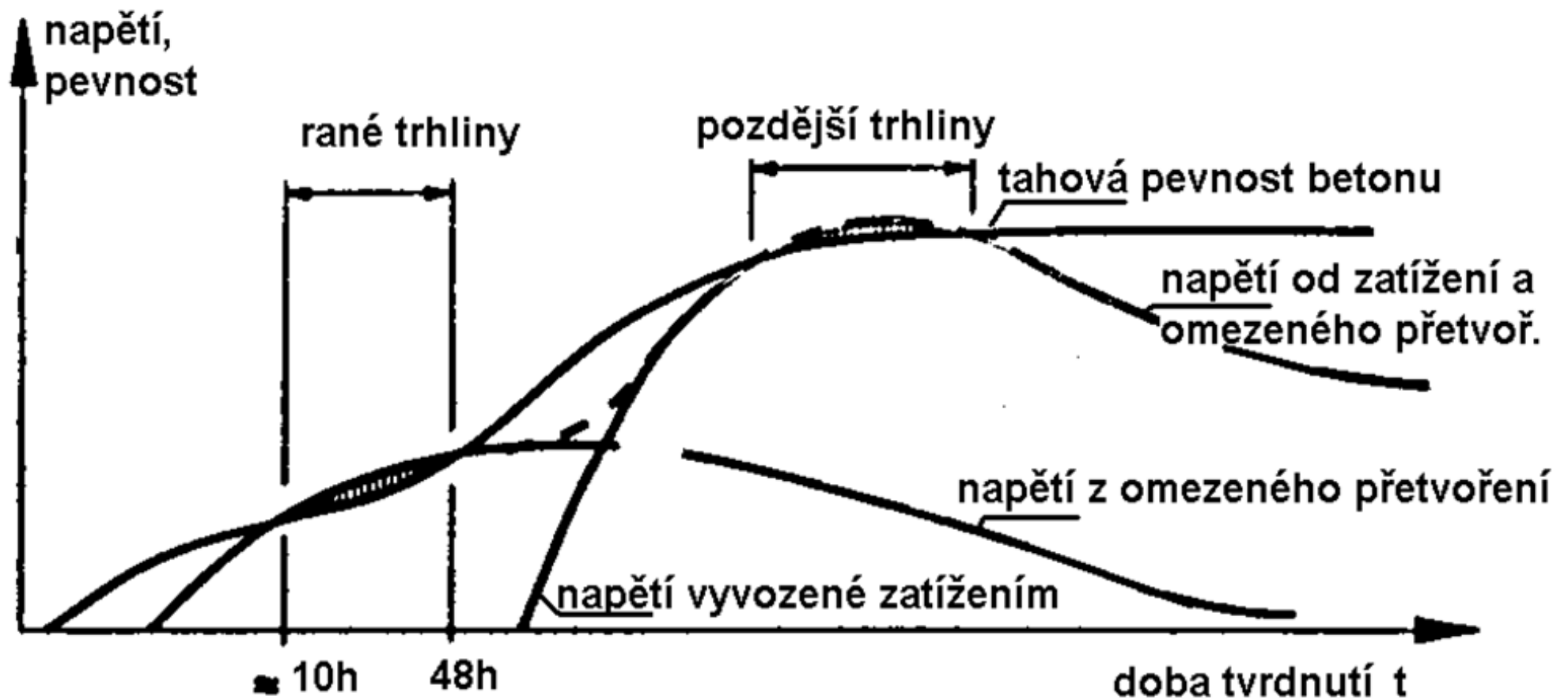
- zajistit, že trhliny zajistí použitelnost a trvanlivost konstrukce

Mezní stav trhlin

Posouzení z hlediska mezního stavu šířky trhlin

- přímým výpočtem šířky trhlin a kontrolou podmínky spolehlivosti
- dodržením jistých doporučení bez výpočtu šířky trhlin

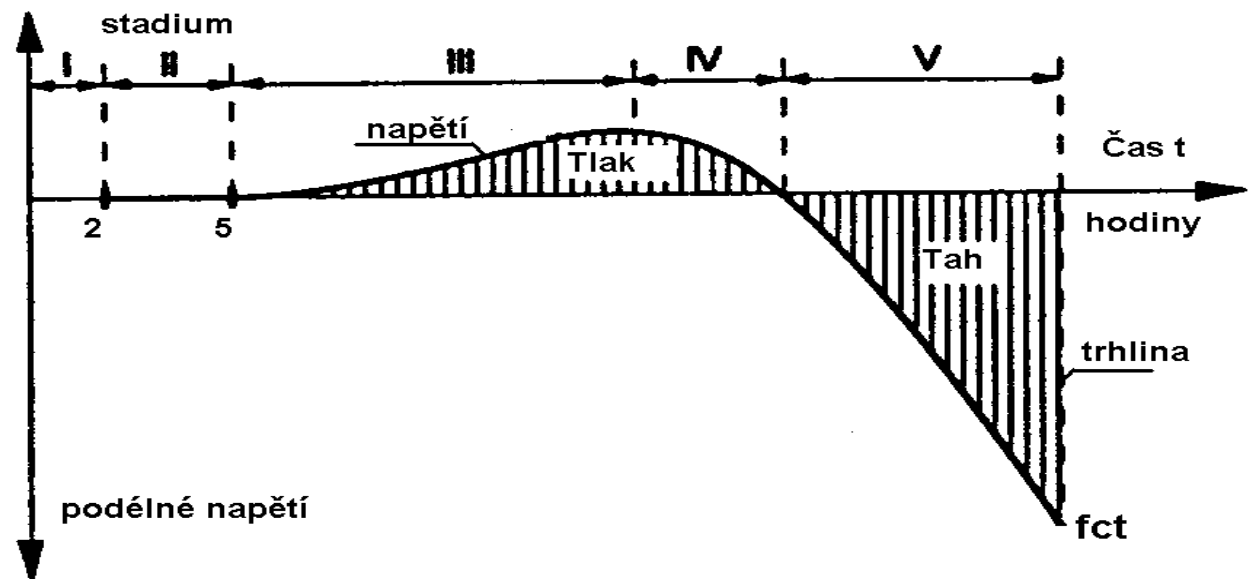
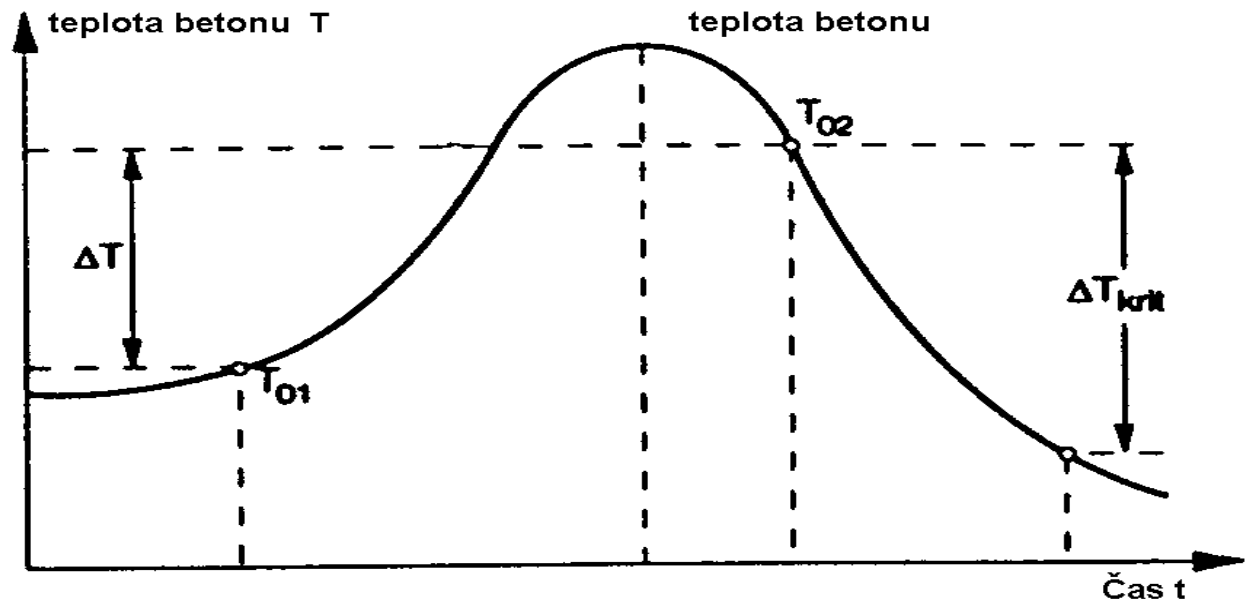
Rané trhliny a pozdější trhliny od zatížení

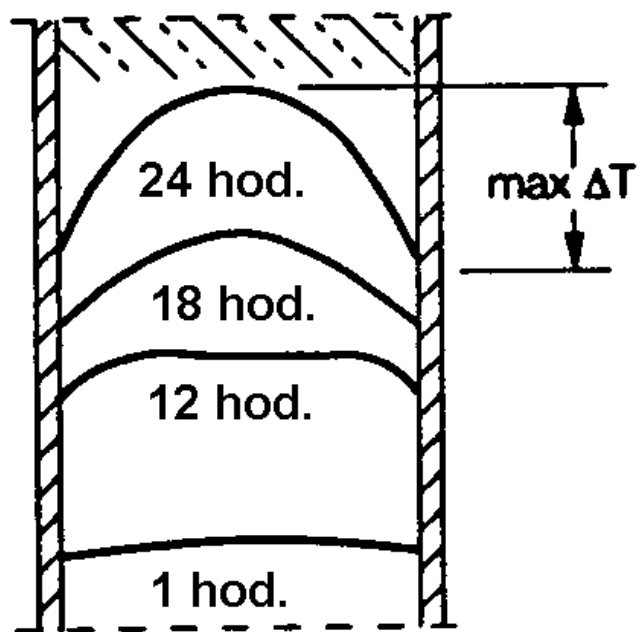


Ranné trhliny

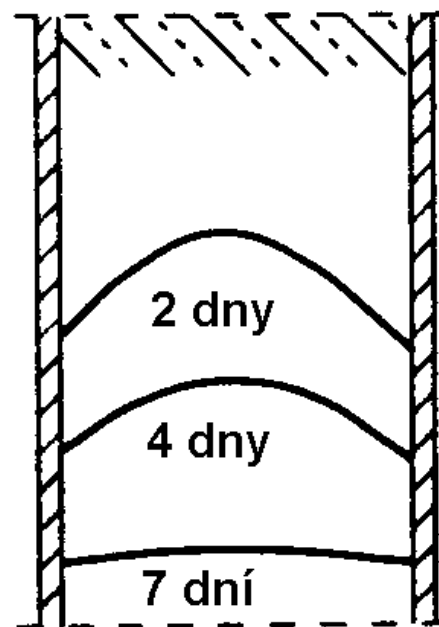
Hydratační teplo

Nedochází
K tepelné
výměně mezi
betonem
a okolím;
uvnitř betonu



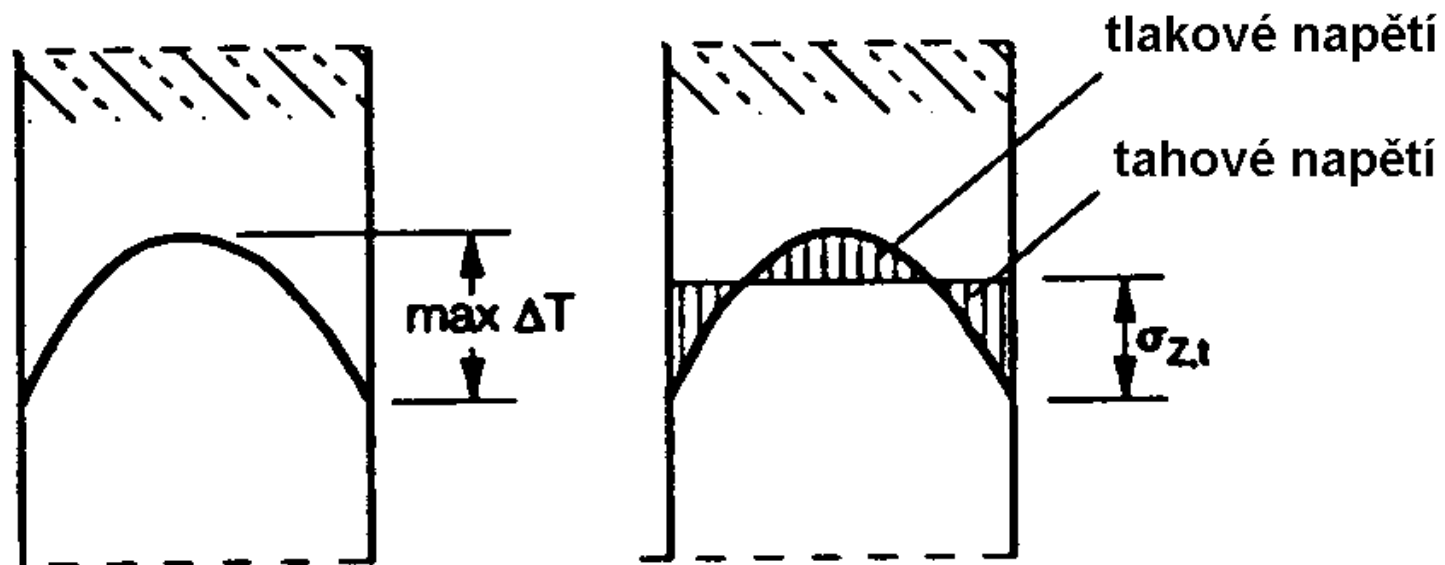


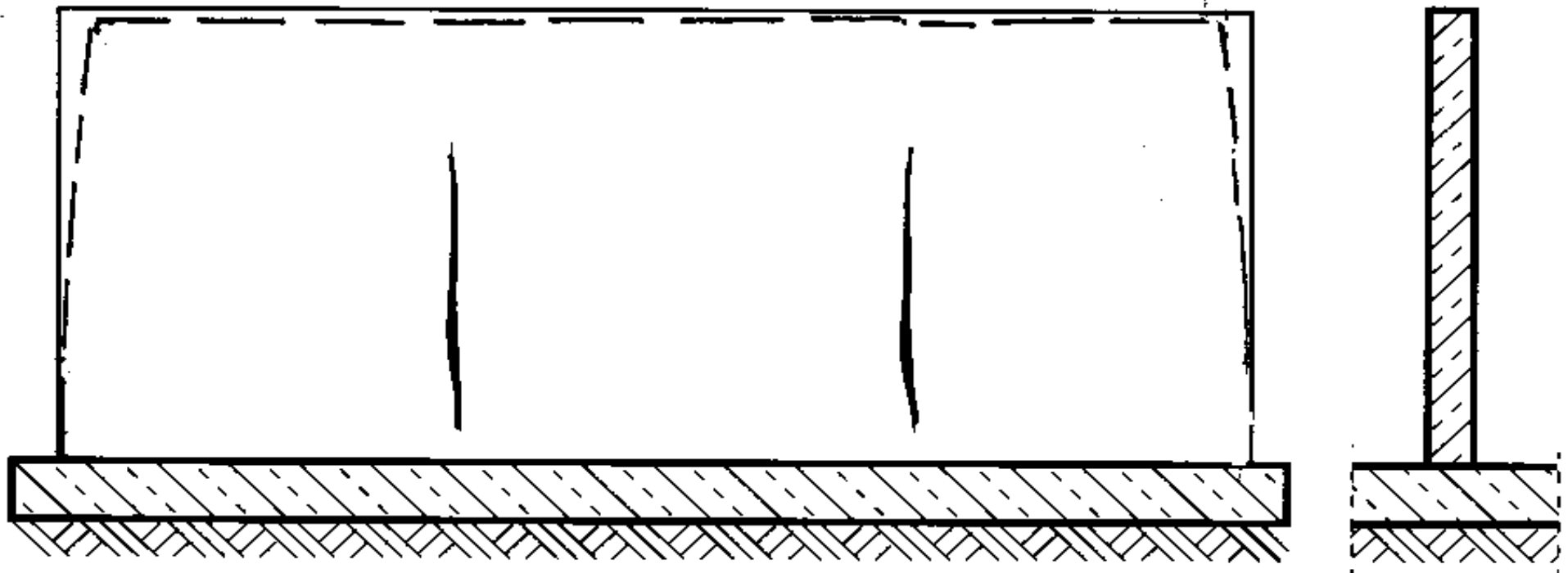
Oteplení



Ochlazení

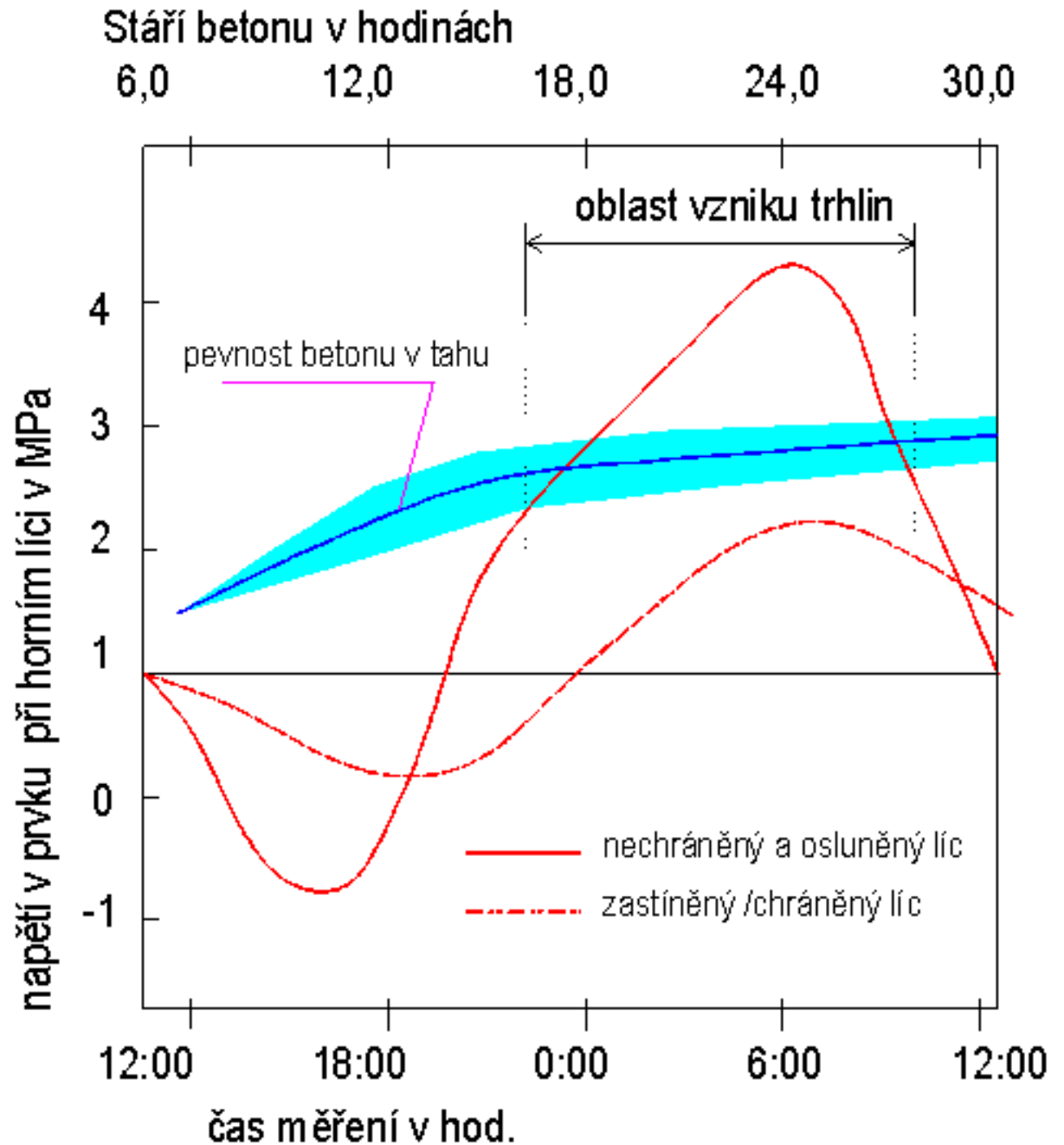
Vliv
teploty
okolí

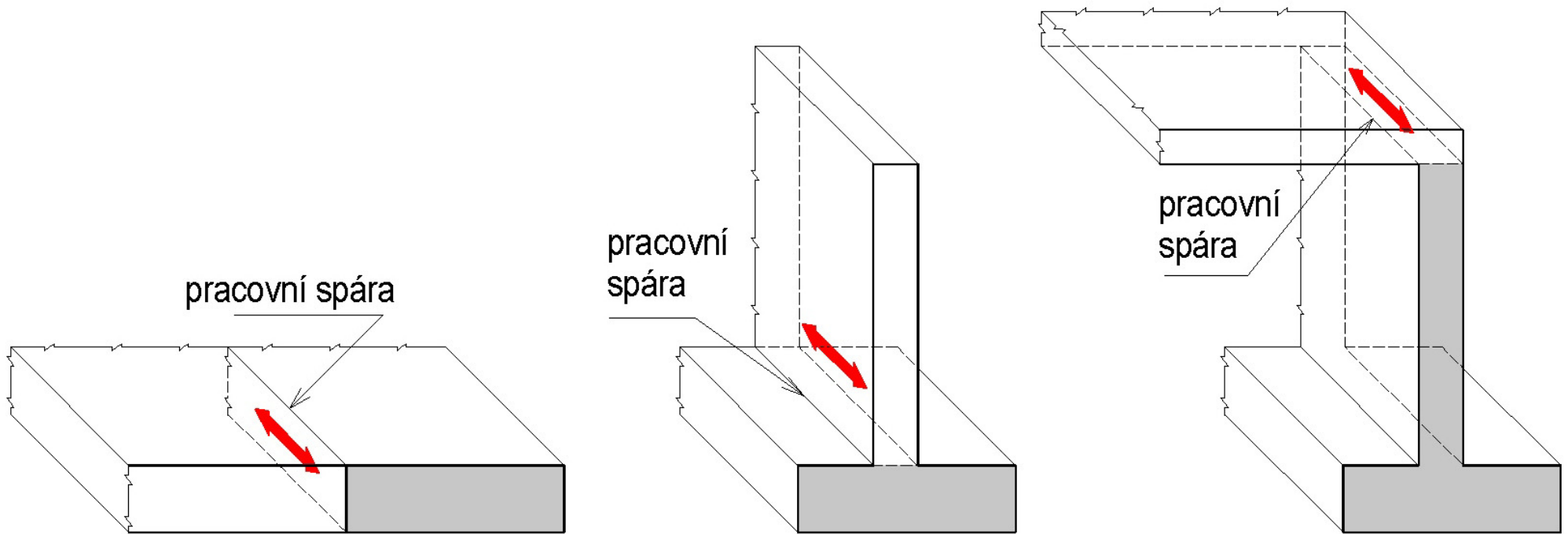




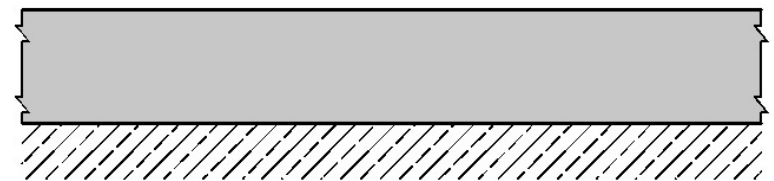
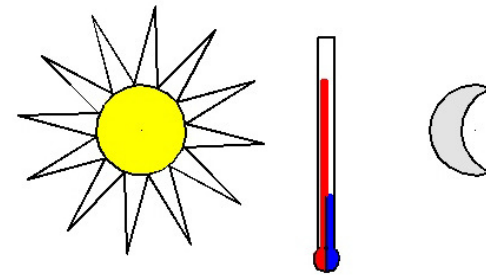
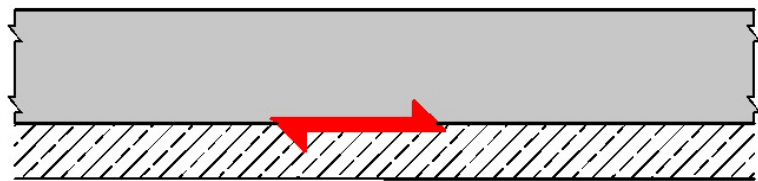
Omezení přetvoření

Příklad změřeného průběhu napětí na lících betonového prvku





Tažené prvky v raném stadiu

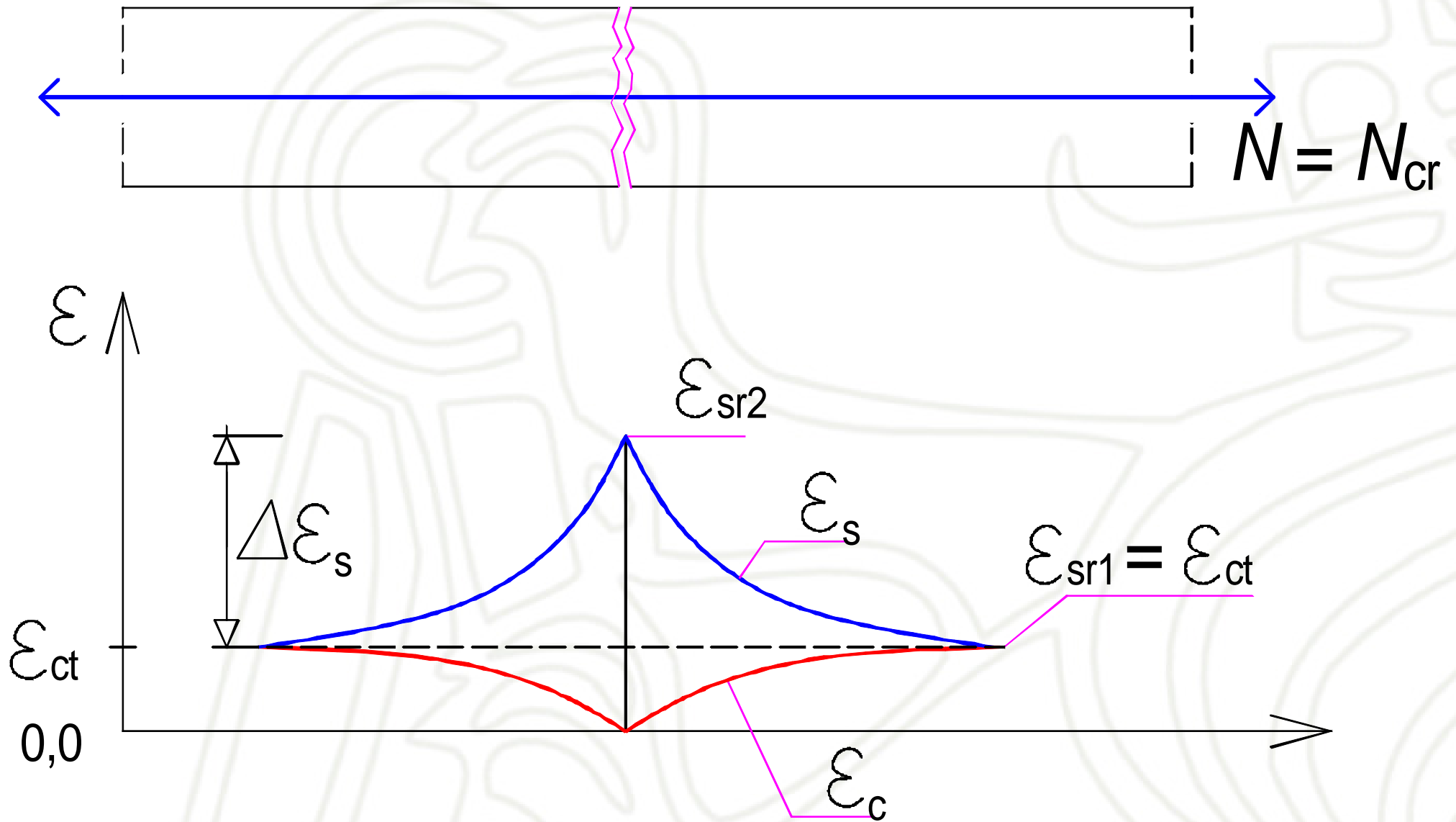


Ohýbané prvky v raném stadiu

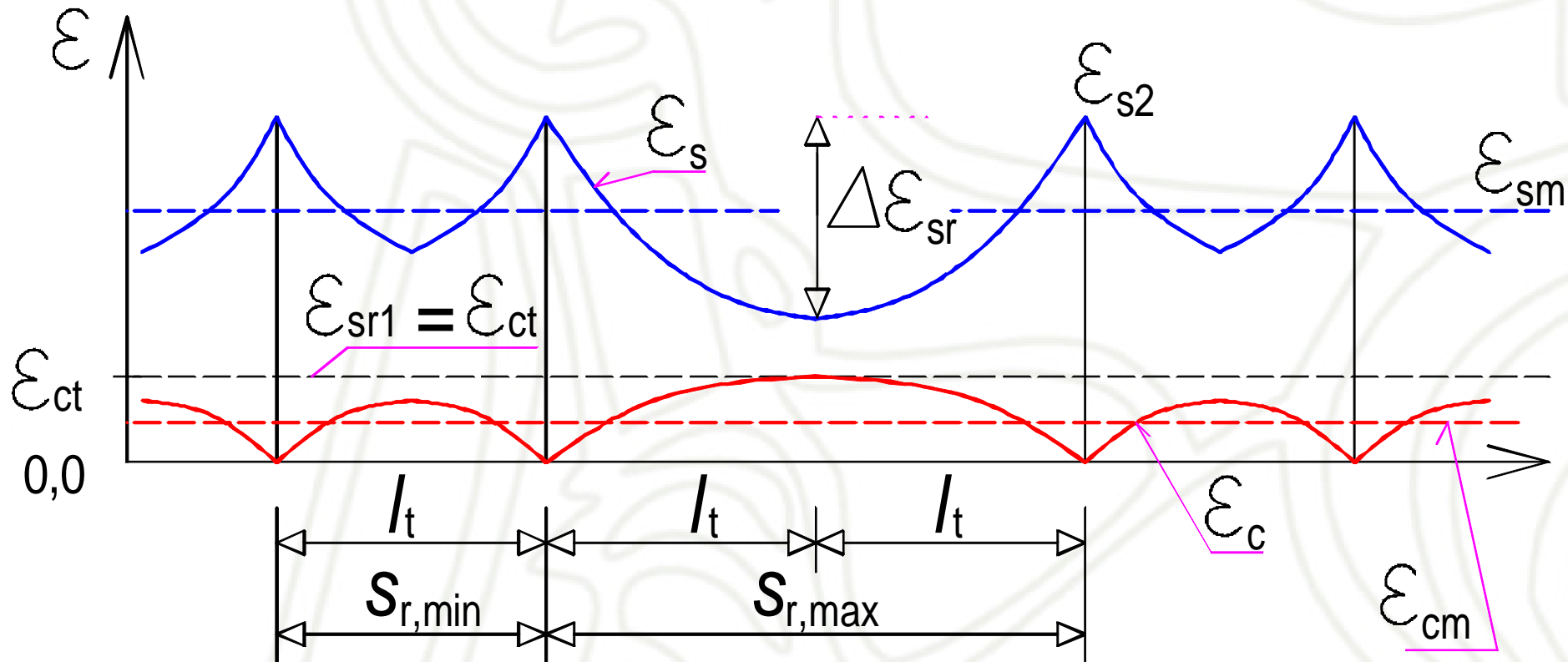
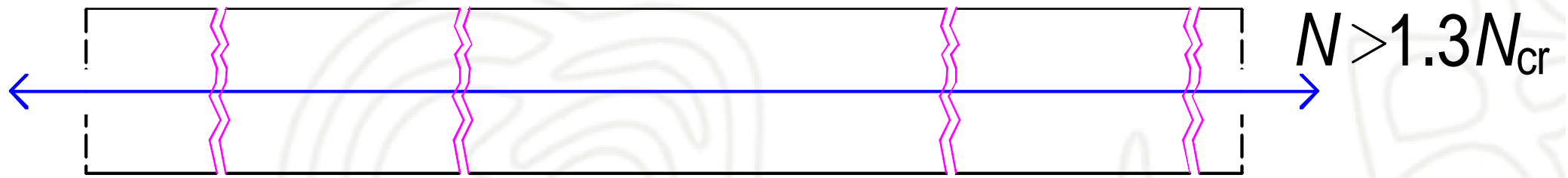
Vznik a šířka trhlin

Dostředně tažený prvek

- trhliny nevzniknou až do dosažení pevnosti betonu v tahu
- po dosažení tahové síly $N_{cr} = A_j f_{ctm}$ vzniknou primární trhliny, následně trhliny sekundární
- rozvoj trhlin je ukončen při dosažení tahové síly $\approx 1,3 N_{cr}$
- zvyšuje se napjatost a přetvoření výztuže až do meze kluzu

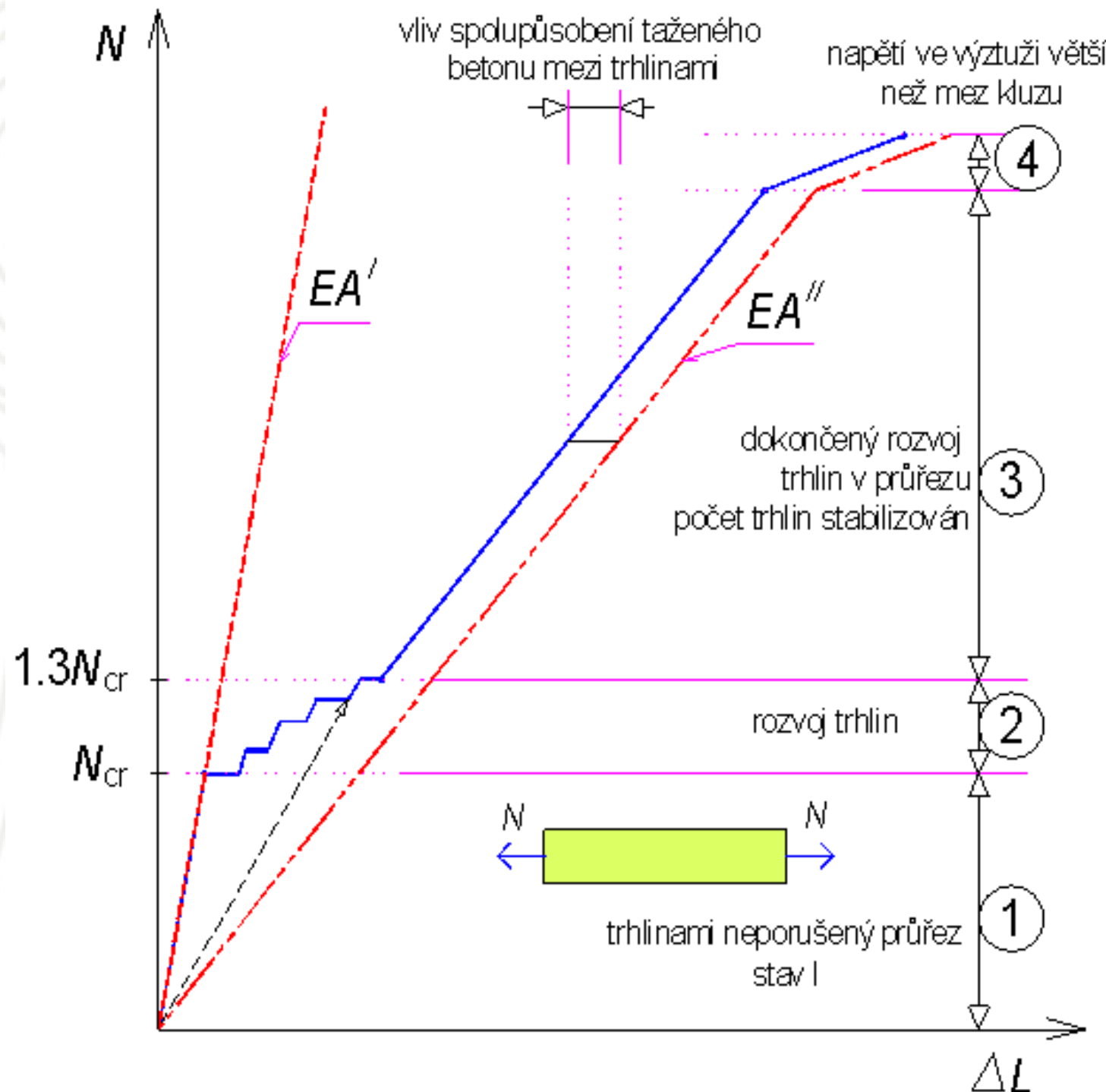


Vznik primární trhliny v taženém prvku

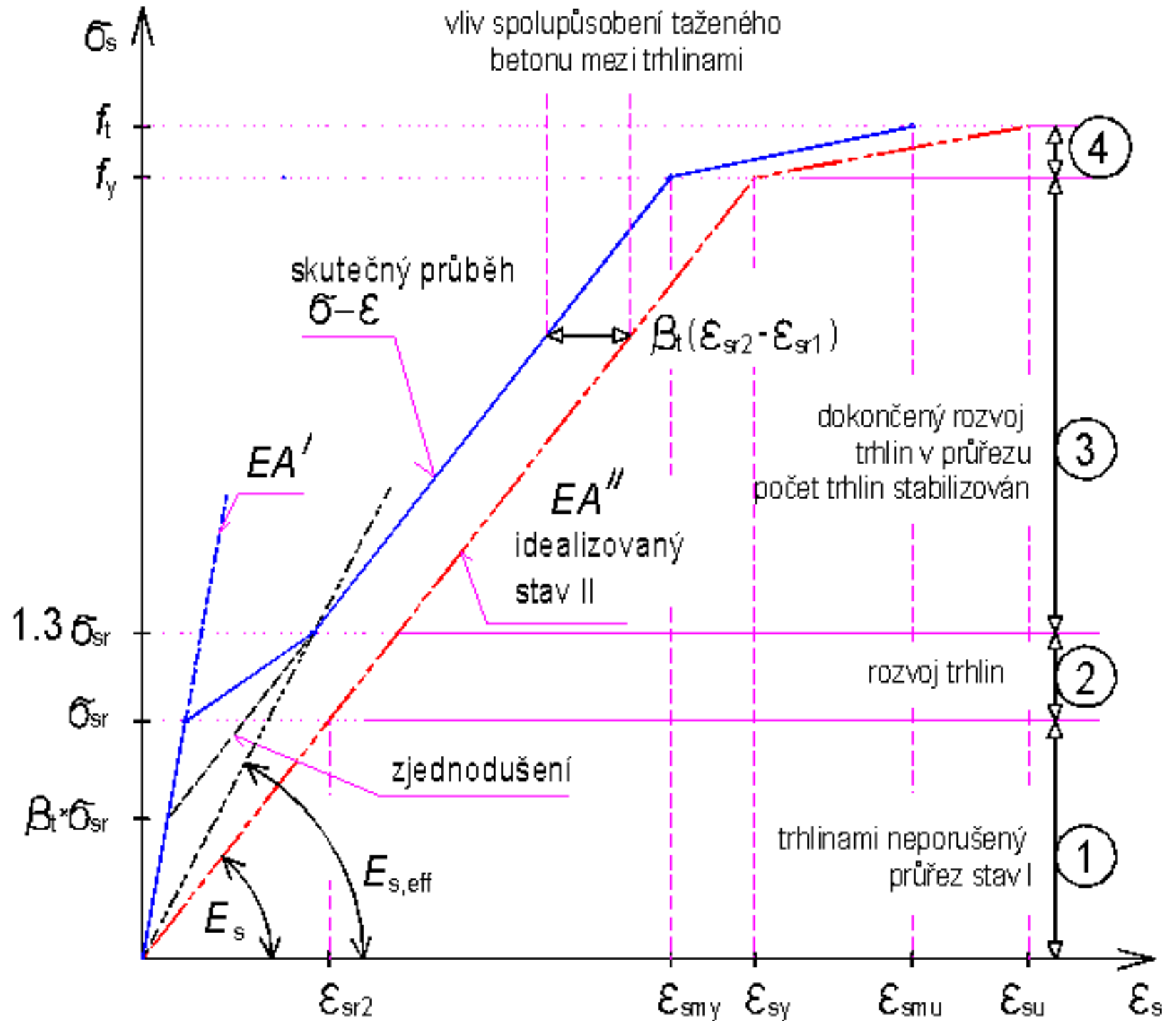


Vznik sekundárních trhlin v taženém prvku

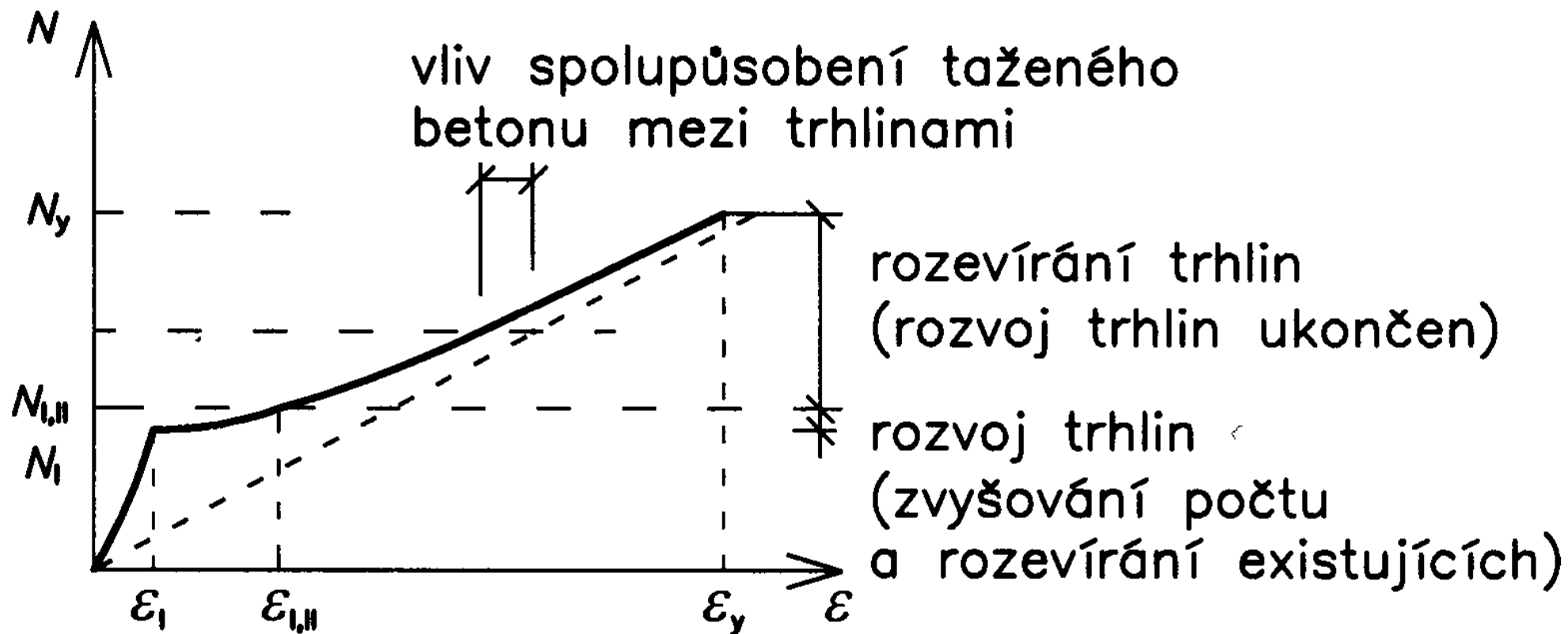
Pracovní diagram u tažených prvků



Obdobný pracovní diagram u ohýbaných prvků



Tahové zpevnění - spolupůsobení taženého betonu mezi trhlinami





Děkuji za pozornost!

© Jaroslav Procházka, Radek Štefan 2016

Poslední úprava: 4. 10. 2016

Připomínky a návrhy na vylepšení prezentace zasílejte prosím na adresu radek.stefan@fsv.cvut.cz

Upozornění:

Materiál slouží pouze pro studijní a výukové účely v rámci předmětů vyučovaných na Fakultě stavební ČVUT v Praze!