

Prvky betonových konstrukcí

BL01 – 1. přednáška



- Program přednášek, literatura.
- Podstata betonu, charakteristika prvků.
- Zásady a metody navrhování konstrukcí.
- Zatížení, jeho dělení a kombinace.
- Idealizace konstrukcí, statické modely, imperfekce, statická analýza, redistribuce sil.

Program přednášek

- 1. Podstata betonu, jeho rozdělení a uplatnění. Charakteristika betonových prvků. Zásady navrhování betonových konstrukcí. Zatížení konstrukcí, jeho charakteristika, rozdělení a kombinace. Modelování a idealizace konstrukcí, jejich statická analýza, geometrické imperfekce a redistribuce vnitřních sil.**
- 2. Konstrukční vlastnosti betonu (pevnost, pružnost, přetvárnost), jejich proměnnost a faktory je ovlivňující. Klasifikace betonu a jeho návrhové parametry. Konstrukční vlastnosti výztuže, její klasifikace a návrhové parametry. Zajištění spolupůsobení betonu a výztuže. Zajištění trvanlivosti betonových konstrukcí.**
- 3. Mezní stavy únosnosti - zásady výpočtu, předpoklady řešení. Navrhování ohýbaných železobetonových prvků - modelování, chování a způsob porušení. Dimenzování průřezů namáhaných ohybovým momentem - obecná a zjednodušená metoda, obecný průřez.**
- 4. Dimenzování průřezů namáhaných ohybovým momentem - obdélníkový průřez jednostranně a oboustranně vyztužený, průřezy se spolupůsobící deskou, zvláštní průřezy. Namáhání prvků ohybovým momentem v šikmé rovině.**
- 5. Dimenzování průřezů namáhaných posouvající silou – modelování, chování, způsob porušení, prvky bez smykové výztuže.**
- 6. Dimenzování průřezů namáhaných posouvající silou – prvky se smykovou výztuží, podélný smyk.**
- 7. Rozdělení výztuže v trámu - konstrukční zásady. Zásady vyztužování ohýbaných konstrukčních prvků. Zásady navrhování a vyztužování jednoduchých ohýbaných betonových prvků – nosníkové desky, trámy, průvlaky, překlady a vyložené konstrukce. Úpravy vyztužení v místech lokálního zatížení, otvorů apod.**

Program přednášek

8. Zásady navrhování a vyztužování prvků schodišť.
9. Dimenzování průřezů namáhaných ohybovým momentem a normálovou silou (princip řešení, interakční diagram, návrh a posouzení tlačných a tažených prvků).
10. Dimenzování průřezů namáhaných ohybovým momentem a normálovou silou (šikmý ohyb s osovou silou, vliv ovinutí, zásady pro vyztužování sloupů, vliv štíhlosti).
11. Zásady dimenzování průřezů namáhaných kroutícím momentem a při místním namáhání. Dimenzování prvků z prostého a slabě vyztuženého betonu.
12. Zásady navrhování železobetonových prvků podle mezních stavů použitelnosti. Objemové změny betonu (dotvarování, smršťování, změny teploty).

Doporučená základní literatura:

- [1] Terzijski, Štěpánek, Čírtek, Zmek, Panáček – Prvky betonových konstrukcí. Modul CM1 až CM5., studijní opora pro kombinované studium, VUT, Brno, 2005
- [2] Procházka, Štěpánek, Krátký, Kohoutková, Vašková: Navrhování betonových konstrukcí 1. Prvky z prostého a železového betonu., skriptum, ČB, Praha, 2009
- [3] Bilčík, Fillo, Benko, Halvoník – Betónové konštrukcie. Navrhovanie podľa EN 1992-1-1., BETONING, Bratislava, 2008
- [4] Wight, MacGregor – Reinforced Concrete. Mechanics and Design., Pearson-Prentice Hall, New Jersey, 2008
- [5] Mosley, Bungey, Hulse – Reinforced Concrete. Design to Eurocode 2, Palgrave Macmillan, 2007

Podstata betonu

Složení betonu: plnivo, pojivo, přísady, příměsi. Nutná **energie** pro výrobu.

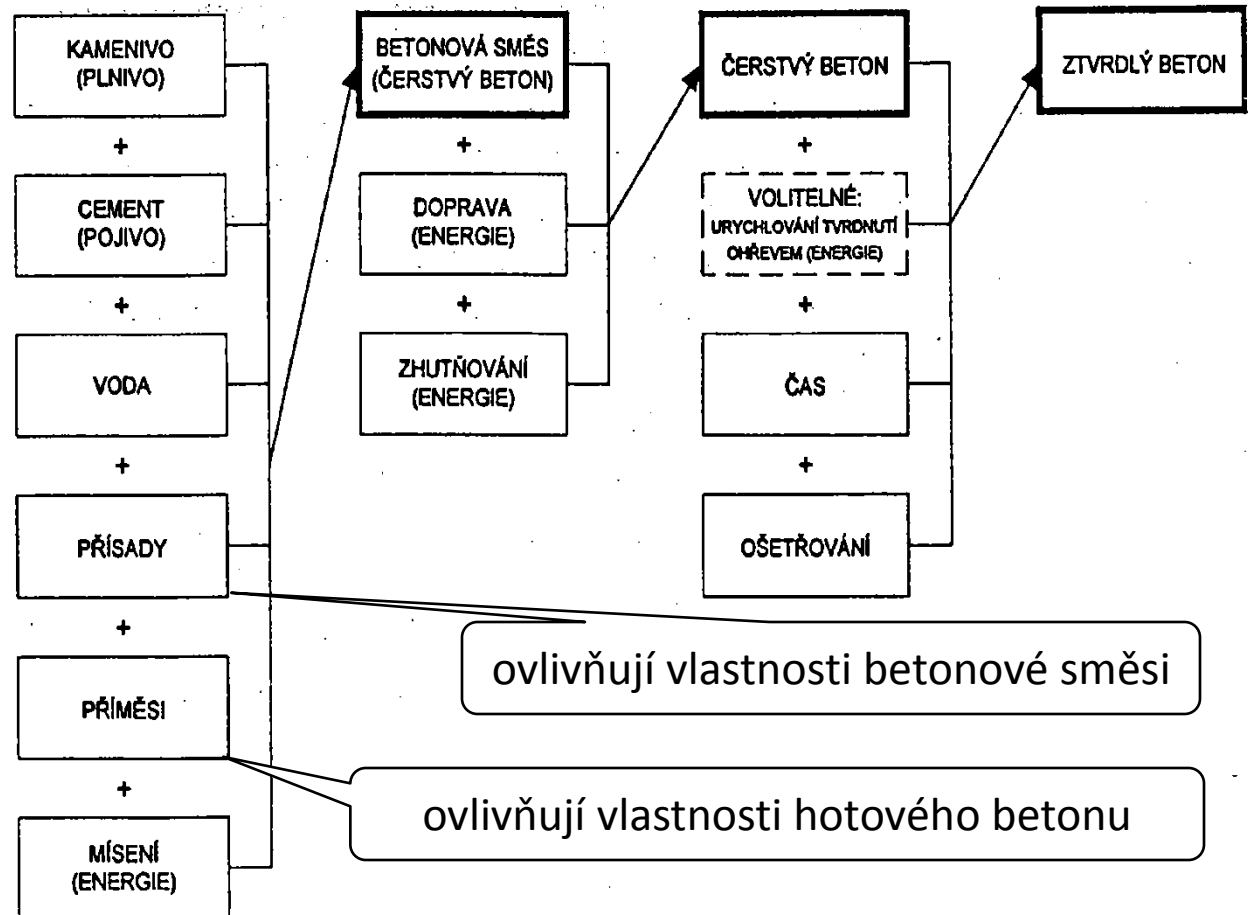
Vlastnosti betonu: mechanické, přetvárné, vystihující pohyb média či energie, související s trvanlivostí

Přednosti betonu:

- značná pevnost v tlaku,
- trvanlivost,
- ohnivzdornost,
- houževnatost,
- snadná tvarovatelnost,
- monolitičnost,
- vodotěsnost,
- recyklovatelnost,
- hospodárnost a dostupnost materiálů

Nedostatky betonu:

- větší hmotnost,
- menší pevnost v tahu,
- křehkost,
- relativně velké objemové změny
- vodivost zvuku, vibrací a tepla

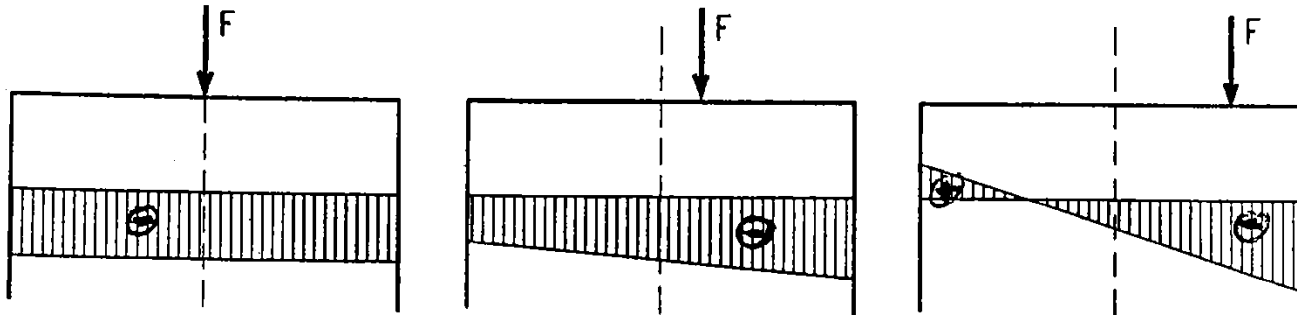


Podstata betonu

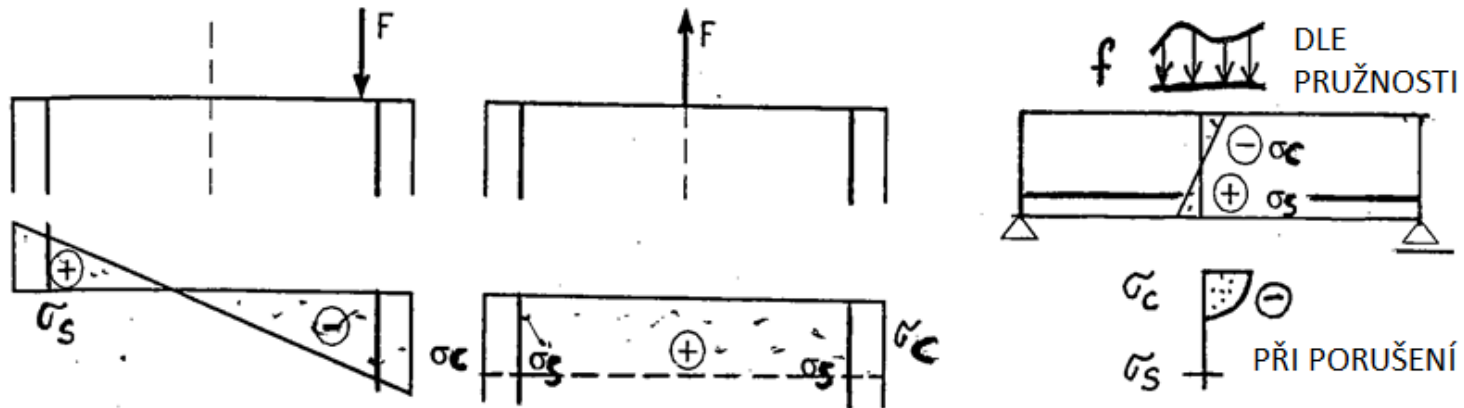
Rozdělení betonu:

- podle statických a konstrukčních kritérií: nevyztužený = **prostý beton**, **slabě vyztužený beton**, vyztužený beton – **železobeton**, **předpjatý beton**

Napjatost v průřezu z prostého betonu při tlakovém namáhání:



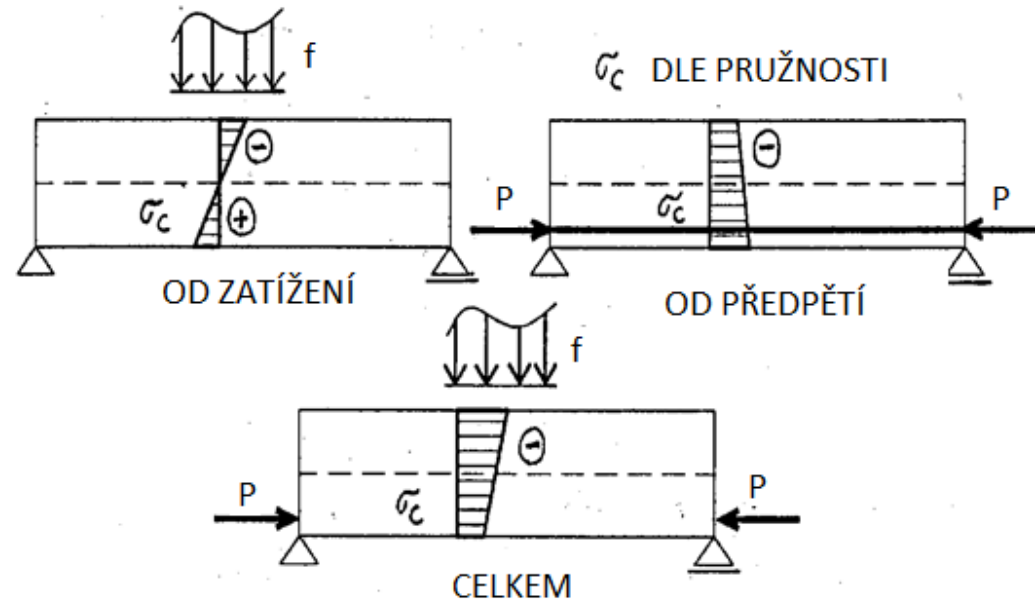
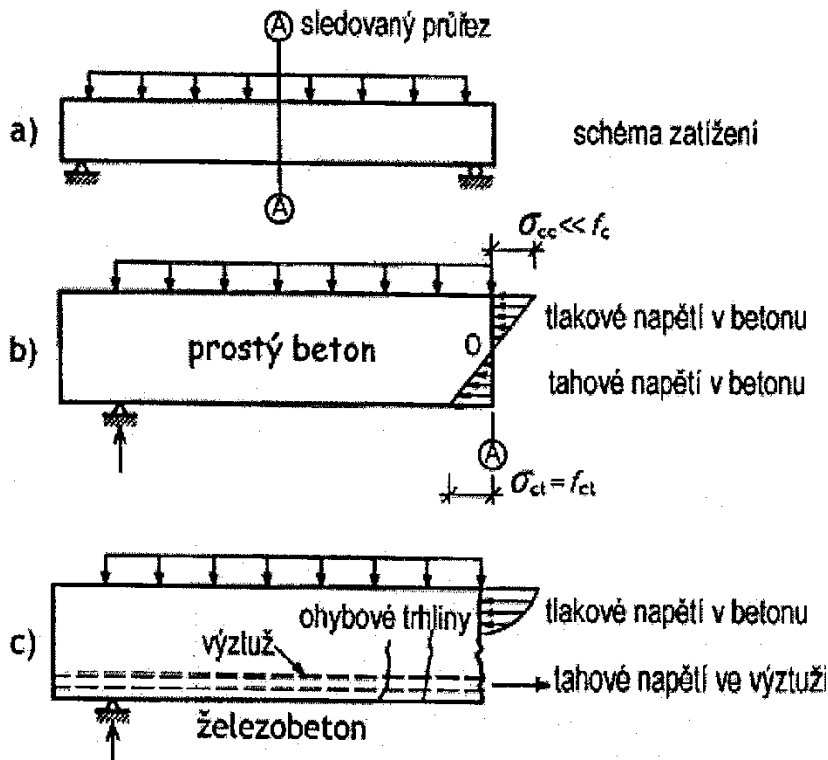
Napjatost v železobetonovém prvku:



Podstata betonu

Napjatost v předpjatém nosníku →

Srovnání působení prostého betonu a železobetonu:



Pozn.:

Beton u vyztužených prvků slouží nejen k přenosu tlakových napětí, ale i jako **ochrana výztuže** před korozi, vysokými teplotami, před požárem apod.

Podstata betonu

Rozdělení betonu – pokračování:

- podle funkce v konstrukci:
 - nosný (**konstrukční**) beton, nenosný beton
- podle objemové hmotnosti:
 - obyčejný beton, lehký beton a těžký beton
- podle hutnosti (mezerovitosti):
 - hutný beton, mezerovitý beton a pórovitý beton
- podle pevnosti v tlaku:
 - beton s běžnou pevností, **vysokopevnostní** beton

Uplatnění betonu ve stavebnictví:

- beton se ve stavebnictví uplatňuje u všech druhů konstrukcí;
- výhodná je přijatelná hospodárnost, tvarovatelnost z hlediska nosné a architektonické funkce (pohledový beton), ohnivzdornost, tuhost, přijatelné náklady na údržbu, dostupnost používaných materiálů apod;
- nevýhodná je menší únosnost v tahu nebo možný vznik trhlin, používání prostředků pro jeho výstavbu – skruž, bednění, větší hmotnost, objemové změny;

Ve stavebnictví se podle způsobu výstavby používají konstrukce monolitické, prefabrikované a kombinované (spřažené).

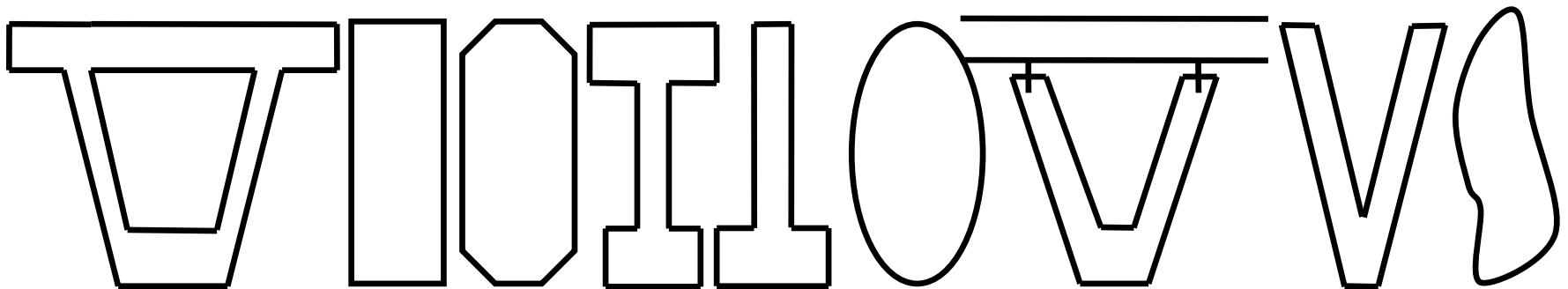
Charakteristika betonových prvků

Betonové prvky se ve stavbách vyskytují **samostatně** nebo jako **součást nějaké nosné konstrukce**, kde jsou spolu funkčně i staticky spojeny. Celou nosnou konstrukci můžeme řešit v celku nebo jako samostatné prvky s tím, že je nutno vystihnout jejich **vzájemné spolupůsobení** (např. vhodným zavedením okrajových podmínek).

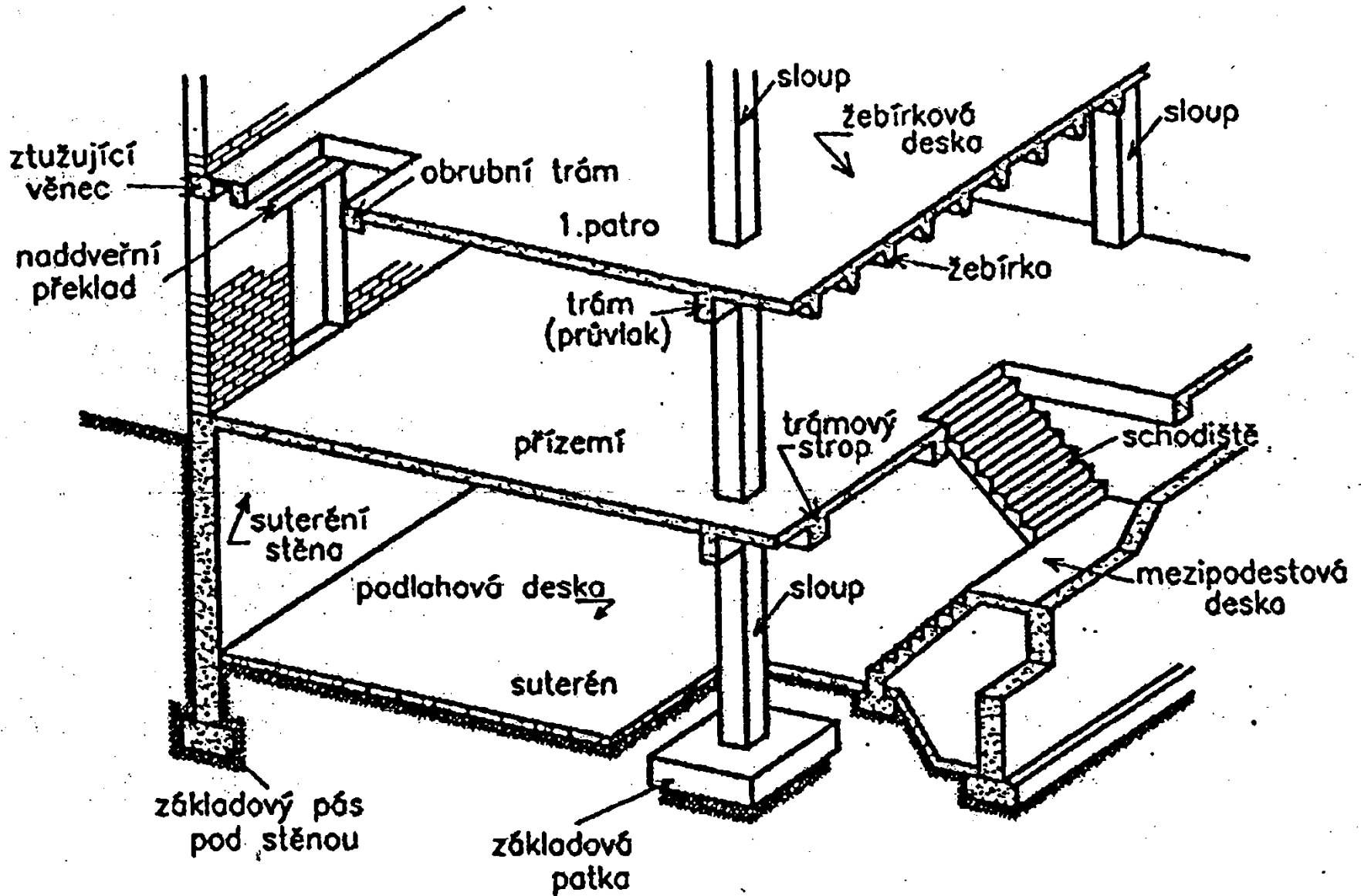
Rozeznáváme

- prvky **prutové** – trám – nosník (žebra, žebírka, trámy, průvlaky, překlady, schodnice, příčle), sloup, táhlo,
- prvky **plošné** - deska – nosníková deska, stěna – stěnový nosník, deskostěna,
- prvky **působící prostorově** – masivní konstrukce, skořepina.

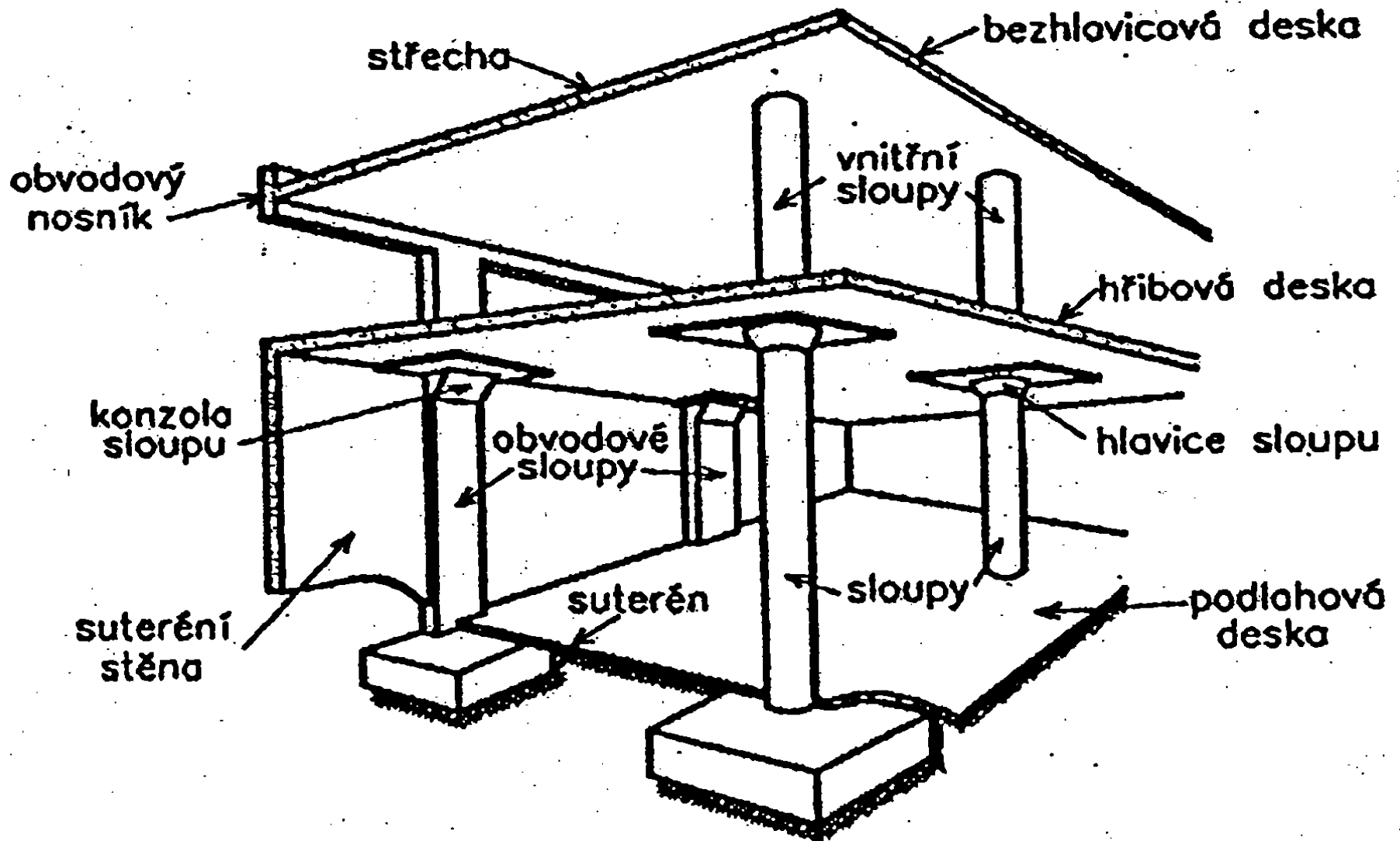
Tvary prvků – dle střednice (střednicové roviny), dle průřezu:



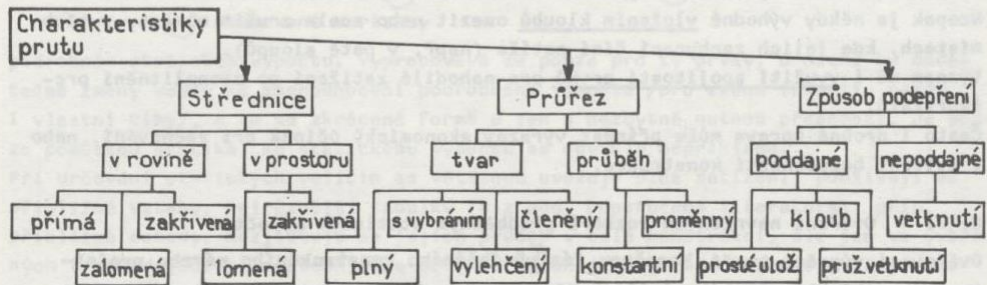
Charakteristika betonových prvků - příklad



Charakteristika betonových prvků - příklad



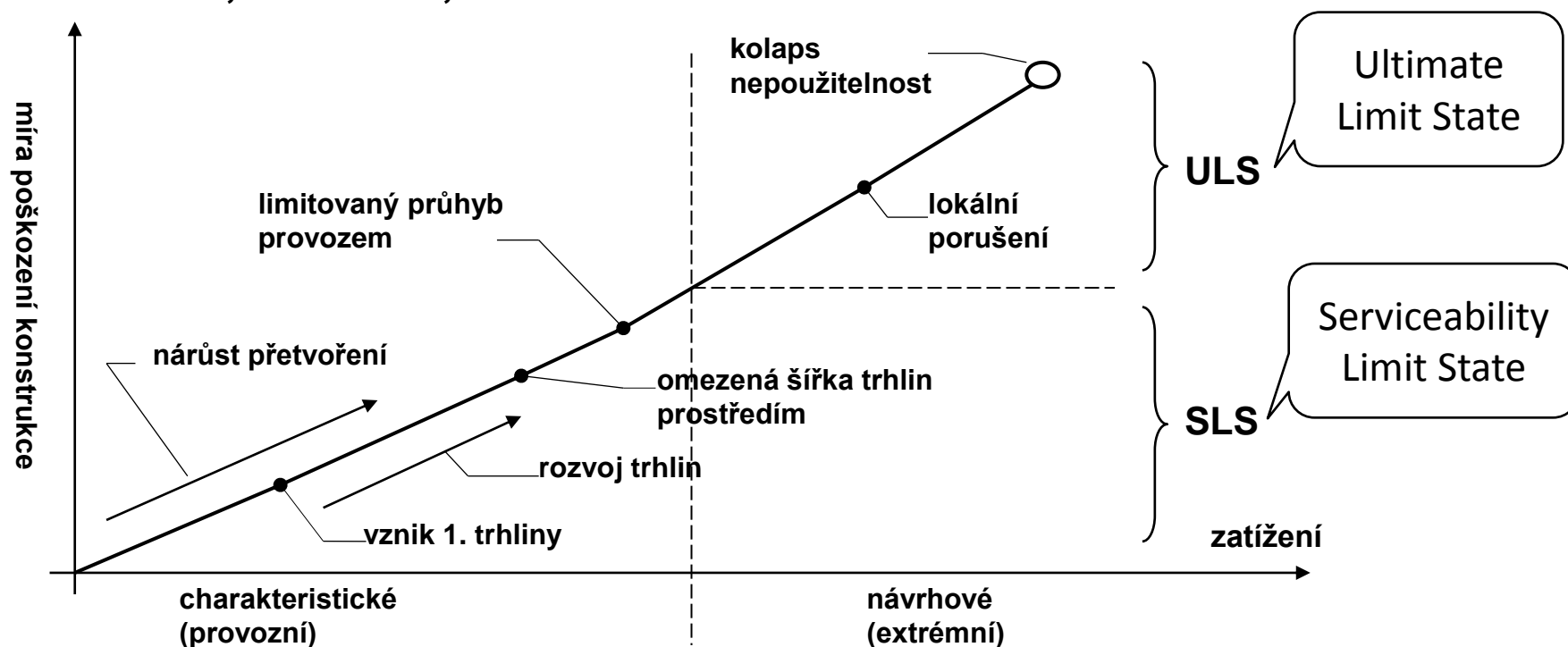
Prutové prvky		Plošné prvky		Prostor. prvky	
①② 	sloup ① 	①⑥⑦ 	stěna ⑥ 	těleso ⑪ 	
② 	trám ② 	②⑦ 	deska ⑦ 	⑪ 	
② 	lomenice ③ 	①③⑧ 	lomenice ⑧ 	⑥⑦ 	
①③ 	oblouk ④ 	①④⑨ 	skořepina valcová ⑨ 	⑨ 	
⑤⑦ 	prostorové zakřivení ⑤ 	①④⑩ 	skořepina s dvoji křivostí ⑩ 	⑩ 	



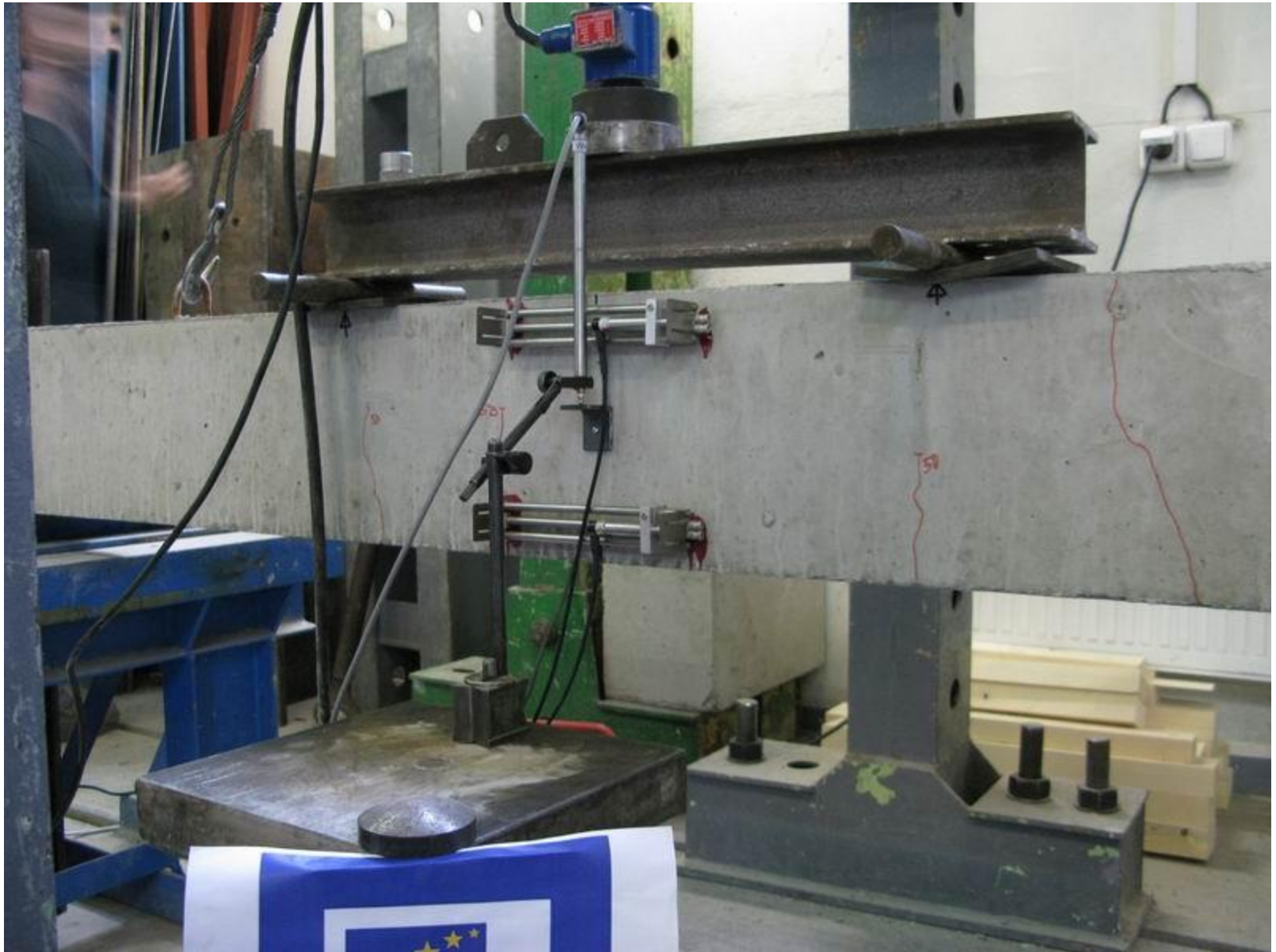
Zásady navrhování - všeobecně

- **postup při navrhování** – koncepční návrh, analýza konstrukce, dimenzování a konstruování – možné opakování postupu
- **úkoly teorie konstrukcí** – určení postupů pro stanovení vlivů zatížení, určení vztahů mezi zatížením a vlastnostmi konstrukce s cílem ji nadimenzovat
- **spolehlivost konstrukce** - schopnost konstrukce plnit požadované funkce

Stavová charakteristika objektu konstrukce: limitní (mezní) stavy – použitelnost, únosnost, trvanlivost

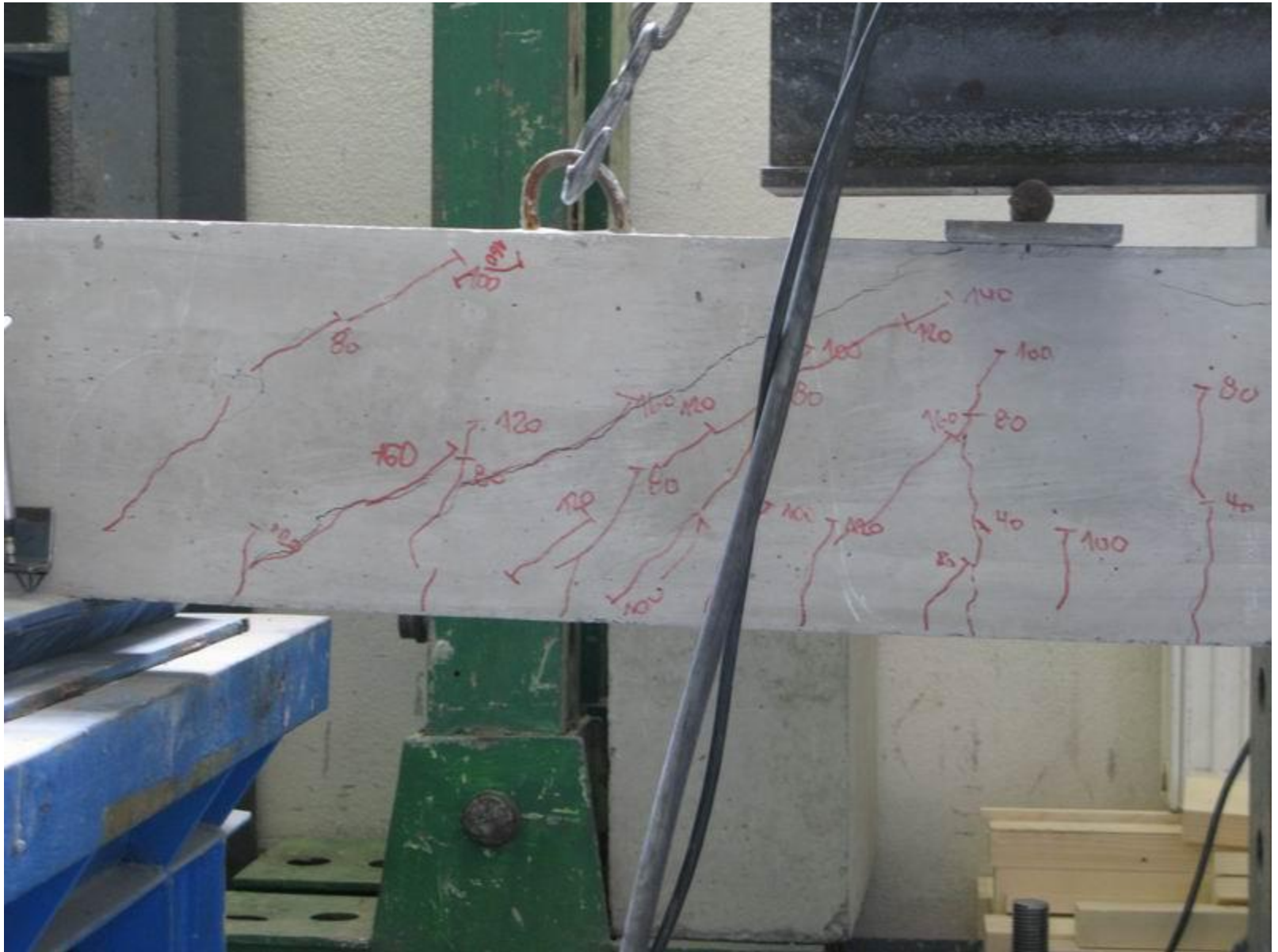




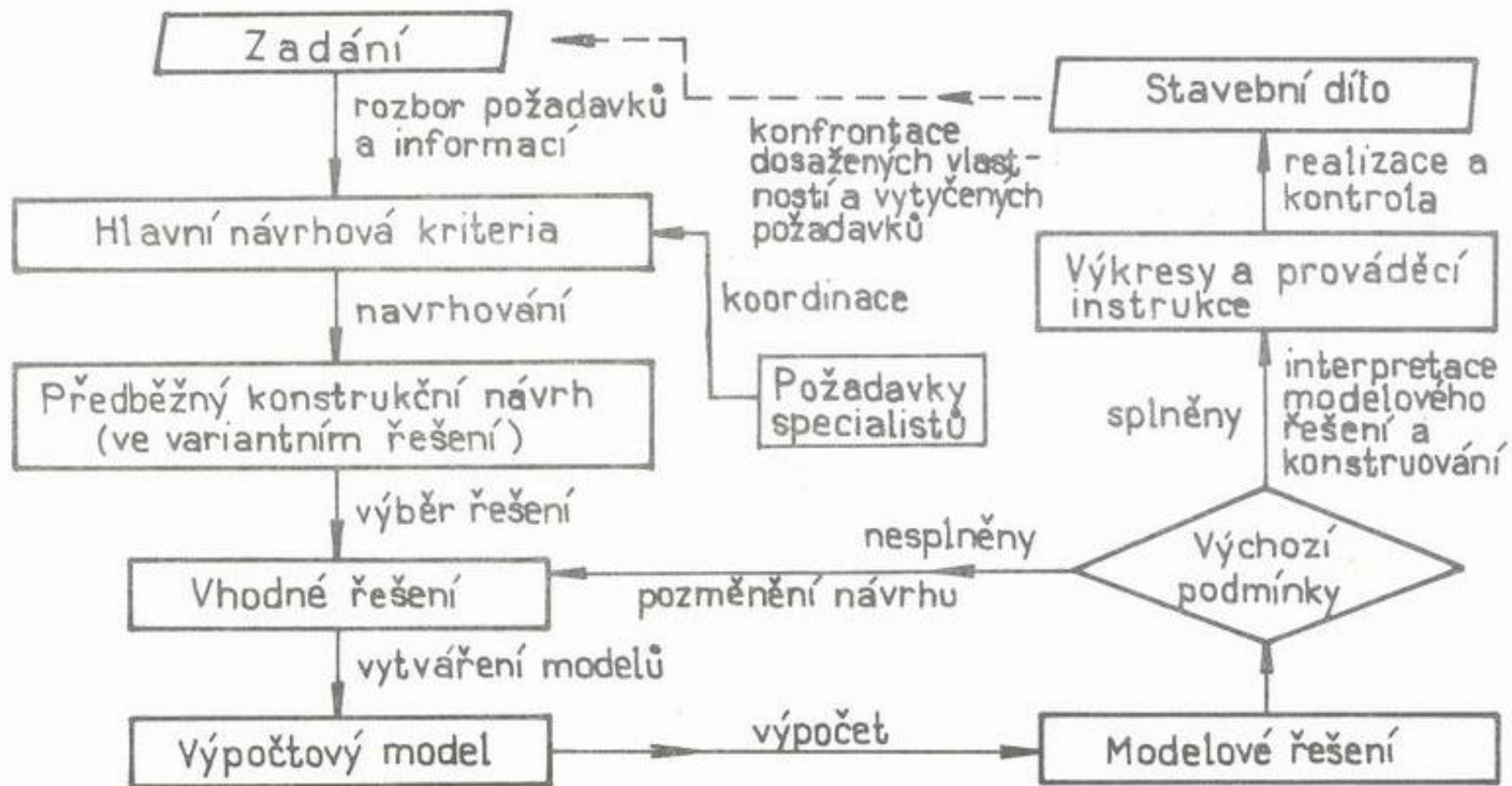












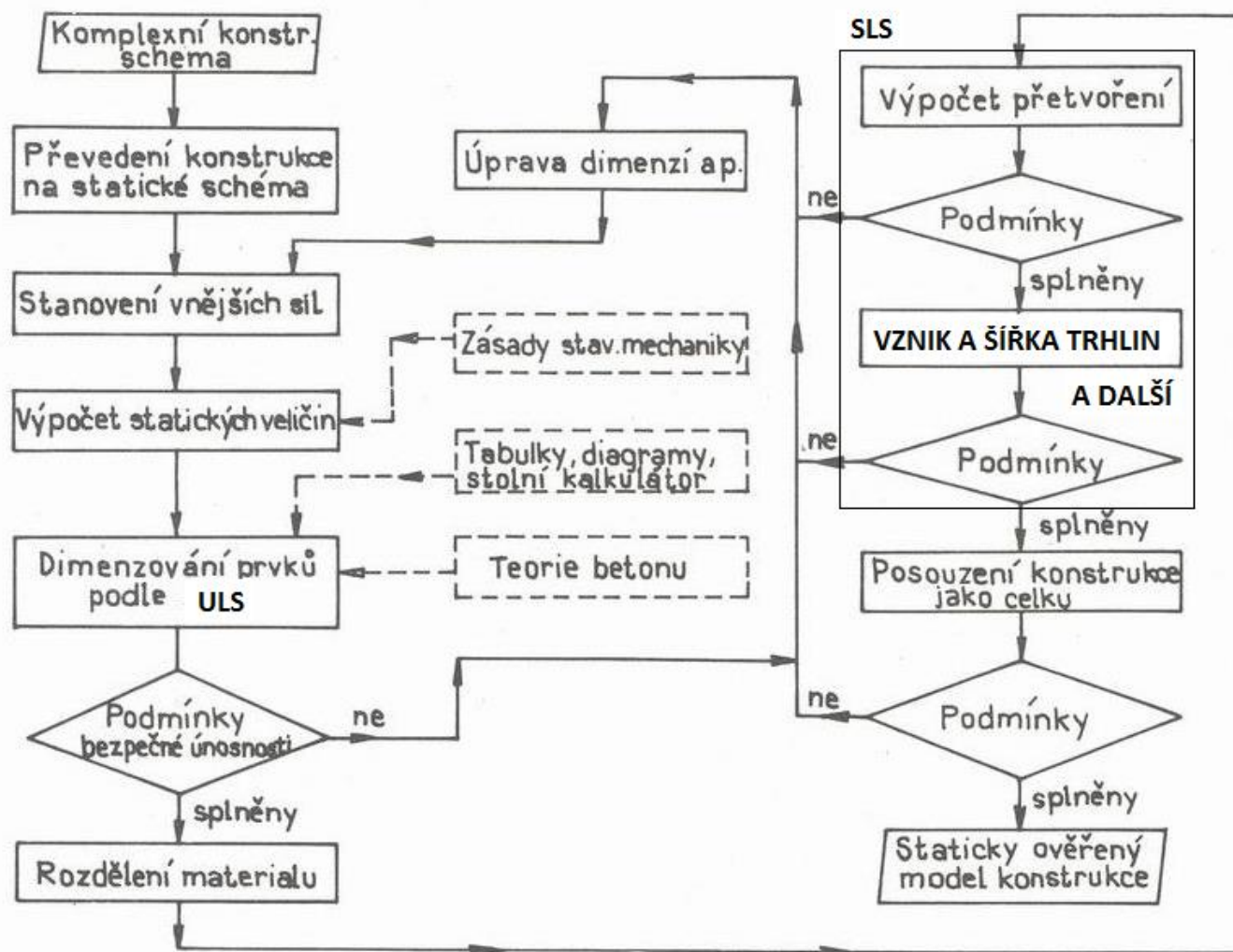


Schéma statického řešení

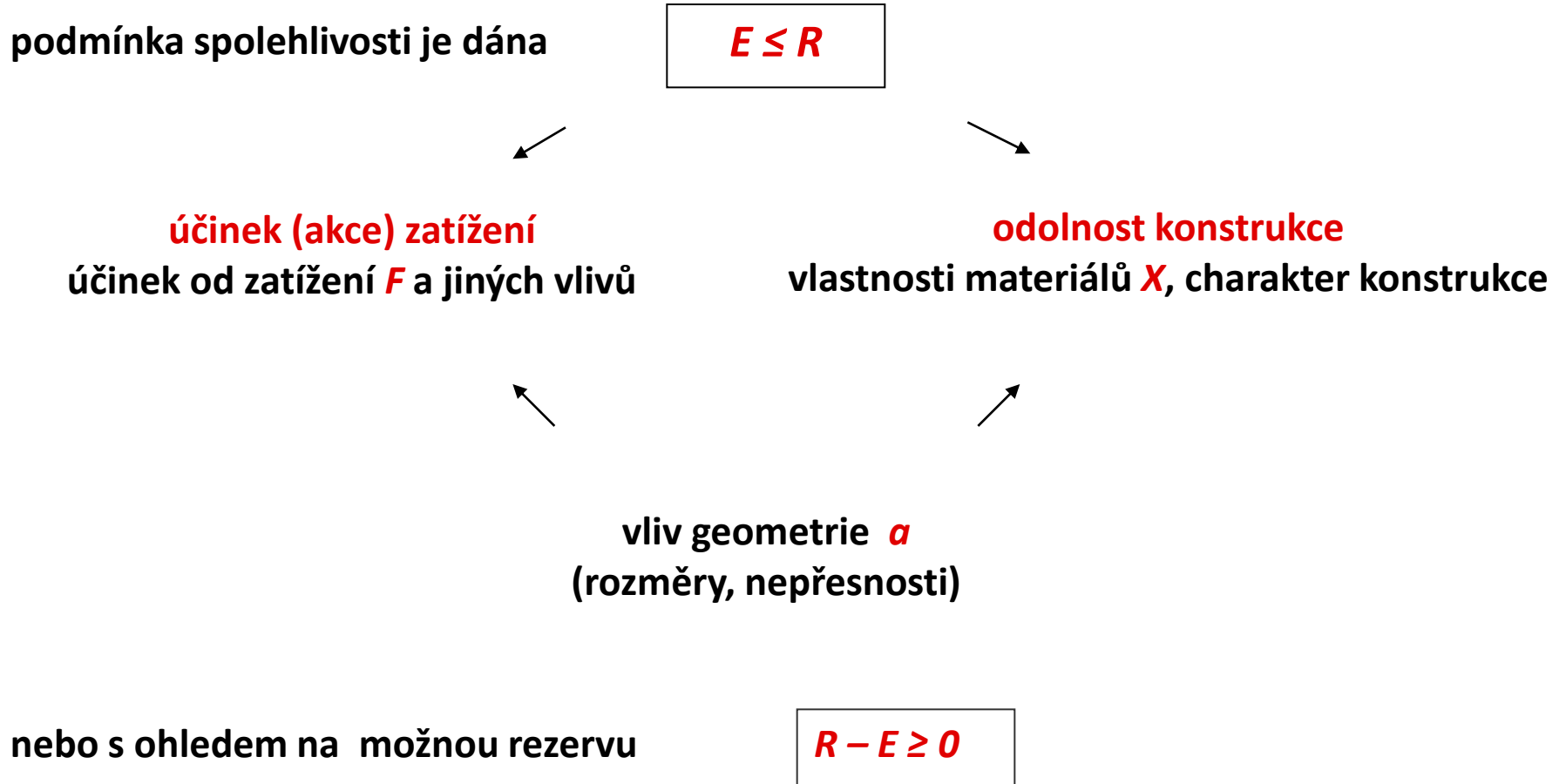
EN 1990 Eurokód(0): Zásady navrhování konstrukcí

EN 1991 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí

EN 1992 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí

Zásady navrhování - všeobecně

- Základní kritéria pro navrhování konstrukcí – spolehlivost, hospodárnost, ekonomická spolehlivost



Zásady navrhování - nástroje

- **Návrhová životnost** – předpokládaná doba užívání
- **Odpovídající trvanlivost** – zajištění správné funkce konstrukce po celou dobu její životnosti

Kategorie	Návrhová doba životnosti (v rocích)	Příklady
1	10	Dočasné konstrukce ⁽¹⁾
2	10-25	Vyměnitelné nosné části, např. jeřábové nosníky, ložiska
3	15-30	Zemědělské a podobné konstrukce
4	50 ⁽²⁾	Budovy a ostatní běžné stavby
5	100	Monumentální budovy, mosty a další inženýrské stavby

⁽¹⁾ Konstrukce nebo části konstrukcí, jež mohou být demontovány s předpokladem, že mohou být opět použity, se nemají považovat za dočasné.

⁽²⁾ V ČR se v kategorii 4 uvažuje návrhová životnost 80 let.

Návrhová životnost je předpokládaná doba, po kterou má být konstrukce nebo její část používána pro zamýšlený účel při běžné údržbě, avšak bez nutnosti zásadnější opravy. ČSN EN 1990 uvádí jako informativně 5 kategorií návrhové životnosti.

Velký význam pro proces navrhování konstrukcí mají tzv. „**Návrhové situace**“. V ČSN EN 1990 je tento pojem precizně definován jako „*soubor fyzikálních podmínek, které reprezentují skutečné podmínky v určitém časovém intervalu, pro který se návrhem prokazuje, že příslušné mezní stavy nejsou překročeny.*“ Pro běžné vnímání je však jistě dostačující vlastní pojem „Návrhové situace“ a jejich následující vymezení. ČSN EN 1990 rozeznává:

Trvalé návrhové situace, které se vztahují k podmínkám běžného používání.

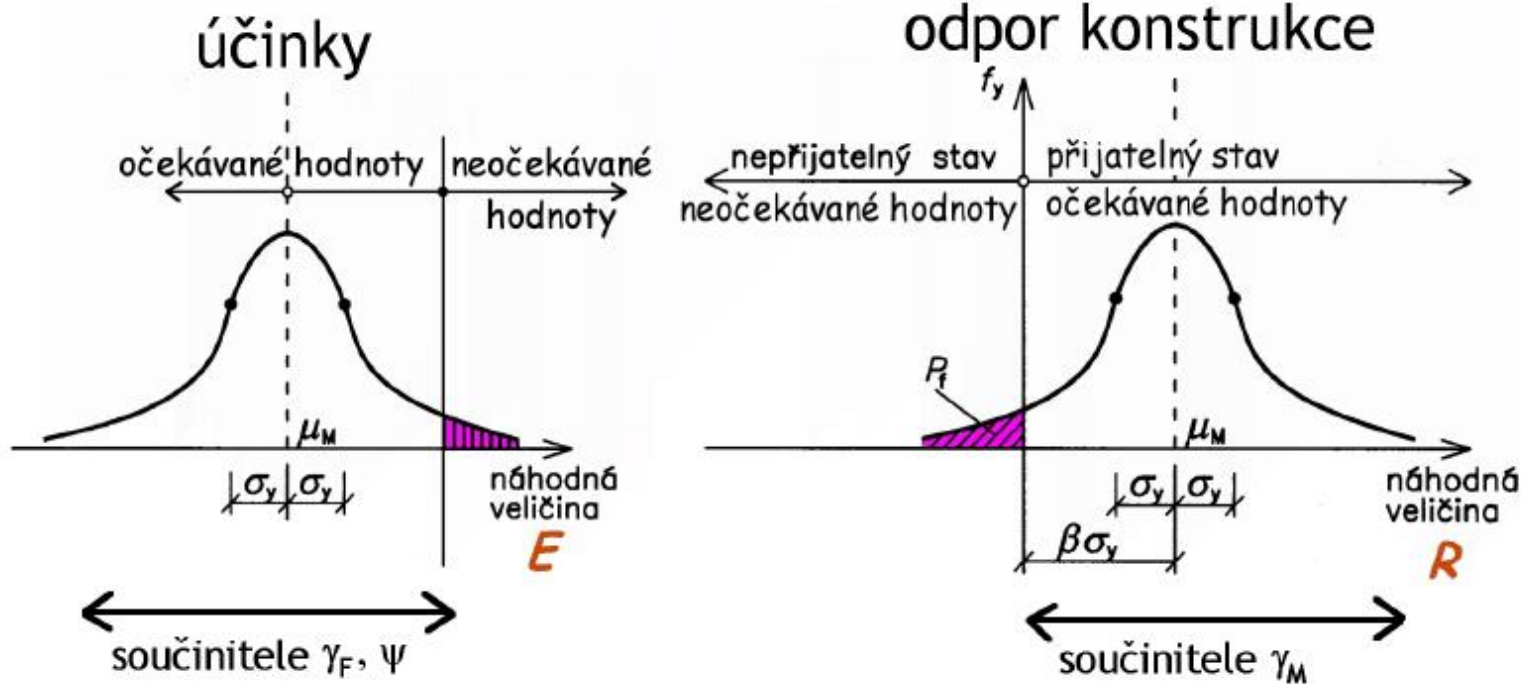
Dočasné návrhové situace vztahující se k dočasným podmínkám, kterým může být konstrukce vystavena, např. během výstavby nebo opravy.

Mimořádné návrhové situace vztahující se k výjimečným podmínkám, kterým může být konstrukce vystavena, např. požár, výbuch, náraz nebo následky omezených poruch.

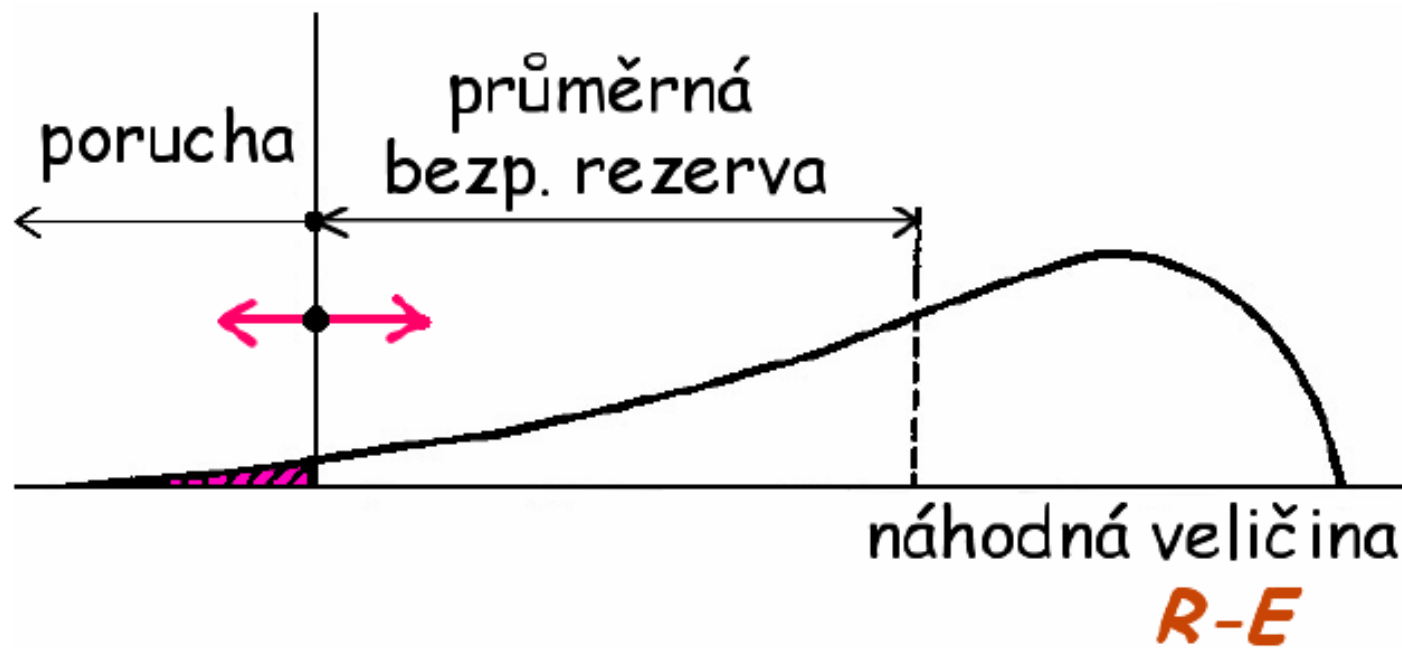
Seismické návrhové situace vztahující se k podmínkám, kterým může být konstrukce vystavena během seismických událostí.

Zásady navrhování - nástroje

- návrhové situace – trvalé, dočasné, mimořádné, seismické
- nejistoty spolehlivosti návrhu – náhodní činitelé, nenáhodní činitelé, statistické parametry náhodných veličin – střední hodnota μ , směrodatná odchylka σ , index spolehlivosti $\beta = \mu / \sigma$
- dílčí součinitelé spolehlivosti γ pro zatížení, materiály, modely apod.

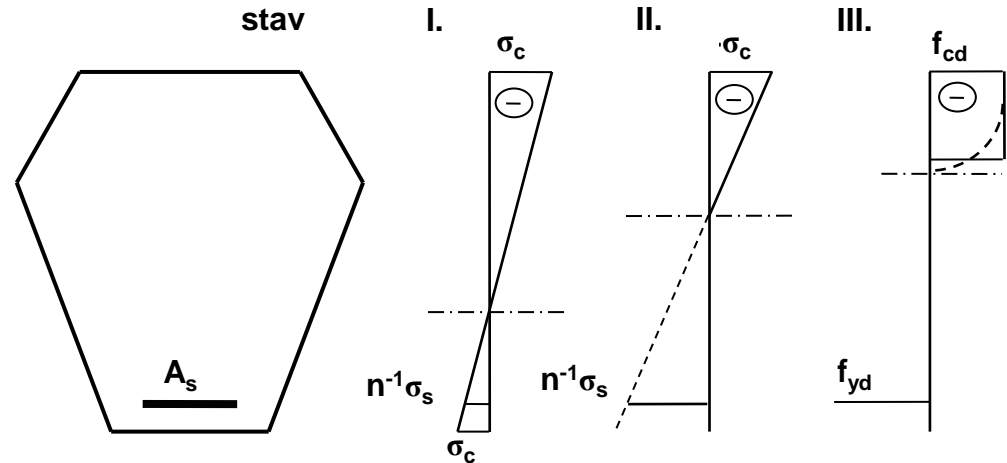


Rozdíl mezi předpokládaným odporem konstrukce a předpokládanými účinky $Z = R - E$ se nazývá „bezpečnostní rezerva“. Velikost bezpečnostní rezervy v podstatě určuje spolehlivost návrhu tj. pravděpodobnost poruchy



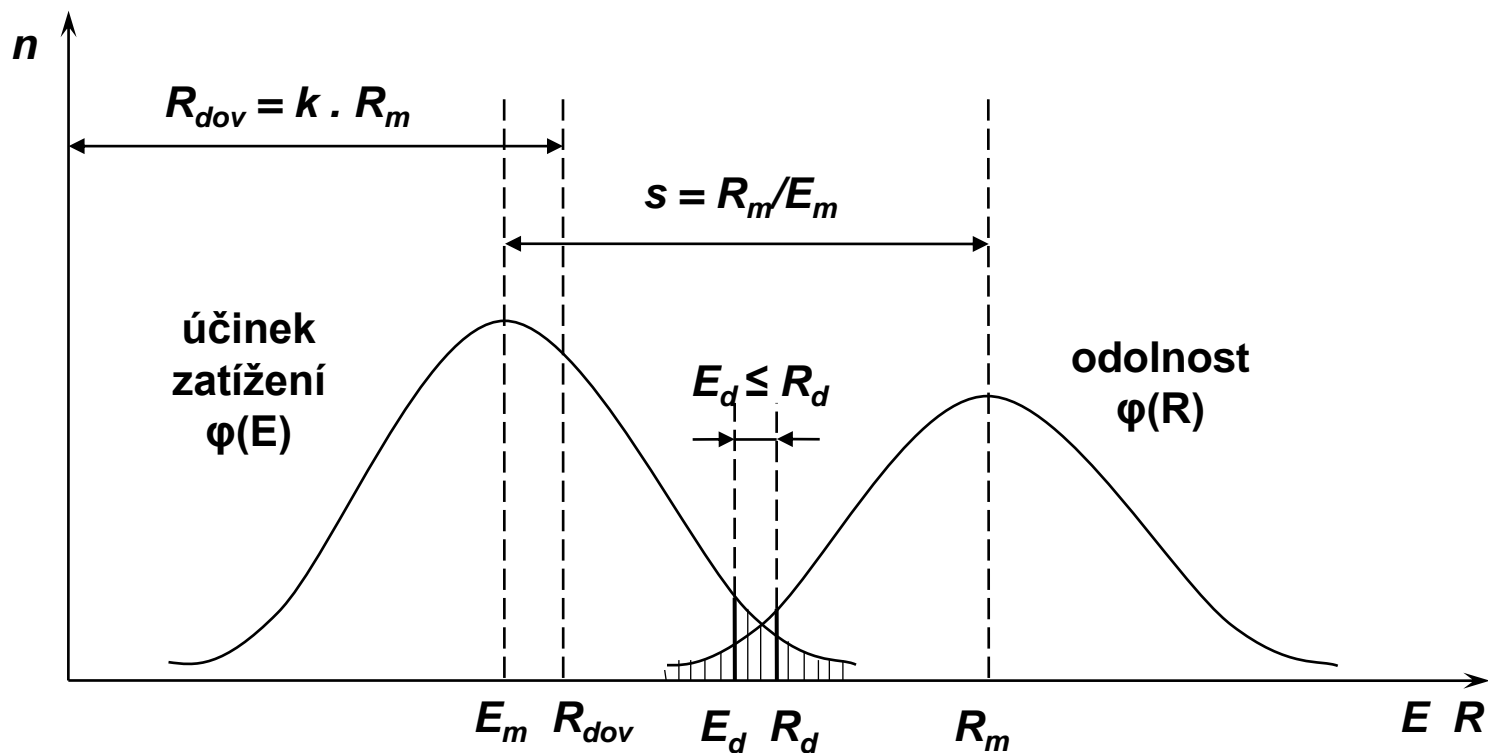
Zásady navrhování – metody navrhování

- **metody navrhování** – deterministické (dovolená namáhání, stupeň bezpečnosti), pravděpodobnostní (dnes jen polopravděpodobnostní) - mezní stavy



Metoda navrhování	Podmínka spolehlivosti		Poznámka
	únosnost	použitelnost	
dovolená namáhání	$\sigma_k \leq \sigma_{dov}$	$\alpha_k \leq \alpha_{dov}$	$\sigma_{dov} = f_m / k$
stupeň bezpečnosti	$s \cdot E_k \leq R_m$	$\alpha_k \leq \alpha_{dov}$	s je předepsaný stupeň bezpečnosti
mezní stavy	$E_d \leq R_d$	$E_d \leq C_d$	použití γ

Zásady navrhování – metody navrhování



dovolená namáhání

$$E_m \leq R_{dov}$$

stupeň bezpečnosti

$$s = R_m / E_m \geq s_{norm}$$

mezní stavy

$$E_d \leq R_d$$

- navrhování na základě zkoušek – nejsou k dispozici výpočetní modely

Zásady navrhování – metoda mezních stavů

- **mezní stavy únosnosti**

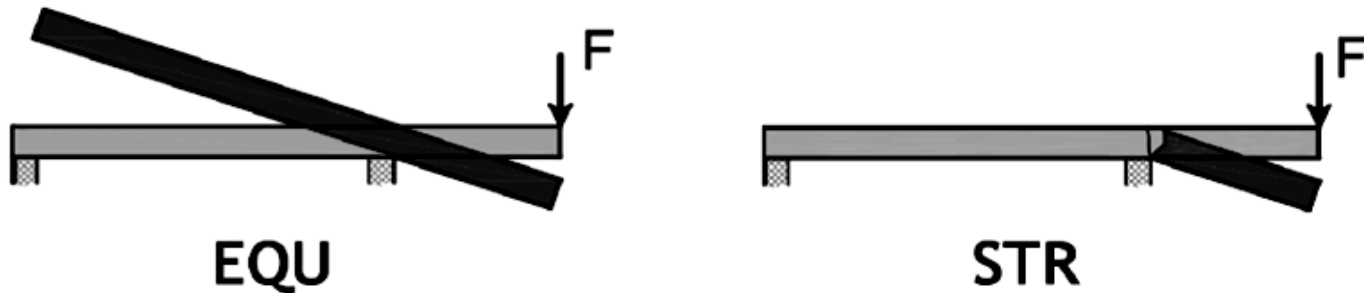
týkají se bezpečnosti, stavy před zřícením:

EQU – ztráta statické rovnováhy $E_{d,dst} \leq E_{d,st}$

STR – porucha porušením nebo nadměrným přetvořením $E_d \leq R_d$

GEO – jako STR, ale od základové půdy $E_d \leq R_d$

FAT – porucha únavou $D_d \leq 1$



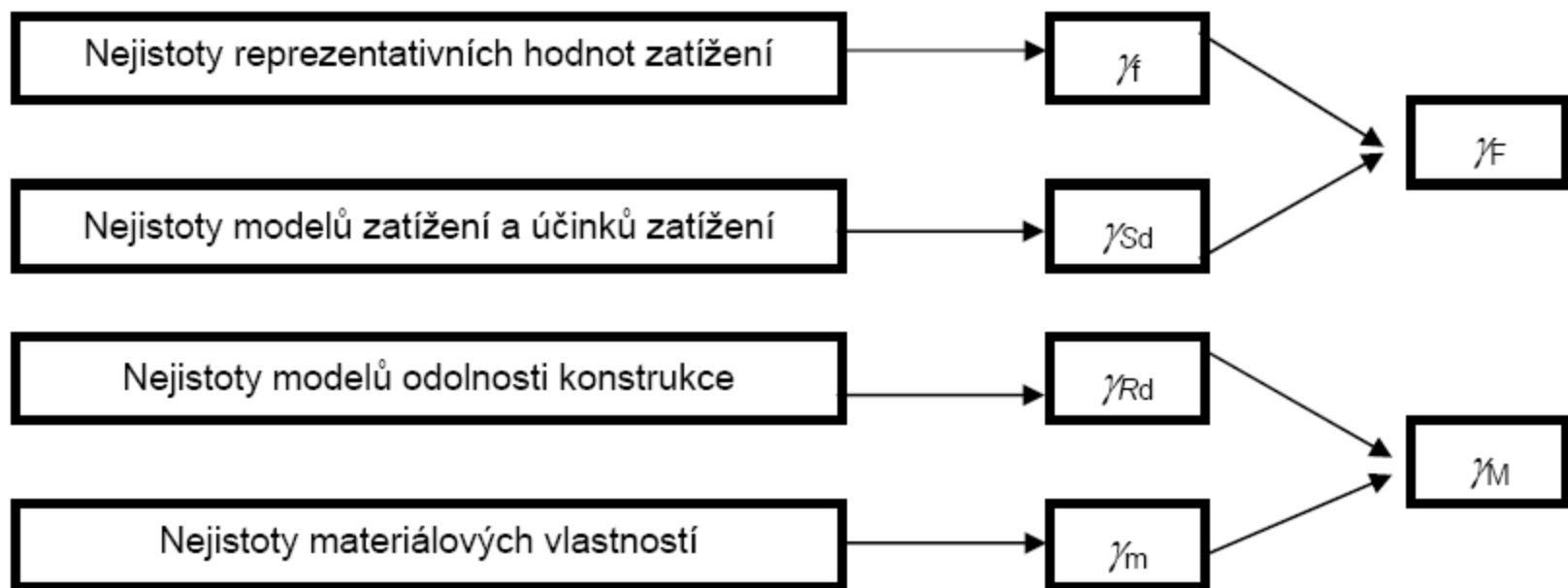
- **mezní stavy použitelnosti**

týkají se běžného užívání, pohody osob, vzhledu stavby
zahrnují **trhliny**, **přetvoření**, vibrace apod.

nevratné stavy – zůstanou překročeny i po odstranění zatížení

vratné stavy – nezůstanou překročeny po odstranění zatížení

- **jiné mezní stavy** (např. **trvanlivost**) – zatím se nekontrolují, uplatňují se pouze **konstrukční ustanovení**



Vztahy mezi jednotlivými dílčími součiniteli

Zásady navrhování – diferenciacce spolehlivosti

Diferenciacce podle tříd následků, indexu spolehlivosti β , dílčích součinitelů:

Třídy následků (spolehlivosti)	Popis	Příklady pozemních nebo inženýrských staveb	Minimální hodnoty β	Faktor K_{Fi} pro zatížení
			Referen.doba 1 rok/50 let	
CC3 (RC3)	Velké následky s ohledem na ztráty na lidských životů nebo významné následky ekonomické, sociální nebo pro prostředí	Stadióny, budovy určené pro veřejnost, kde jsou následky poruchy vysoké (např. koncertní sály)	5,2 / 4,3	1,10
CC2 (RC2)	Střední následky s ohledem na ztráty na lidských životů nebo značné následky ekonomické, sociální nebo pro prostředí	Obytné a administrativní budovy a budovy určené pro veřejnost, kde jsou následky poruchy středně závažné (např. kancelářské budovy).	4,7 / 3,8	1,00
CC1 (RC1)	Malé následky s ohledem na ztráty na lidských životů nebo malé / zanedbatelné následky ekonomické, sociální nebo pro prostředí	Zemědělské budovy, kam lidé běžně nevstupují (např. budovy pro skladovací účely, skleníky)	4,2 / 3,3	0,90

Zatížení – všeobecně, dělení zatížení

Zatížení je soubor účinků působících na konstrukce, dělí se podle kritérií:

- dle délky trvání zatížení – stálá (G, g), proměnná (Q, q) a mimořádná (A, a),
- dle původu – přímé (síly,...), nepřímé (vynucená přetvoření),
- z hlediska prostoru – pevné (např. stálé), volné (např. sníh, vítr)
- podle odezvy konstrukce – statické, dynamické

Rozhodující je dělení podle použití ve výpočtu:

- **reprezentativní hodnoty** zatížení:

$F_{rep} = \psi \cdot F_k$, kde $\psi = 1,0, \psi_0, \psi_1$ nebo ψ_2 ,

charakteristická hodnota $F_k \rightarrow G_{k,sup}, G_{k,inf}, Q_k$

kombinační hodnota $\psi_0 \cdot Q_k$ – pro ULS a nevratné SLS

častá hodnota $\psi_1 \cdot Q_k$ – pro ULS s mim.zat a vratné SLS

kvazistálá hodnota $\psi_2 \cdot Q_k$ – pro ULS a SLS

- **návrhové hodnoty** zatížení: $F_d = \gamma_F \cdot F_{rep}, G_d = \gamma_G \cdot G_k, G_d = \gamma_{G,sup} \cdot G_{k,sup},$

$G_d = \gamma_{G,inf} \cdot G_{k,inf}, Q_d = \gamma_Q \cdot \psi \cdot Q_k, A_d, A_{Ed} = \gamma \cdot A_{Ek}$ nebo A_{Ed} .

Umístění zatížení, zatěžovací stavy:

dle účinků – příznivý nebo nepříznivý, získání extrémních veličin,

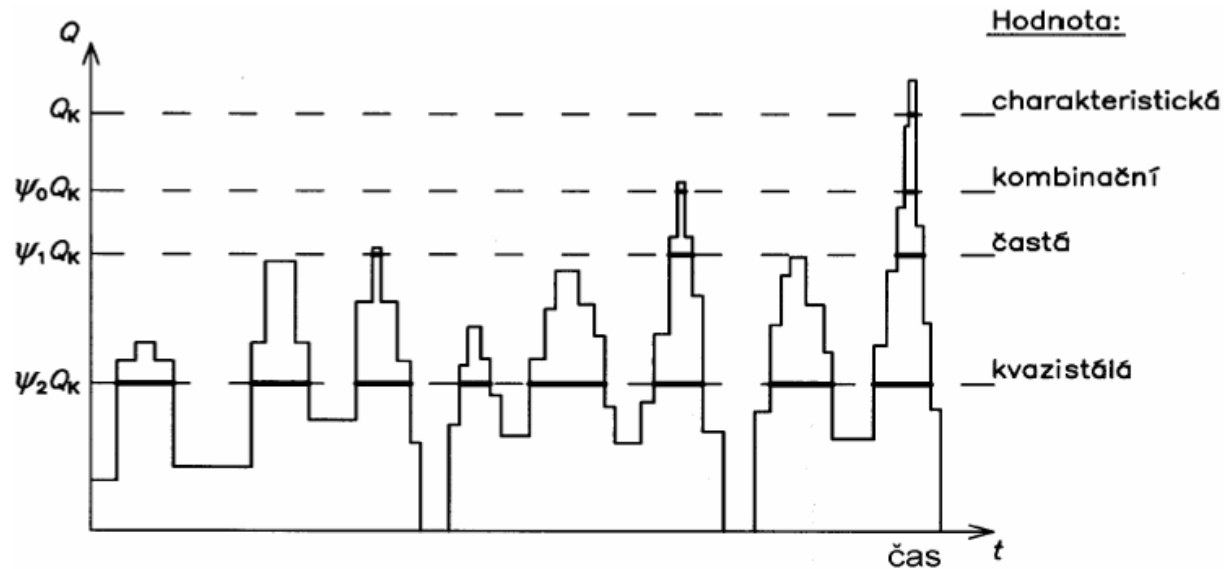
zatěžovací sestavy a stavy, u proměnného zatížení jedno zatížení

rozhodující = hlavní, ostatní vedlejší (jedno z nich nejúčinnější), redukce

velikosti proměnného zatížení dle zatěžované plochy, dle vzdálenosti od

průřezu, možnost zjednodušených umístění

Zatížení – všeobecně, dělení zatížení



Kombinační hodnota daná součinem $\psi_0 Q_k$, která se používá v mezních stavech únosnosti a v nevratných mezních stavech použitelnosti. Pomocí kombinačního součinitele ψ_0 se vyjadřuje pravděpodobnost současného výskytu několika nezávislých proměnných zatížení v jejich plné výši;

Častá hodnota daná součinem $\psi_1 Q_k$, která se používá v mezních stavech únosnosti zahrnujících mimořádná zatížení a v nevratných mezních stavech použitelnosti; např. pro budovy je častá hodnota volena tak, aby doba, ve které bude tato hodnota překročena, byla rovna 0,01 (1%) referenční doby.

Kvazistálá hodnota daná součinem $\psi_2 Q_k$, která se používá v mezních stavech únosnosti zahrnujících mimořádná zatížení a ve vratných mezních stavech použitelnosti. Kvazistálé hodnoty se používají též při výpočtu dlouhodobých účinků zatížení; např. u zatížení stropů budov je kvazistálá hodnota volena tak, aby doba, ve které bude tato hodnota překročena, byla rovna 0,50 (50%) referenční doby. Při zatížení větrem je $\psi_2 = 0$.

Hodnoty součinitelů ψ pro různé konstrukce a různá zatížení

Zatížení	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Kategorie užitných zatížení pro pozemní stavby (viz EN 1991-1-1):			
Kategorie A: obytné plochy	0,7	0,5	0,3
Kategorie B: kancelářské plochy	0,7	0,5	0,3
Kategorie C: shromažďovací plochy	0,7	0,7	0,6
Kategorie D: obchodní plochy	0,7	0,7	0,6
Kategorie E: skladovací plochy	1,0	0,9	0,8
Kategorie F: dopravní plochy tíha vozidla ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
Kategorie G: dopravní plochy 30 kN < tíha vozidla ≤ 160 kN	0,7	0,5	0,3
Kategorie H : střechy	0	0	0
Zatížení sněhem (viz EN 1991-1-3) ^{*)}			
Finsko, Island, Norsko, Švédsko	0,70	0,50	0,20
Ostatní členové CEN, pro stavby umístěné ve výšce $H > 1000$ m n.m.	0,70	0,50	0,20
Ostatní členové CEN, pro stavby umístěné ve výšce $H \leq 1000$ m n.m.	0,50	0,20	0
Zatížení větrem (viz EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Teplota (ne od požáru) pro pozemní stavby (viz EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
<i>Poznámka: Hodnoty ψ mohou být stanoveny v národní příloze.</i>			
<i>*) Pro země, které zde nejsou uvedené, se součinitele ψ stanoví podle místních podmínek.</i>			

Zatížení – kombinace účinků zatížení

Účinky jednotlivých zatížení se kombinují – symbol “+“ (čteme **v kombinaci**).

Rozeznáváme kombinace:

- **pro ULS**: pro trvalé a dočasné situace – **základní kombinace**, pro mimořádné situace - **mimořádná kombinace**, pro seismické situace (mimořádná se seismickým zatížením), pro únavové návrhové situace
- **pro SLS**: **charakteristická** (obvykle pro nevratné mezní stavy), **častá** (obvykle pro vratné mezní stavy), **kvazistálá** (pro dlouhodobé účinky a vzhled konstrukce)
Pro kombinace zatížení jsou předepsány určité předpisy (**soubor A, B, C, ...**).
Pro kombinace se používají různé hodnoty součinitelů zatížení a součinitelů ψ .

Hodnoty součinitelů zatížení závisí na druhu mezního stavu, na kombinačním předpisu, návrhové situaci a na příznivosti či nepříznivosti působení zatížení (obecně pro ULS jsou většinou rozdílné od 1,0 a pro SLS jsou většinou rovny 1,0).

Hodnoty součinitelů ψ závisí na druhu mezního stavu, návrhové situaci, kombinačním předpisu a na druhu proměnného zatížení (většinou jsou menší nebo rovny 1,0).

Mimo standardních kombinací je nutno u mezního stavu GEO uvažovat i tzv.

geotechnická zatížení.

Kombinace zatížení ovlivňují i **velikost součinitelů materiálů** (pro ULS jsou větší než 1,0 ; pro SLS jsou rovny 1,0).

Další podrobnosti viz příslušné normy, doporučená literatura a podklady a výklad ve cvičení.

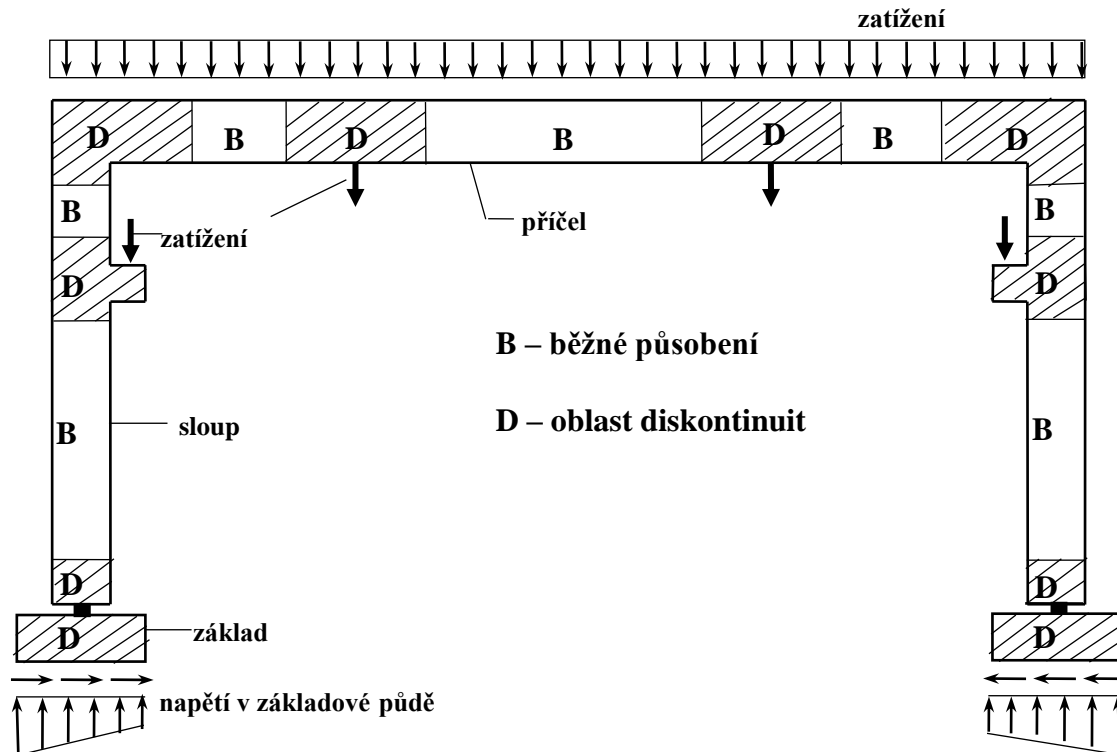
Idealizace konstrukcí a prvků - všeobecně

Analýzu konstrukce lze provádět:

globální výpočet konstrukce (B oblasti),

lokální výpočet částí konstrukce (tam, kde neplatí předpoklad lineárního rozdělení napětí, v oblastech diskontinuity – D oblasti, zde je porušen ustálený tok vnitřních sil – oblasti namáhané soustředěnou silou, styky konstrukčních prvků, části konstrukce s otvory, náhlá změna průřezu, atd.).

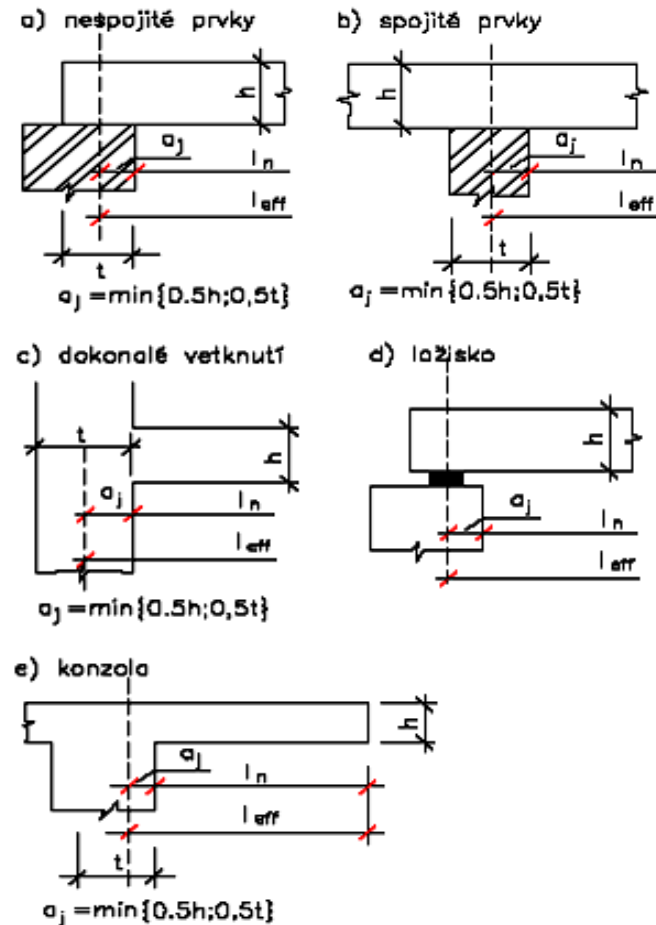
Příklad oblastí pro globální a lokální analýzu u rámové konstrukce:



Idealizace konstrukcí a prvků - geometrie

Idealizace geometrie konstrukce zahrnuje idealizaci konstrukce či prvků a uložení:

- idealizace pro konkrétní hmotný prvek – trám, sloup, deska, stěna, střednice, střednicová rovina,
- idealizace uložení – prosté uložení, plné vetknutí, částečné vetknutí,
- idealizace rozpětí (účinné rozpětí):
 $l_{eff} = l_n + a_1 + a_2$, kde $a_i = \min \{t/2; h/2\}$,
- u spojitých nosníků se předpokládá volné natáčení podpor, u spojitých nosníků s menší výškou a u širších vnitřních podpor mohou vzniknout dvě teoretické podpory – dá se řešit jako spojitý nosník resp. jako soustava vetknutých nosníků – při návrhu výztuže je však nutno šířku podpory respektovat



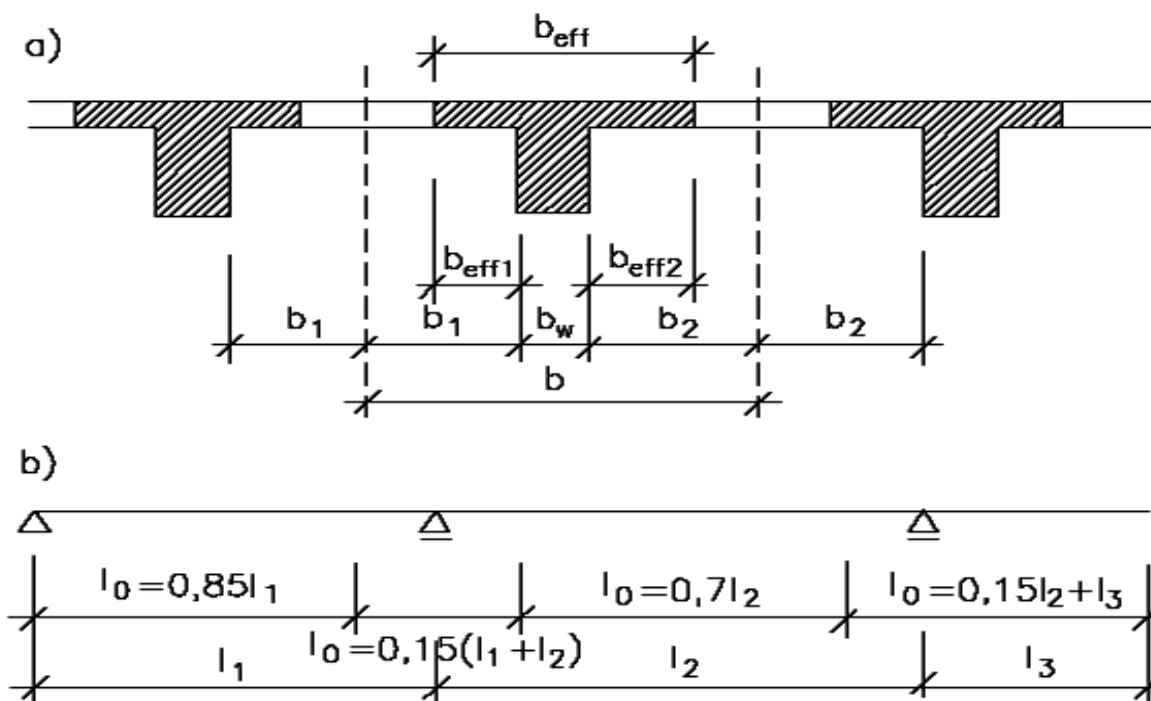
Stanovení účinného rozpětí trámů a desek

Idealizace konstrukcí a prvků - spolupůsobení

Spolupůsobení desky s trámem (příruby se stěnou) :

→ spolupůsobící šířka desky (pro tlačenu i taženou oblast prvku):

$$b_{eff} = \sum b_{eff,i} + b_w \leq b, \quad \text{kde } b_{eff,i} = 0,2 b_i + 0,1 l_0 \leq 0,2 l_0, \quad b_{eff,i} \leq b_i$$

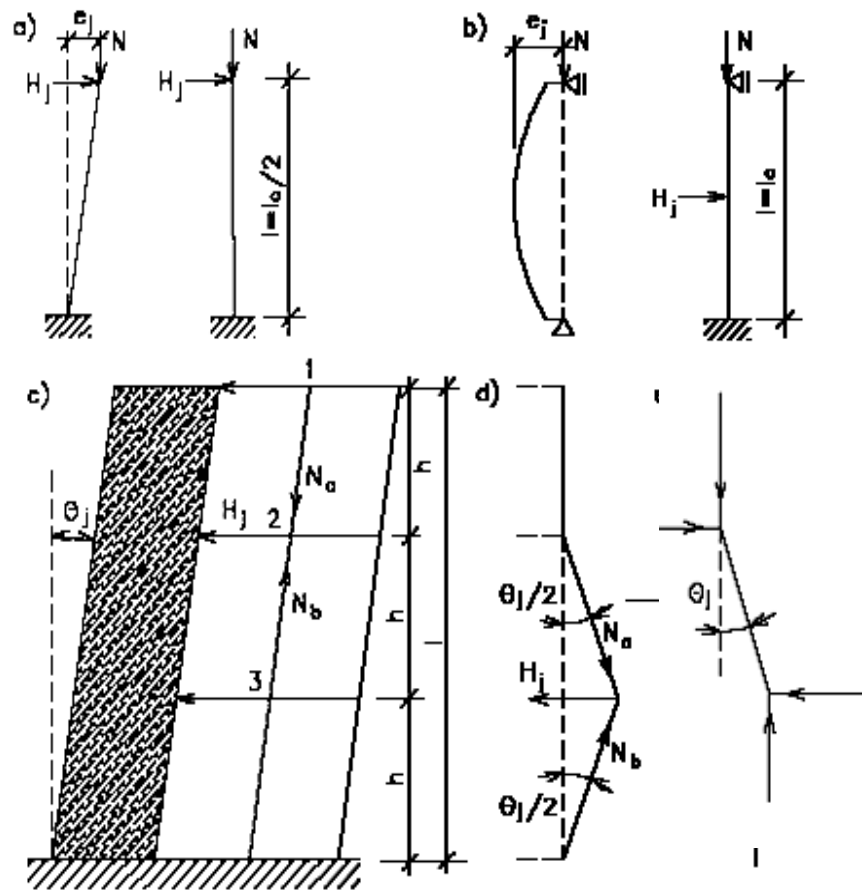


: Deskový trám a) stanovení spolupůsobící příruby, b) určení l_0 pro $l_1/l_2 = 2/3$ až $1,5$; $l_3 < 0,5l_2$

Idealizace konstrukcí a prvků - imperfekce

Zavedení geometrických imperfekcí:

- zahrnují nepřesnosti v geometrii konstrukce a v umístění zatížení (ostatní imperfekce jsou zahrnuty jinak),
- u ULS se musí uvažovat, u SLS ne,
- mohou být zavedeny pomocí úhlu odklonu od svislice θ_i nebo u samostatných prvků pomocí výstřednosti $e_i = \theta_i \cdot l_0 / 2$, kde l_0 je účinná délka,
- pro stěny a osamělé prvky ve ztužených systémech lze zjednodušeně brát $e_i = l_0 / 400$,
- mohou být zavedeny i pomocí příčných sil H_i v místě, kde vyvodí maximální moment v rozhodujícím průřezu.



Účinky geometrických imperfekcí: a) osamělý prvek neztužený, b) osamělý prvek ztužený, c) konstrukční systém ztužený, d) tuhá stropní deska, e) tuhá střešní deska

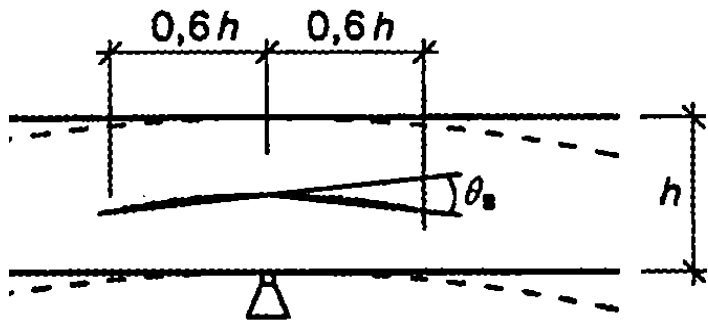
Statická analýza konstrukcí - metody

- **lineárně pružná analýza** – lze použít pro vyšetřování MSÚ i MSP. Pro stanovení silových účinků zatížení – průřez bez trhlin, lineární pracovní diagramy betonu i oceli, střední hodnoty modulu pružnosti. Pro stanovení teplotních deformací, sedání a účinků smršťování v MSÚ lze uvažovat zredukované tuhosti. Pro MSP – má být uvažován vliv rozvoje trhlin. Výpočet je jednoduchý ale může vést u staticky neurčitých konstrukcí k nevhodnému návrhu.
- **lineárně pružná analýza s omezenou redistribucí** – může být použita v MSÚ za předpokladu, že redistribuované momenty budou v rovnováze s působícím zatížením a budou splněny podmínky týkající se možného přetvoření plastických oblastí. Obvykle se připouští u staticky neurčitých prutových konstrukcí zajištěných proti vodorovnému posunu a u nosníkových desek. Podmínky pro použití redistribuce - viz dále ověření míry redistribuce δ .
- **plastická analýza** – lze použít u ověřování MSÚ. Pro stanovení únosnosti je třeba vyšetřovat nejnepříznivější plastický mechanismus a ověřovat dostatečnou plastickou rotační kapacitu v kritických oblastech.
- **analýza použitím modelů náhradní příhradoviny** – plastická analýza vyšetřování MSÚ nosníků, desek, stěnových nosníků, krátkých konzol. Zásady budou na jedné z dalších přednášek.
- **nelineární analýza** – výpočet za předpokladu nelineární závislosti účinku zatížení a křivosti – tzn. že rovnováha je uvažována na přetvořené konstrukci (účinky 2. řádu) tedy geometrická nelinearita. Vliv nelinearity pracovních diagramů, vliv trhlin, dotvarování betonu, ...

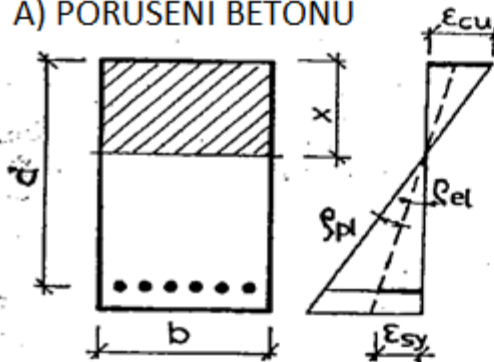
Statická analýza konstrukcí – redistribuce sil

Podmínky použití redistribuce:

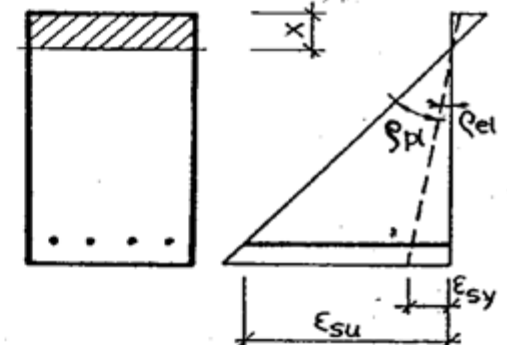
- jedná se o **přesun statických veličin** z více do méně namáhaných průřezů,
- musí být zachována rovnováha sil,
- kritické průřezy musí mít dostatečnou **duktilitu (schopnost se přetvářet)** – nahrazují podmínky kompatibility, tato schopnost je zajištěna v místech, kde tahové napětí ve výztuži překračuje mez kluzu,
- uplatňuje se tzv, **plastické natočení** kritického průřezu θ_s , které ale musí být menší než přípustná hodnota $\theta_{pl,d}$ (závisí přímo na plastickém pootočení průřezu ρ_{pl} , na délce plastické oblasti a a na součiniteli vlivu smykové štíhlosti k_λ)
- míra plastického pootočení také závisí na množství výztuže a tím i na výšce tlačené oblasti betonu x .



A) PORUŠENÍ BETONU

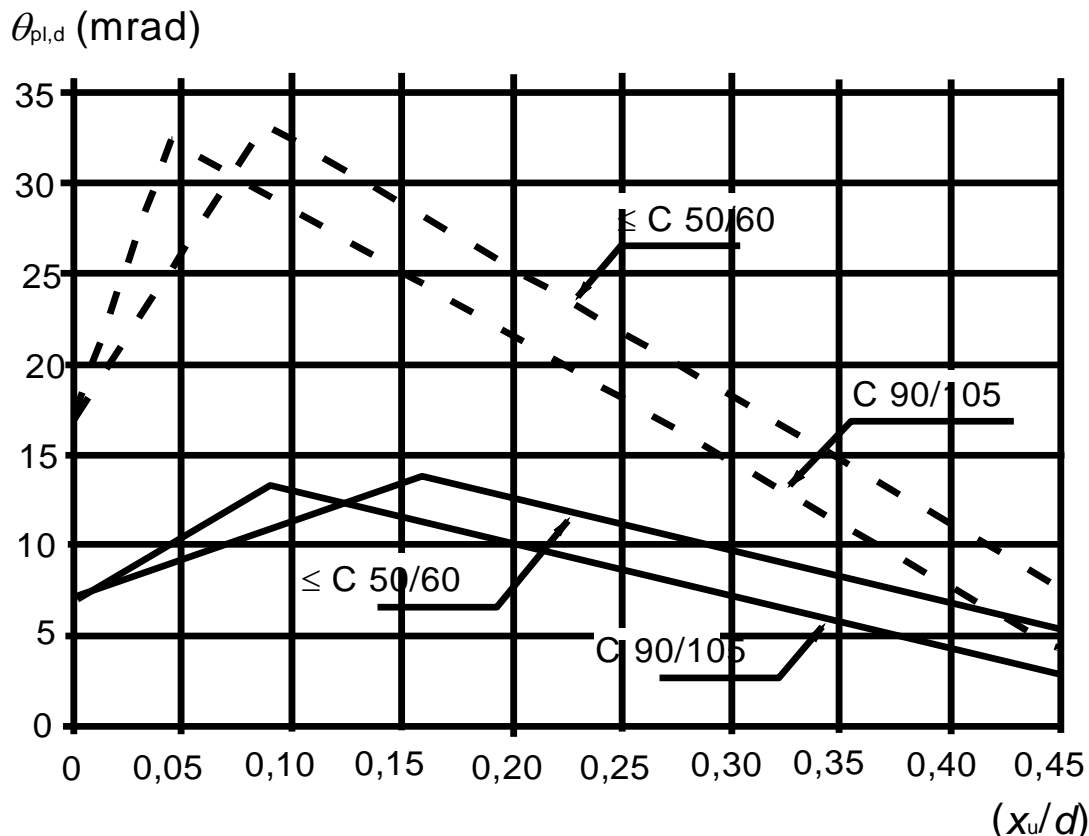


B) PORUŠENÍ VÝZTUŽE



Statická analýza konstrukcí – redistribuce sil

Přípustné plastické natočení $\theta_{pl,d}$ – základní hodnota pro $k_\lambda = 3$ v závislosti na poměru x_u / d , kde x_u je pro průřez s již redistribuovaným momentem - plně pro ocel třídy B a čárkovaně pro ocel třídy C.



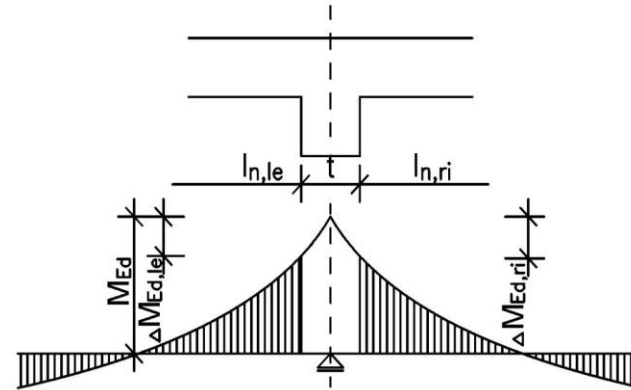
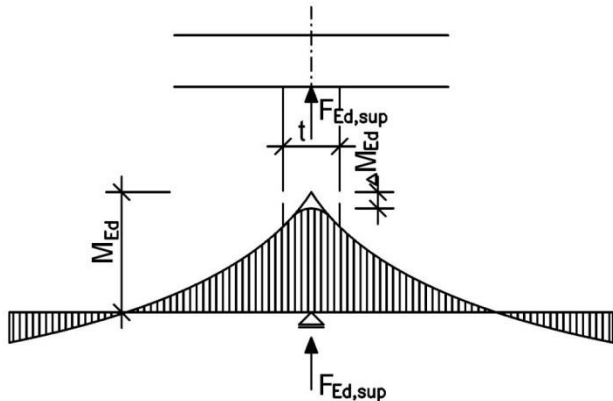
Statická analýza konstrukcí – redistribuce sil

Omezení redistribuce pro lineárně pružnou analýzu:

Omezení redistribuce (v místě plastického kloubu) při jejím neuplatnění:	
$\frac{x_u}{d} \leq 0,45$ pro betony s $f_{ck} \leq 50$ MPa	$\frac{x_u}{d} \leq 0,35$ pro betony s $f_{ck} > 50$ MPa
Možnosti použití omezené redistribuce:	
$\delta \geq k_1 + k_2 \frac{x_u}{d}$, pro betony s $f_{ck} \leq 50$ MPa	$\delta \geq k_3 + k_4 \frac{x_u}{d}$, pro betony s $f_{ck} > 50$ MPa
$\geq 0,7$ při použití oceli třídy tažnosti B a C, $\geq 0,8$ při použití oceli třídy tažnosti A	
Doporučené hodnoty k_1, k_2, k_3, k_4 jsou: $k_1 = 0,44$, $k_2 = 1,25 \cdot (0,6 + 0,0014/\epsilon_{cu2})$ $k_3 = 0,54$, $k_4 = 1,25 \cdot (0,6 + 0,0014/\epsilon_{cu2})$	
<p>kde</p> <p>δ – poměr momentu po redistribuci $M_{Ed,u}$ k momentu z lineárně pružného výpočtu M_{Ed}</p> <p>x_u – vzdálenost neutrální osy od tlačného okraje v mezním stavu únosnosti pro redistribuovaný moment</p> <p>d – účinná výška průřezu</p> <p>ϵ_{cu2} - mezní přetvoření betonu v tlaku pro parabolicko-rektangulární návrhový pracovní diagram.</p>	

Statická analýza konstrukcí – redukce momentů

U prvků (trámů a desek), které probíhají spojitě nad podporou, lze redukovat velikost momentů – dáno rozdílem mezi bodovou a reálnou podporou.



Prvek probíhající spojitě nad vnitřní podporou (za předpokladu volného pootočení podpory a při rozpětí rovnajícím se vzdálenosti středů podpor)

$$M_{Ed,red} = M_{Ed,sup} - \Delta M_{Ed}, \Delta M_{Ed} = F_{Ed,sup} * t / 8,$$

M dosazovat kladné

$F_{Ed,sup}$ – návrhová hodnota podporové reakce

t – šířka podpory

Při monolitickém spojení s podporou (krajní, vnitřní)

$$M_{Ed,red} = \max \{ M_{Ed,fac} ; 0,65 M_{Ed,fix} \},$$

$M_{Ed,fac} \approx M_{Ed,sup} - V_{Ed} * t/2$, vlevo i vpravo od podpory,

M i V dosazovat kladné

Kritický návrhový moment lze uvažovat hodnotou v lici podpory - $M_{Ed,fac}$, mim. však 0,65 hodnoty při dokonalém vetknutí - $0,65 M_{Ed,fix}$