



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební
Ústav betonových a zděných konstrukcí, Veveří 95, 662 37 Brno

Nosné konstrukce II

AF01

2. přednáška

Železobetonové
monolitické rámové
konstrukce



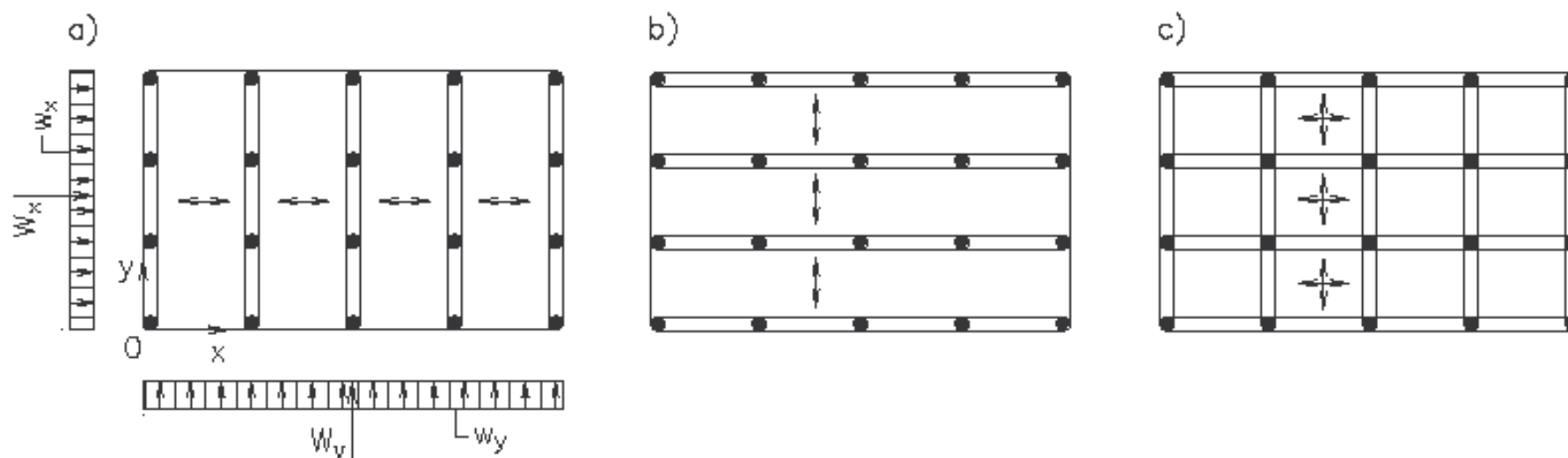
Steel-and-concrete frame of Science Building, Point Grey (ca. 1915)
(UBC Archives Photo #1.1/406)

Literatura:

- Čírtek, Ladislav: Betonové konstrukce I, modul CS1, Betonové konstrukce prutové opory pro kombinované studium, VUT v Brně, FAST (odtud převzata většina textu a obrázků)
- Čírtek, Ladislav: Betonové konstrukce II, Konstrukce prutové a základové, VUT v Brně, FAST, VUTIUM Brno 1999

Konstrukce patrových rámu

Betonový skelet se skládá z konstrukcí vodorovných (tj. stropních, střešních konstrukcí), svislých (tj. sloupů, stěn) a základových (např. základových patek, pásů). *Soustava příčlů a sloupů podporovaných základy tvoří rám.* Betonové rámy se většinou navrhují ze železobetonu. Při velkých vzdálenostech sloupů je výhodné *příčle předpínat* technologií buď dodatečně předpjatého betonu (u monolitických nebo montovaných rámu) nebo předem předpjatého betonu (u montovaných rámu). Statickým účelem rámu je bezpečně a spolehlivě vzdorovat všem účinkům zatížením.



Uspořádání rámu: a) příčné, b) podélné, c) obousměrné

Schopnost jednosměrných rámu vzdorovat účinkům větru ve směru kolmém k rovině rámu je velmi malá; v tomto směru se *vodorovná tuhost skeletu zajišťuje ztužujícími stěnami nebo jádry*

Přestože skeletové systémy

působí ve skutečnosti prostorově, lze patrové rámy vyšetřovat zjednodušeně jako samostatné rámy, zatížené pouze ve své rovině.

Zatížení

Na rámy působí:

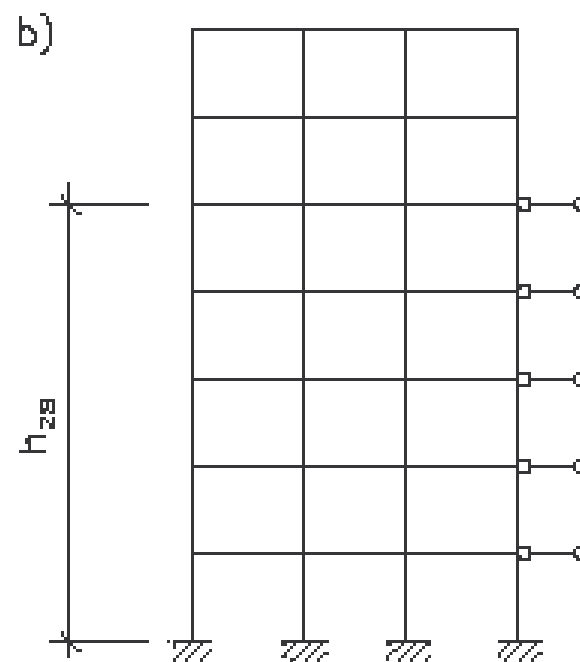
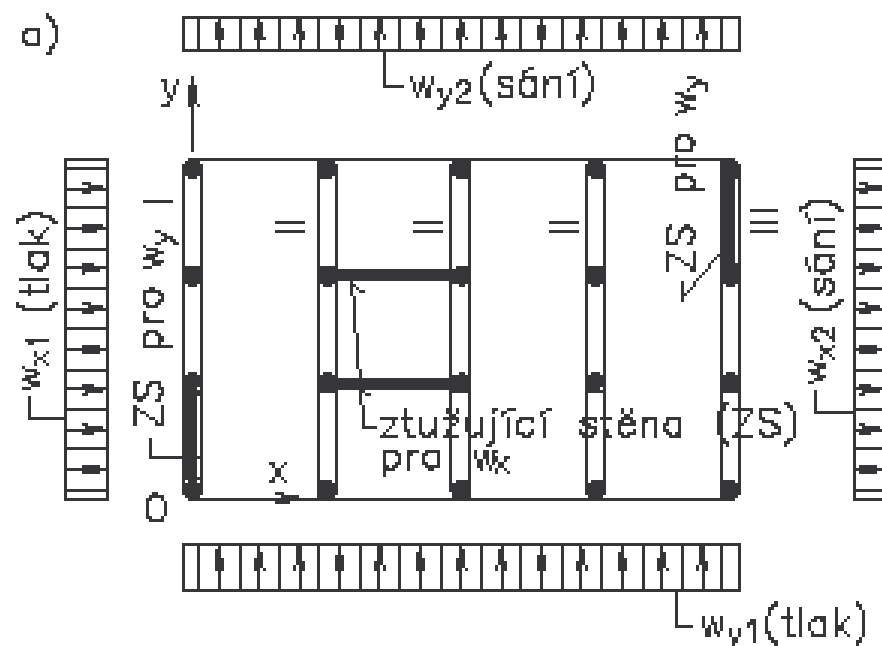
- stálá zatížení, tj. hmotnost střešních a stropních konstrukcí, příček, obvodového pláště atd.;
- užitná nahodilá zatížení a to *rovnoměrná* nebo *zatížení stroji a technologickým zatížením*. Zatímco rovnoměrná zatížení pro objekty bytové a objekty občanského vybavení uvádí ČSN EN 1991-1-1 [17], zatížení stroji a výrobní technologií předepisuje statikovi projektant strojní technologie;
- klimatická zatížení a to *sněhem, větrem* příp. *námrazou*. Zatížení větrem se projevuje složkou *statickou* (tj. tlak a sání na budovu) a *dynamickou* (tj. kmitání konstrukce ve směru větru). Zatímco výpočet konstrukce na složku větru statickou se provádí vždy, je nutno účinek složky dynamické prokázat pouze u vyšších budov;

- zatížení od vynucených přetvoření, tj. teplotami, smršťováním a dotvarováním betonu, příp. účinky nerovnoměrných sedání základů;
- seismická zatížení;
- mimořádná zatížení, např. výbuchem v těch objektech, kde exploze nesmí nosnou konstrukci zničit (budovy pro zbrojní a chemickou výrobu, budovy velvyslanectví aj.).

*V obvyklých případech postačí uvažovat pouze zatížení stálá, užitná nahodilá a zatížení klimatická sněhem a větrem. Pro výpočty *mezních stavů porušení* se uvažují návrhová zatížení a pro výpočty *mezních stavů použitelnosti* se uvažují charakteristická zatížení.*

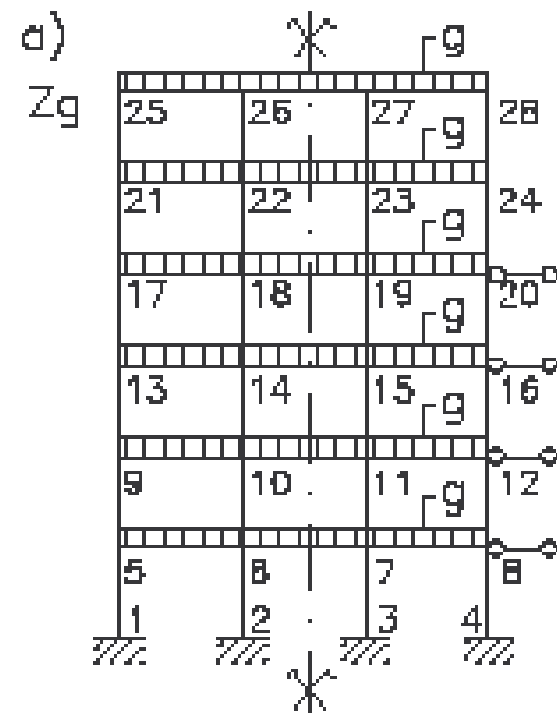
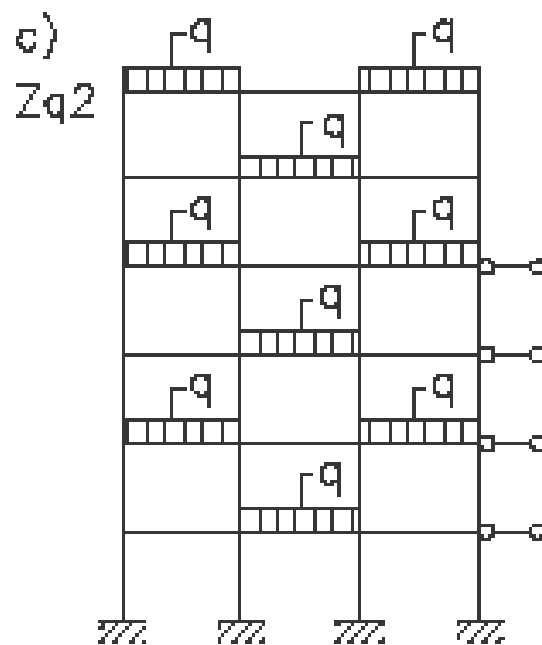
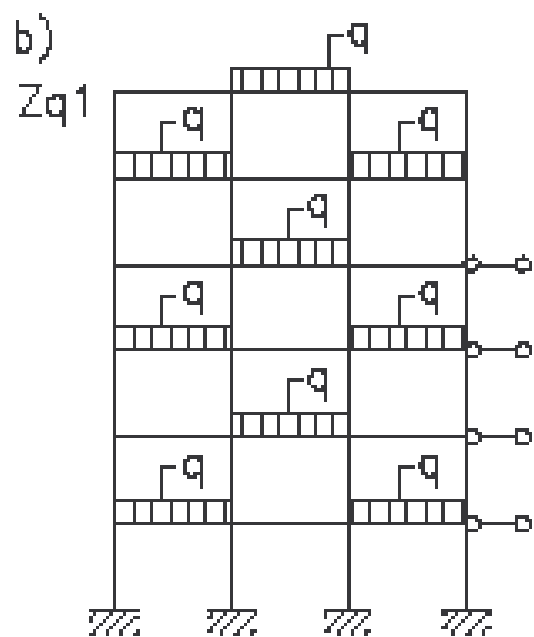
Výpočet statických veličin

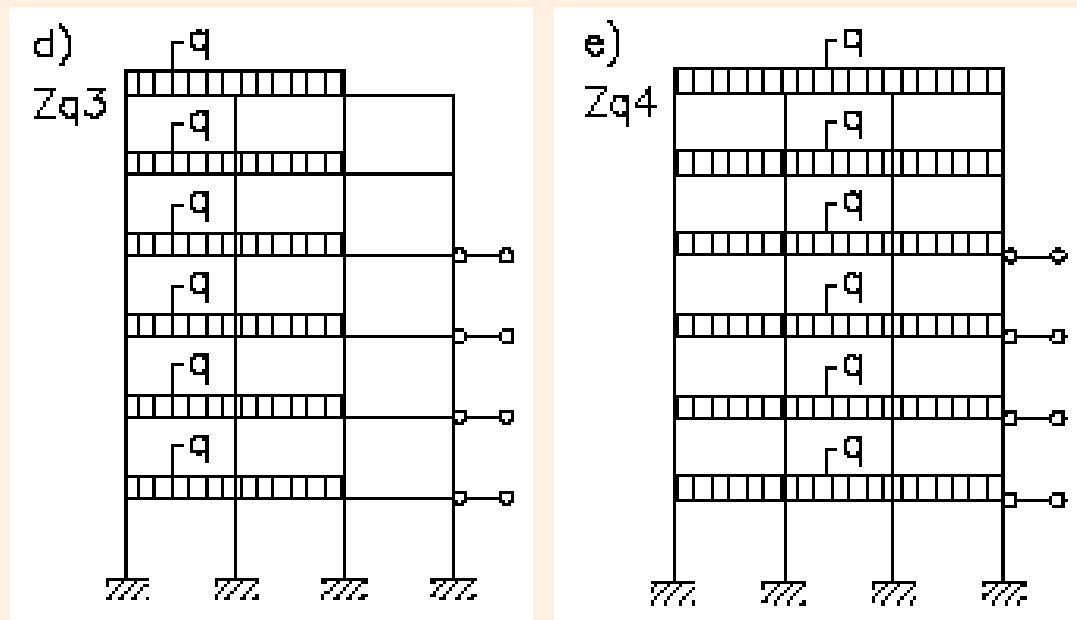
Statické schéma rámu se vytvoří spojením střednic příčlív a sloupů. Je-li rám vyráběn jako *monolitický*, jsou *spojení jeho prvků dokonalá*. V běžných případech se uvažují též dokonalá vetknutí sloupů do základů.



Uspořádání stálých a nahodilých zatížení se volí takové, aby se získaly extrémy maximálních a minimálních statických veličin - ohybových momentů M , posouvajících sil V a normálových sil N .

Protože pro výpočet statických veličin je přípustné uvažovat fyzikálně lineární výpočtový model, lze provést výpočet řady zatěžovacích stavů patrového rámu a takto získané statické veličiny je přípustné sčítat.



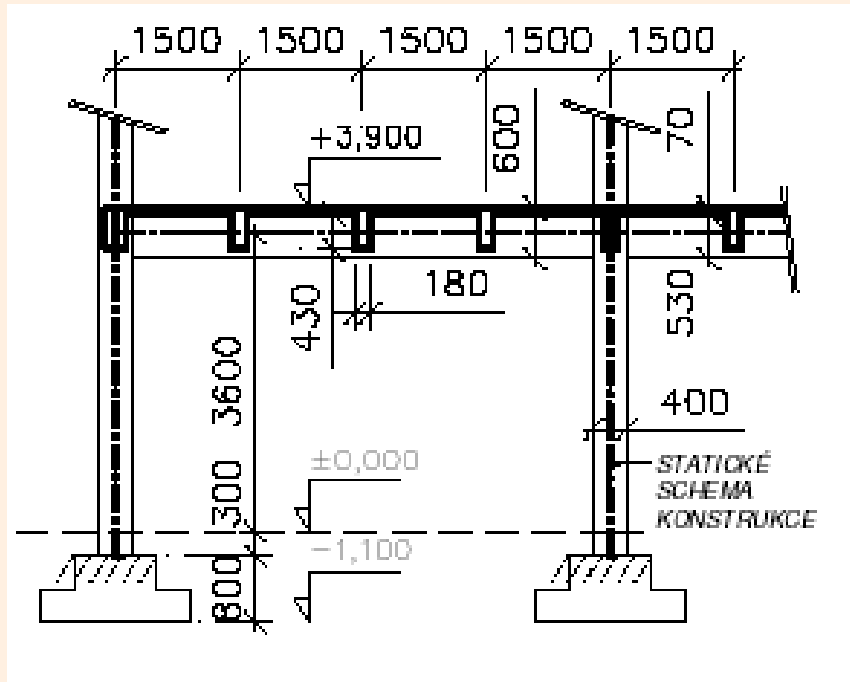


Dimenzování rámu se provádí z hlediska mezního stavu (MS) porušení momentem a normálovou silou a MS porušení posouvající silou. Dále se prověřuje splnění podmínek MS použitelnosti (trhliny, deformace).

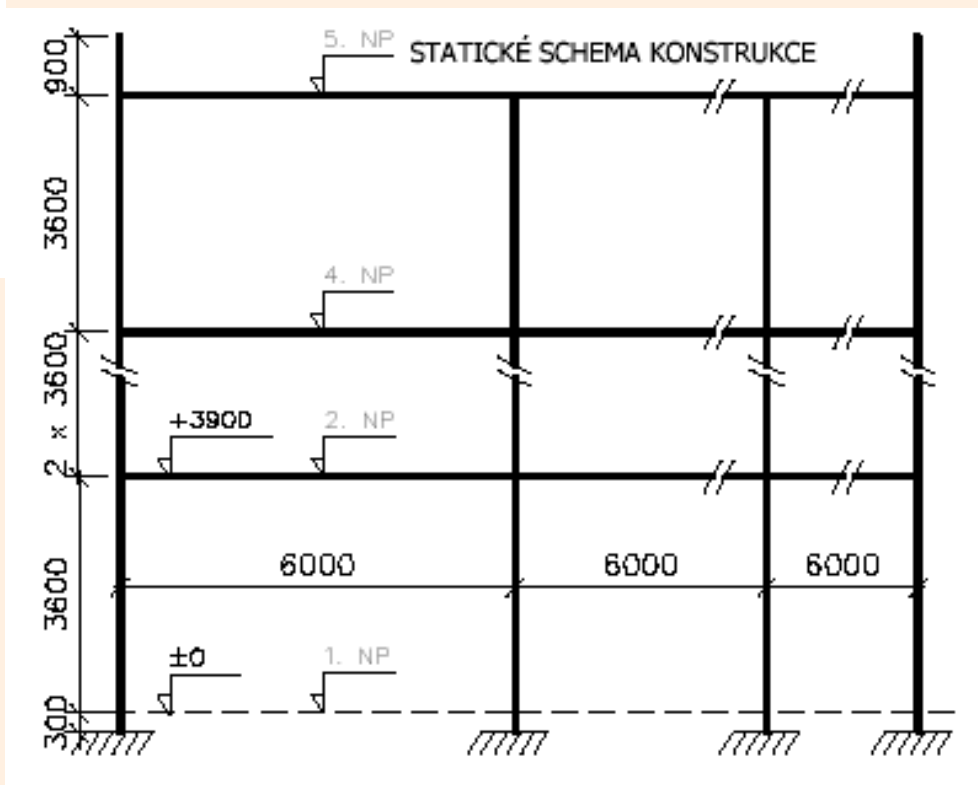
Příčel rámu se dimenzuje nejprve na obálku ohybových momentů (tj. extrémy maxima a minima momentů z množiny momentů vypočtených ze stejné množiny možných kombinací zatížení) a poté na obálku posouvajících sil. Při *dimenzování na ohyb* (tj. MS porušení ohybovým momentem) se dimenzují nejprve ty průřezy (tzv. *kritické průřezy*) v každém poli a nad každou podporou, které jsou extrémně namáhané.

Dimenzování příčle v jiných než kritických průřezích se provede obvykle grafickou metodou tzv. *rozdělením materiálu*, kdy obrazec vnějších tahových sil $F_{Ed} = M_{Ed}/z$ od ohybu vykrýváme vnitřními silami F_R ($F_R \leq F_{Rd}$). Zde z je rameno vnitřních sil v průřezu, M_{Ed} návrhová hodnota momentu od zatížení, F_R výslednice normálového tahového napětí v betonářské vložce.

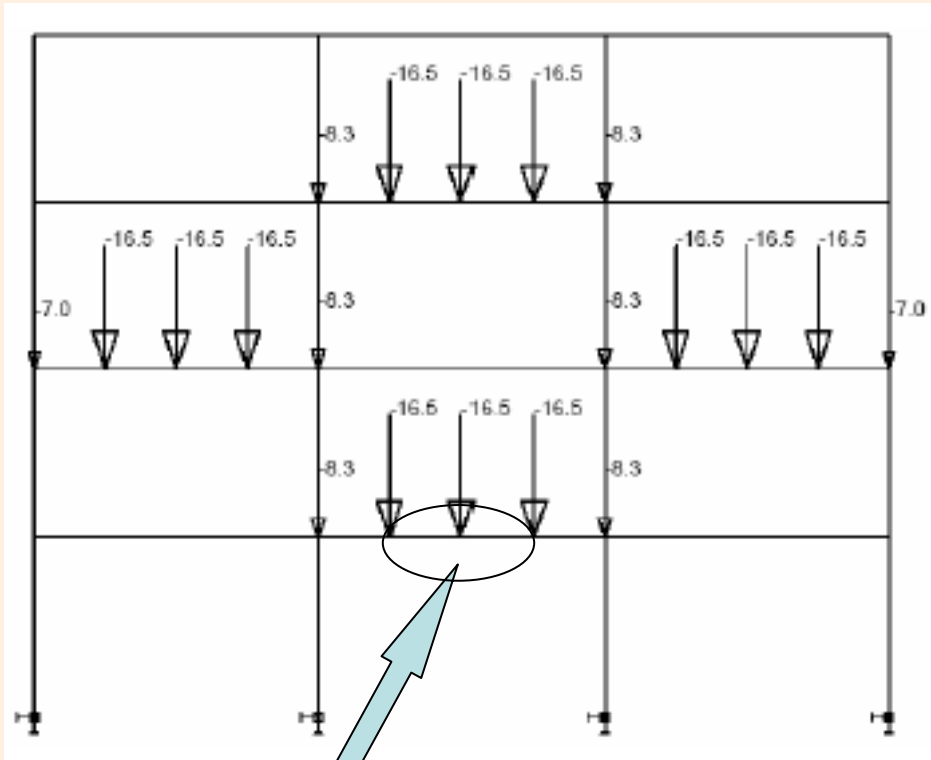
Tvar skutečné konstrukce



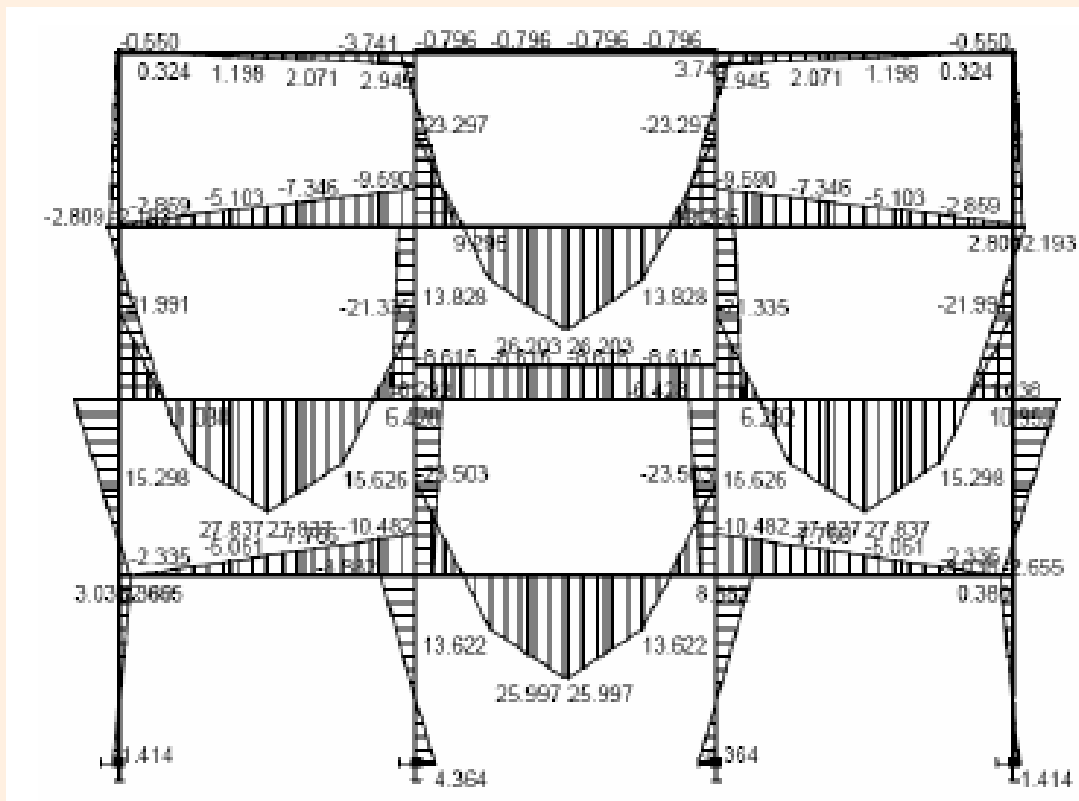
Statické schéma konstrukce



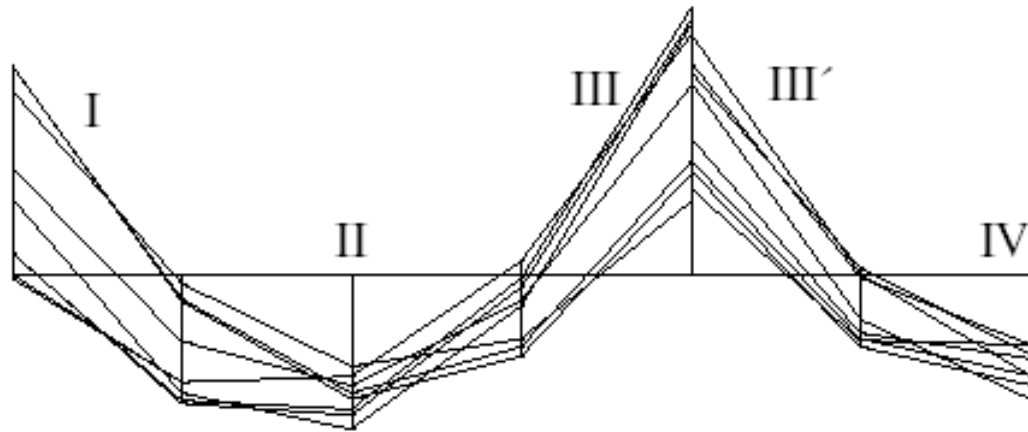
Zatěžovací stav – proměnné užité zatížení – maximální kladný ohyb. moment v 2. poli na příčli



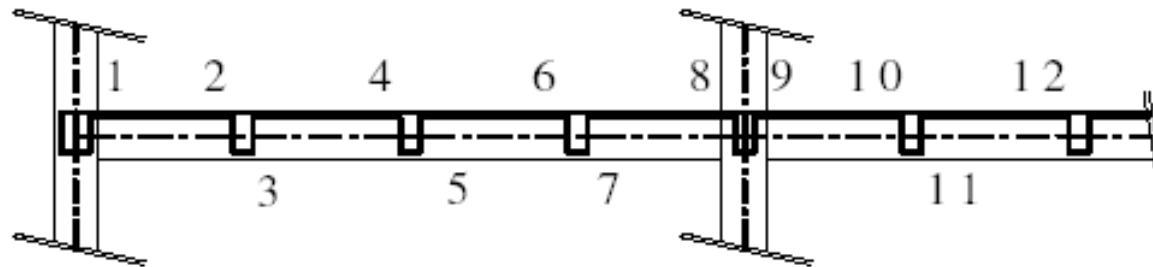
Vnitřní síly – ohyb. moment od výše uvedeného zatěžovacího stavu



Obálky ohybových momentů od významných zatěžovacích stavů



Obr. 7



KRYTÍ OBRAZCE TAHOVÝC SIL PODÉLNOU VÝZTUŽÍ

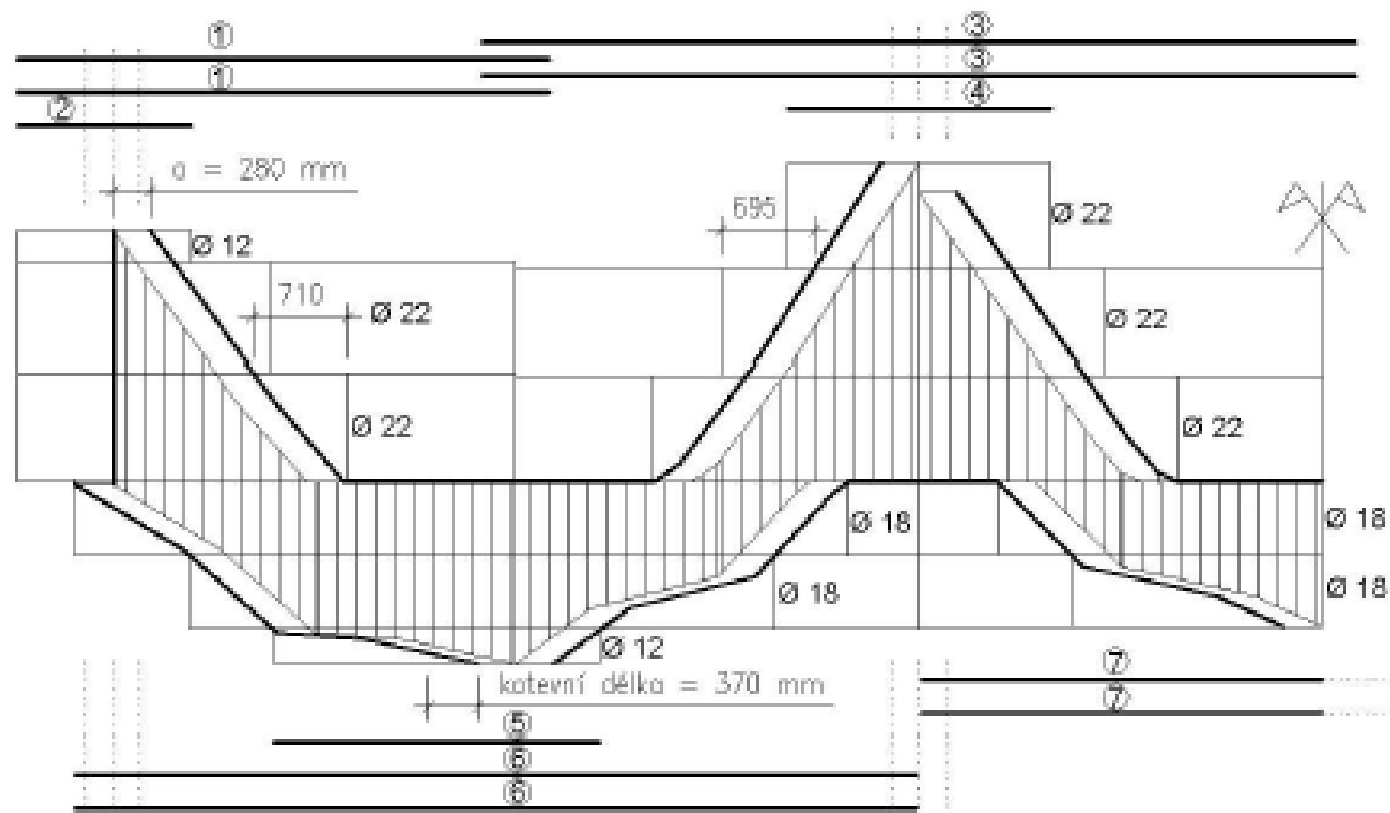
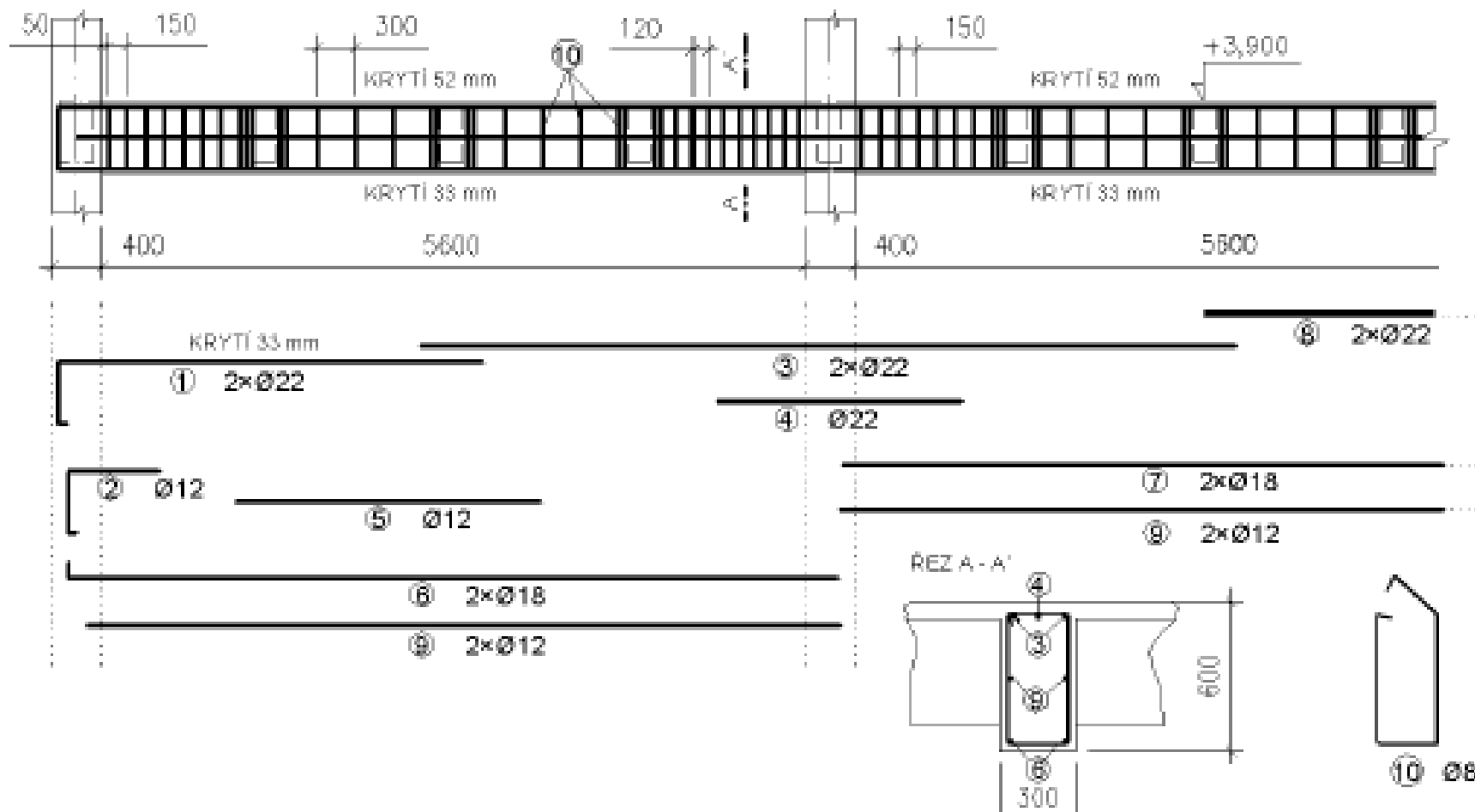
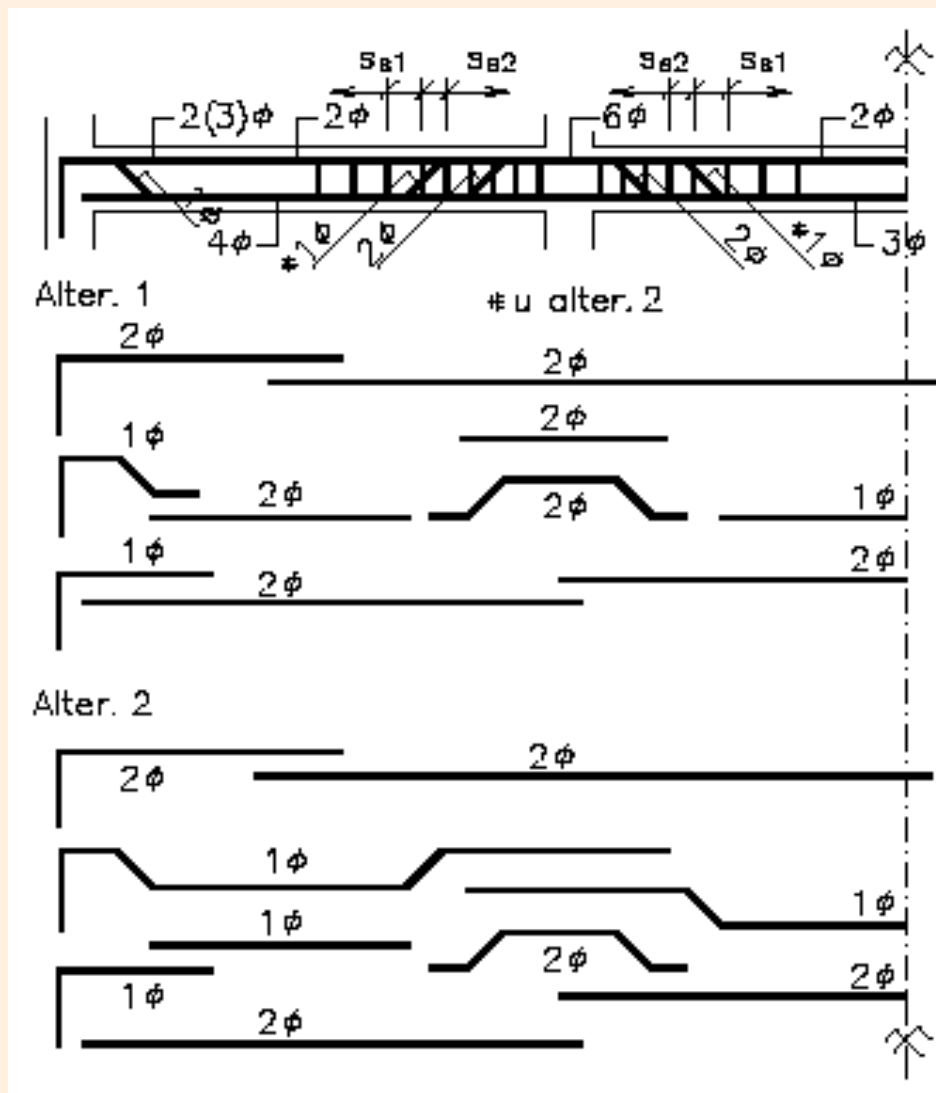


SCHÉMA VÝZTUŽE PŘÍČLE P1

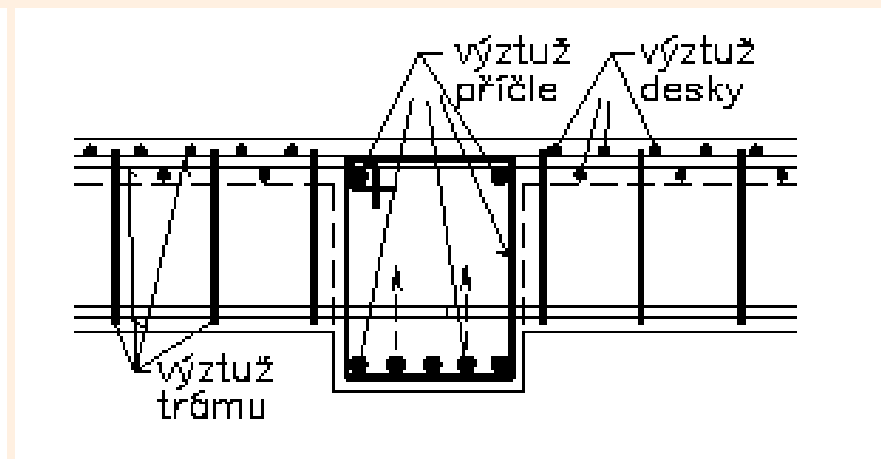


Vyztužování příčlí a styčnicků

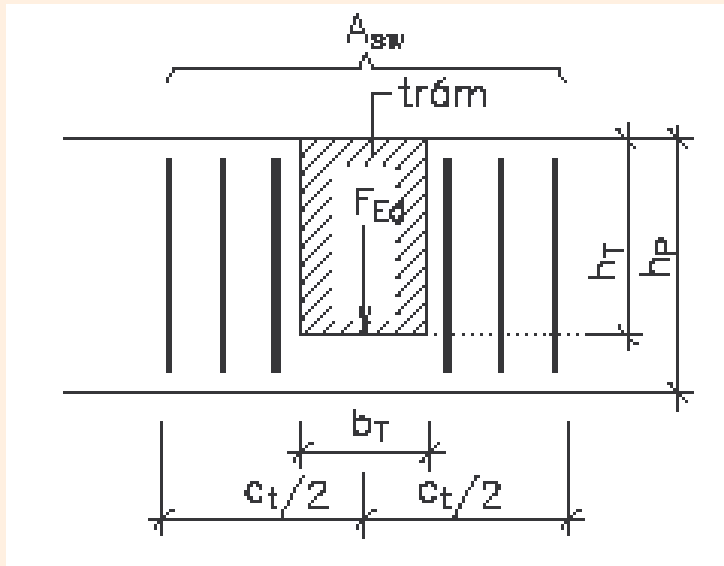
Vyztužení rámové příčle vázanou výztuží



Křížení výztuže příčle s výztuží v trámu



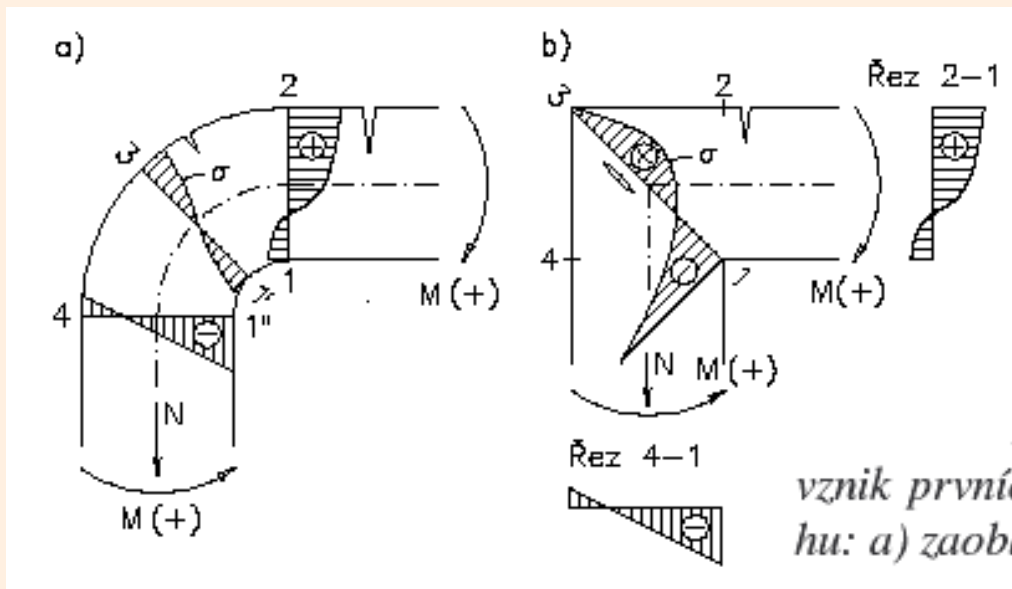
Výztuž proti odtržení spodního líce trámu z příčle



podmínka spolehlivosti

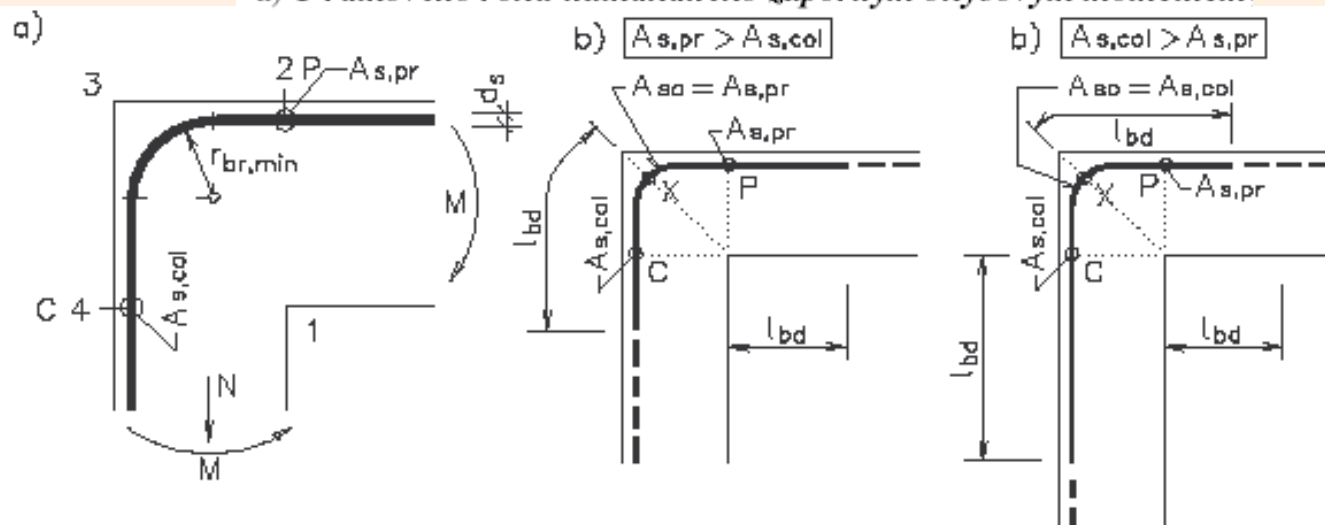
$$|F_{Ed}| \leq F_{Rd} = A_{sw} f_{ywd}$$

Horní rámový styčník

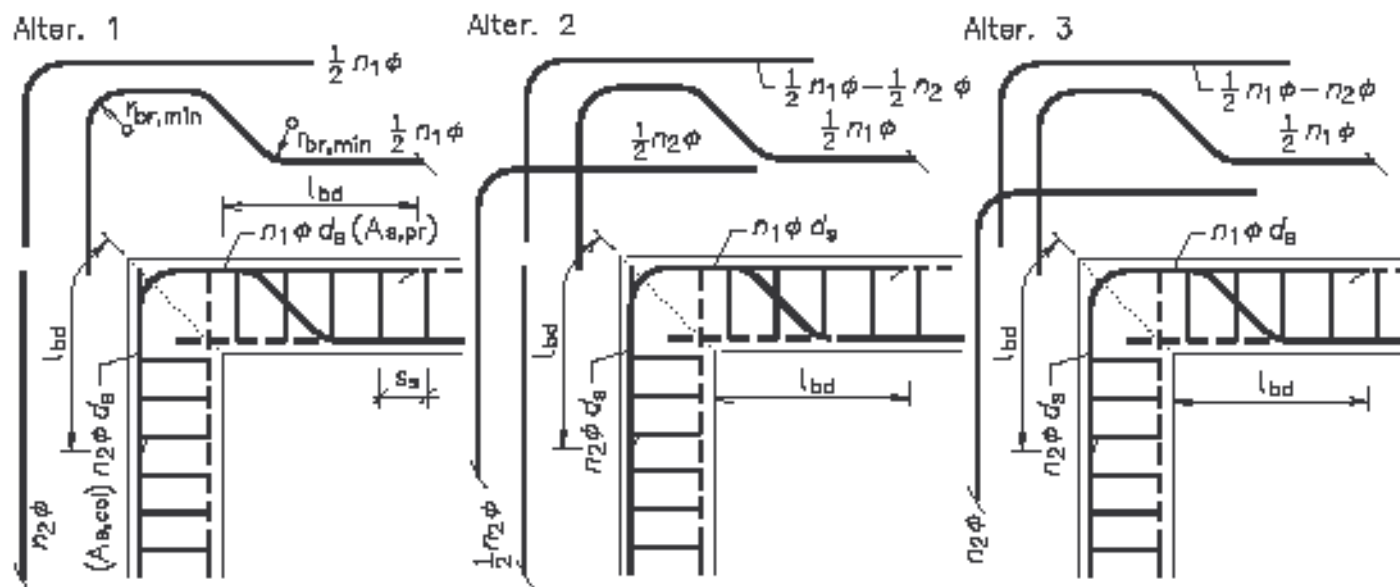


Normálová napětí před vznikem trhlin a vznik prvních trhlin betonu, v oblasti rámového rohu: a) zaobleného, b) ortogonálního

a) U rámového rohu namáhaného záporným ohybovým momentem.

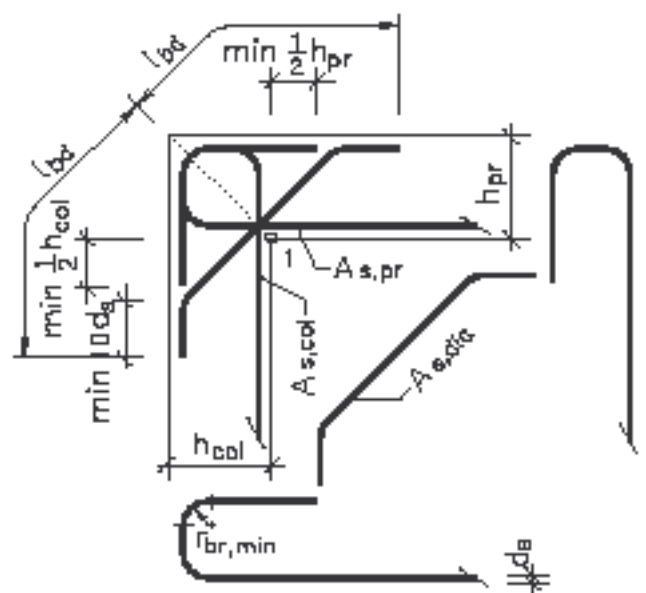


K zásadám vyztužování rámového rohu namáhaného záporným ohybovým momentem (horní a levá vlákna rohu jsou tažena)



Vyztužení rámového rohu namáhaného záporným ohybovým momentem, $A_{s,pr} > A_{s,col}$

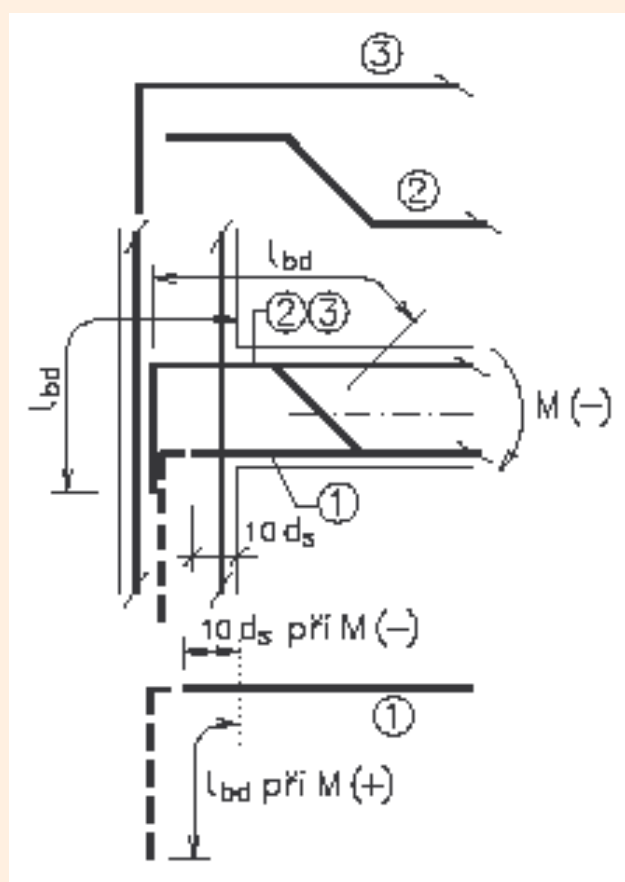
b) *Rámový roh namáhaný kladným ohybovým momentem*



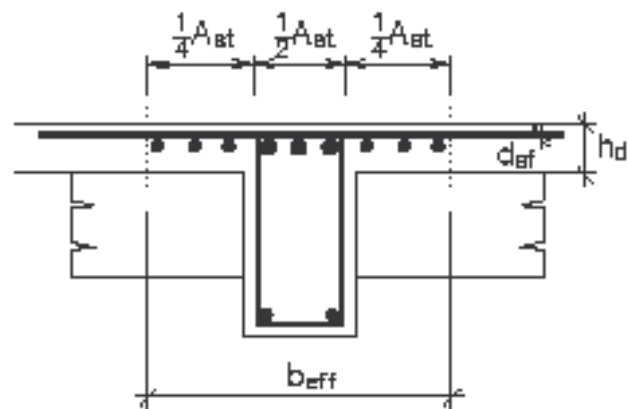
Vyztužení rámového rohu namáhaného kladným ohybovým momentem

Krajní rámový styčník nižších podlaží

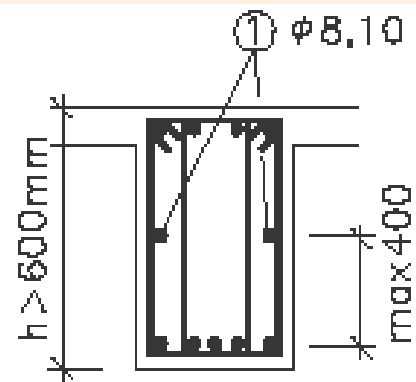
bývá většinou namáhán - tahem při horním povrchu příčle (záporným momentem příčle, od svislých zatížení) a od účinků větru - tahem při spodním povrchu příčle. Vzhledem k rovnováze momentů ve styčníku je v obou případech největším momentem (v absolutní hodnotě) namáhán průřez přiléhající příčle, jehož stav napjatosti je nepříznivější než napjatost průřezu v diagonálním řezu.



Vnitřní rámový styčník

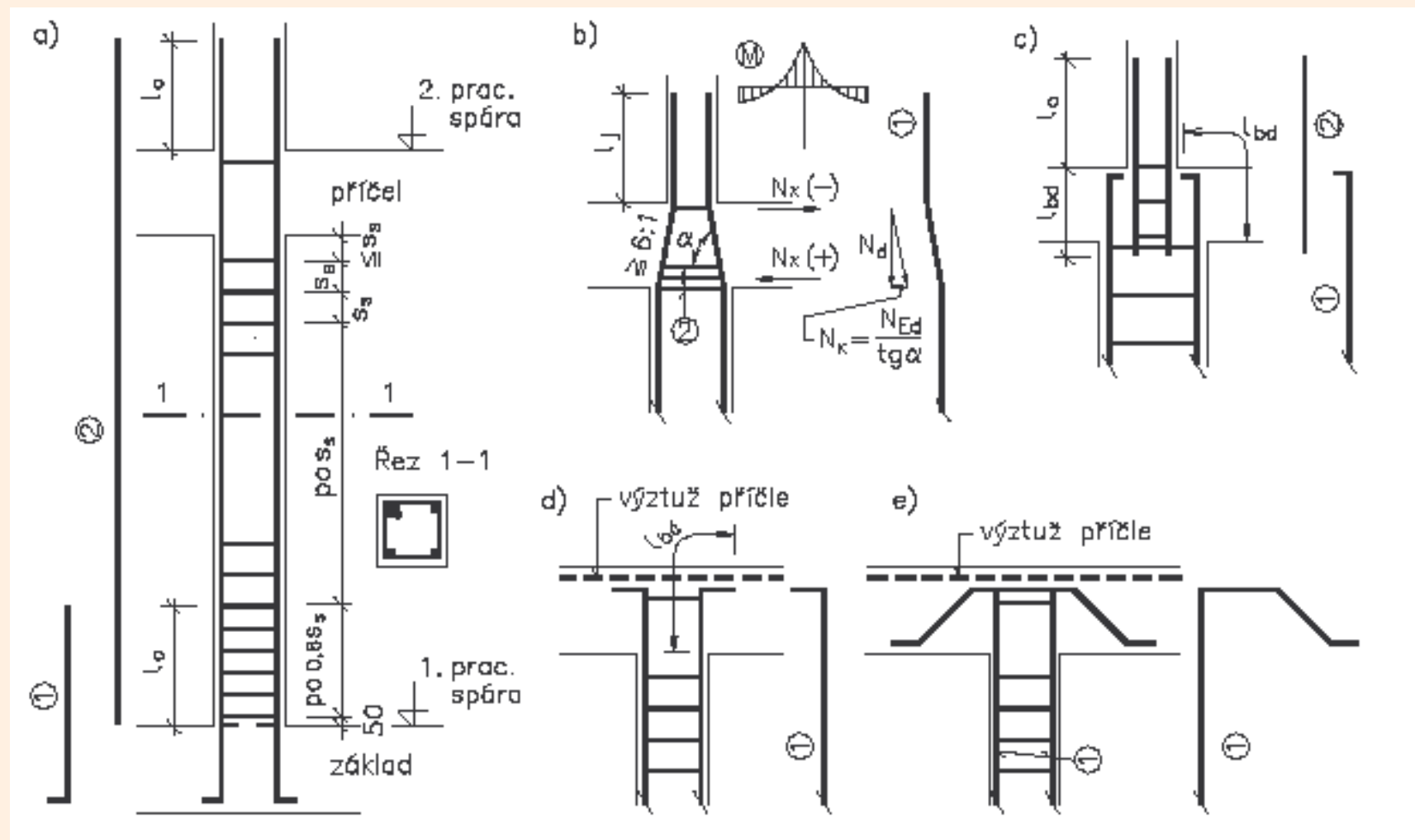


*Možné rozmístění
výztuže v průřezu přičle nad
podporou*

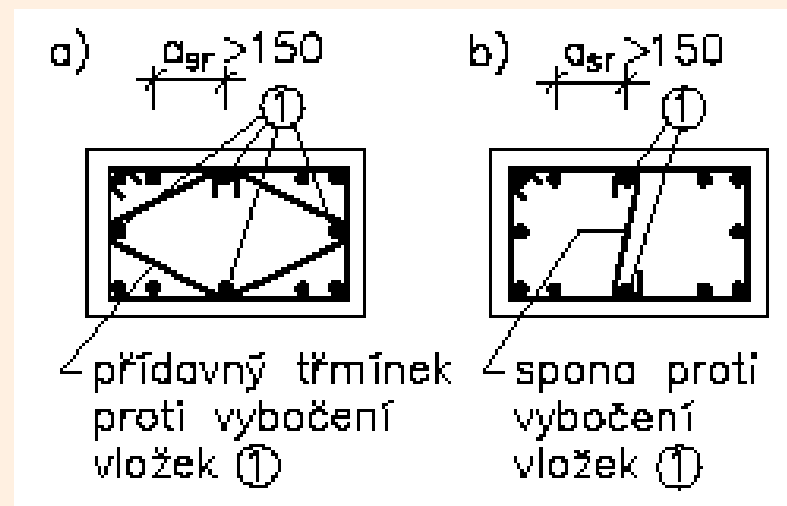


*Vyztužení přičle při
výšce $h > 600 \text{ mm}$ pomocnými
vločkami 1*

Vyztužování sloupů

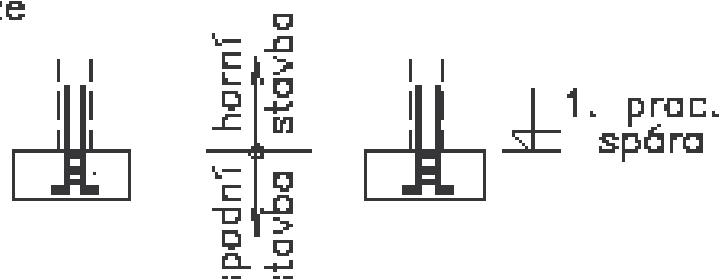


Vyztužení průřezu sloupu



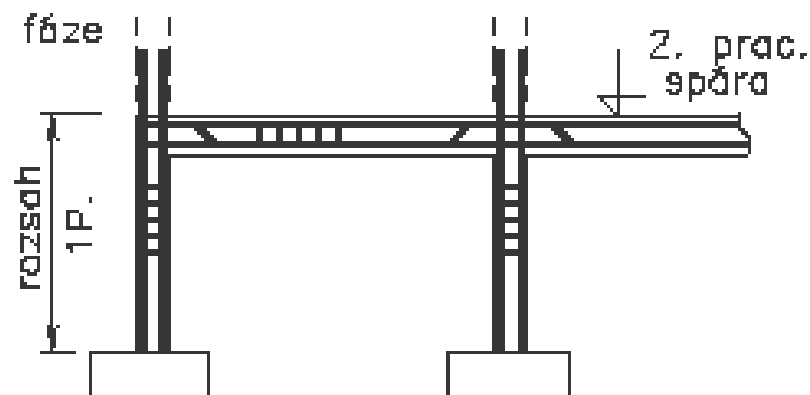
Postup výroby železobetonového skeletu

1. fáze

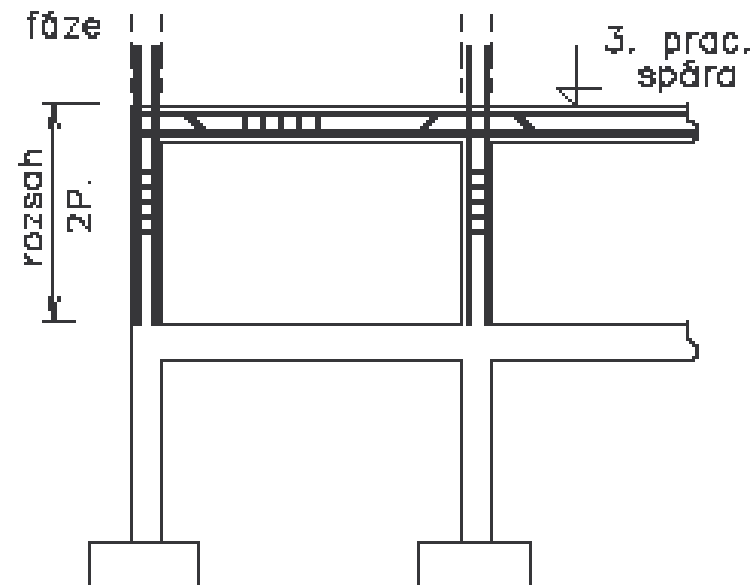


Fáze výroby skeletu

2. fáze

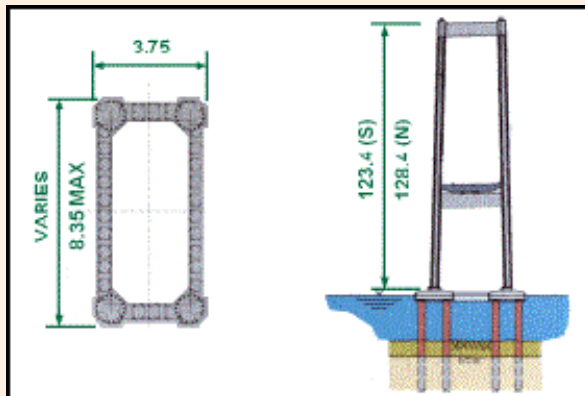


3. fáze



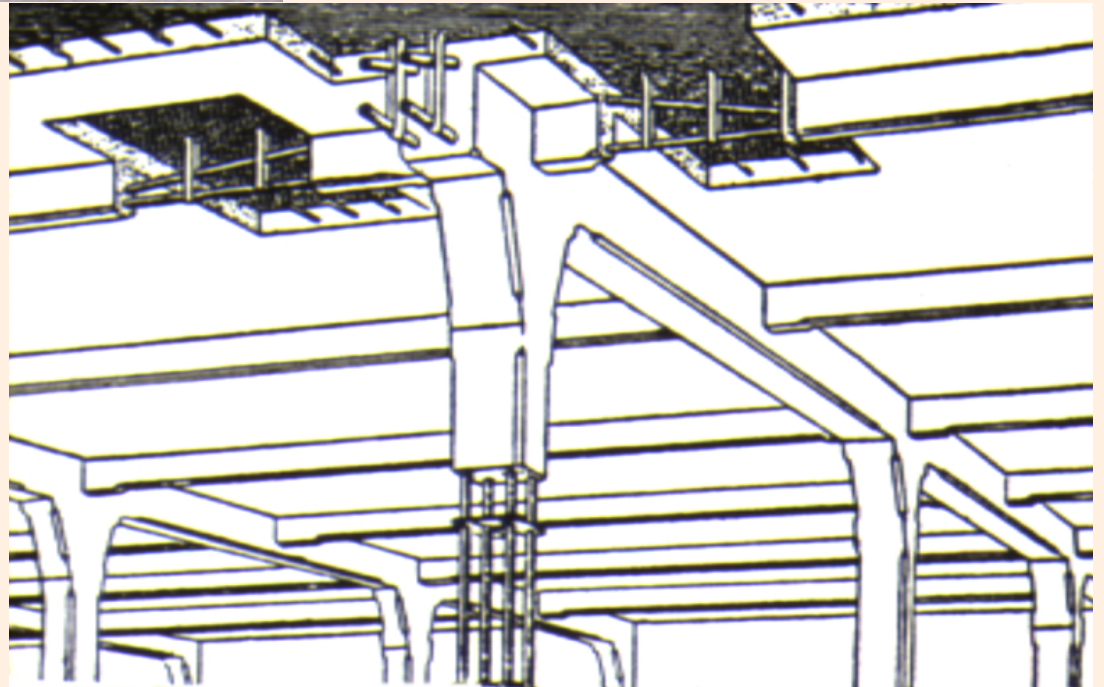


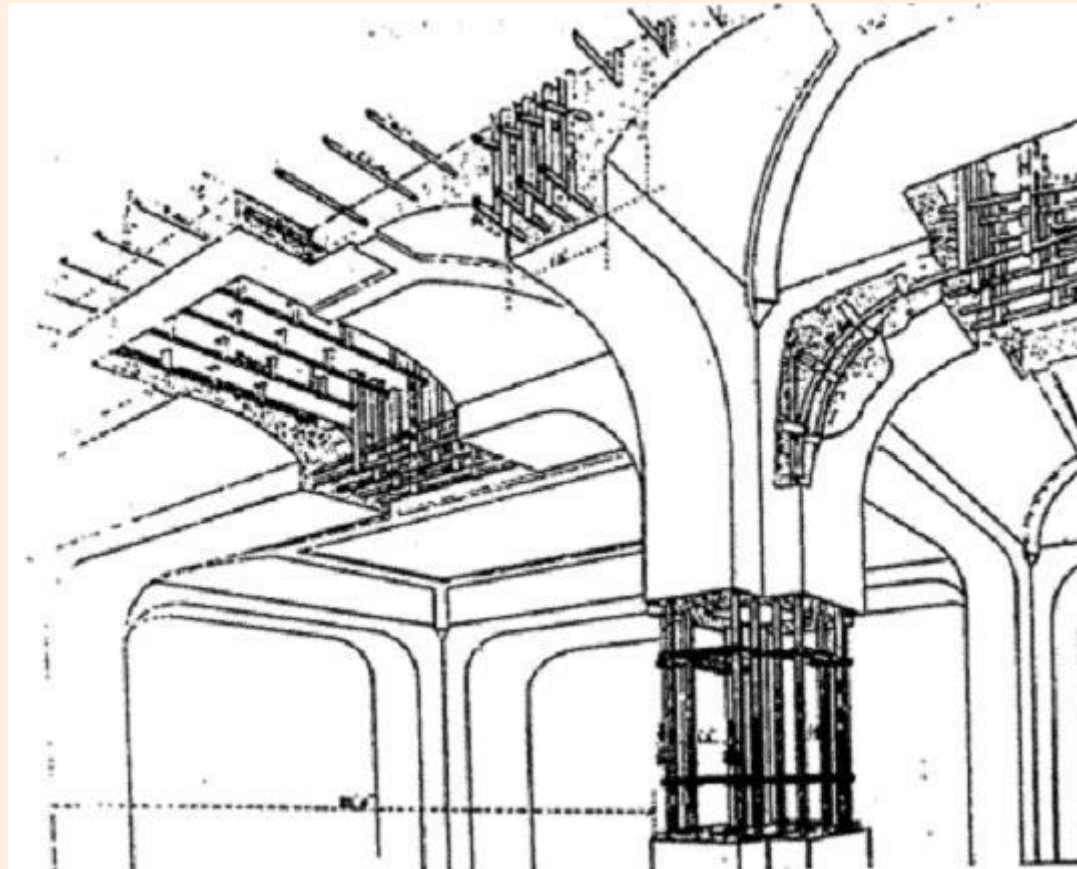
The 3rd Carquinez Strait Bridge



The towers are reinforced concrete portal frames with cellular shafts. The slightly inclined shafts allow clearance for the width of the continuous steel deck girder, yet allow the main cables to hang straight to support the edge of the deck. The tied walls and hoop-reinforced corner pilasters were specially developed to meet stringent seismic criteria.













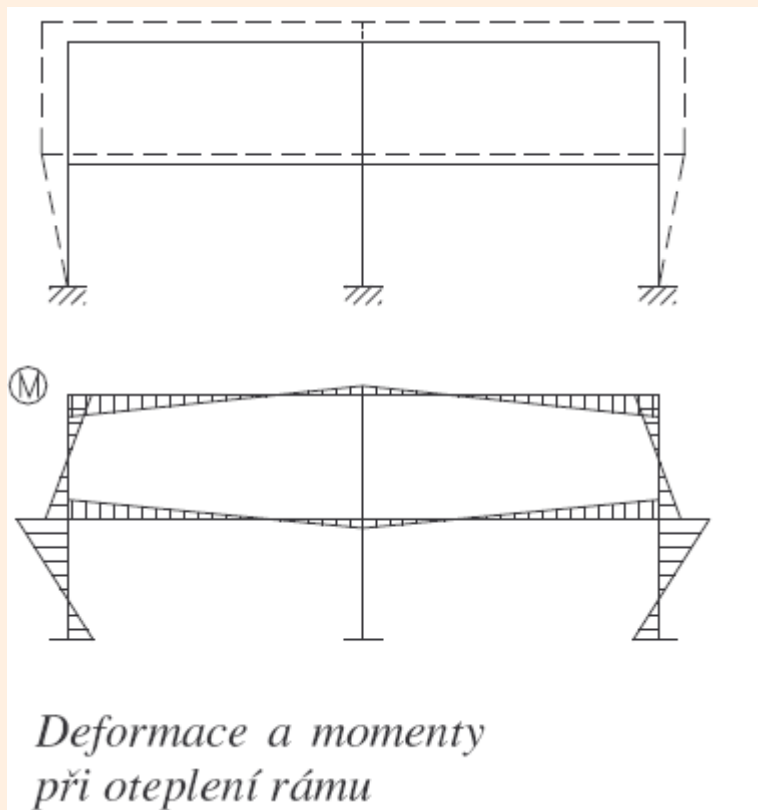
Dilatační celky a spáry, pracovní spáry

Betonové staticky neurčité konstrukce jsou namáhány též účinky objemových změn (tj. kolísání teplot, smršťování a dotvarování betonu), případně nerovnoměrným sedáním základových konstrukcí. Aby vznikající přídatná napětí v betonu a výztuži nepřekročila přípustnou mez, je nutno konstrukci objektu půdorysně členit pomocí svislých dilatační spár na dilatační celky.

Mezi dilatačními celky lze navrhnout *dilatační spáry oddělující svisle*:

- pouze horní stavbu, potom u dilatačních celků *je omezen vliv objemových změn*;
- celou stavbu (včetně základů), potom u dilatačních celků je omezen vliv jak objemových změn, tak nerovnoměrných sedání základů.

Pokud betonáž celé konstrukce nelze výrobně provést bez přestávek, musí se konstrukce betonovat po částech. Vznikající spáry se nazývají pracovní spáry.



Stanovení rozměrů dilatačních celků

U betonových konstrukcí, které mají podle ČSN 73 1201 splňovat *požadavky 3. kategorie na odolnost proti vzniku trhlin*, se účinky objemových změn nevyšetřují, jsou-li dle ČSN 73 1201 dodrženy maximální délky l_{dil} dilatačních celků. Za délku l_{dil} se považuje vzdálenost os svislých krajních nosných prvků dilatačního celku.

Výpočet účinků objemových změn

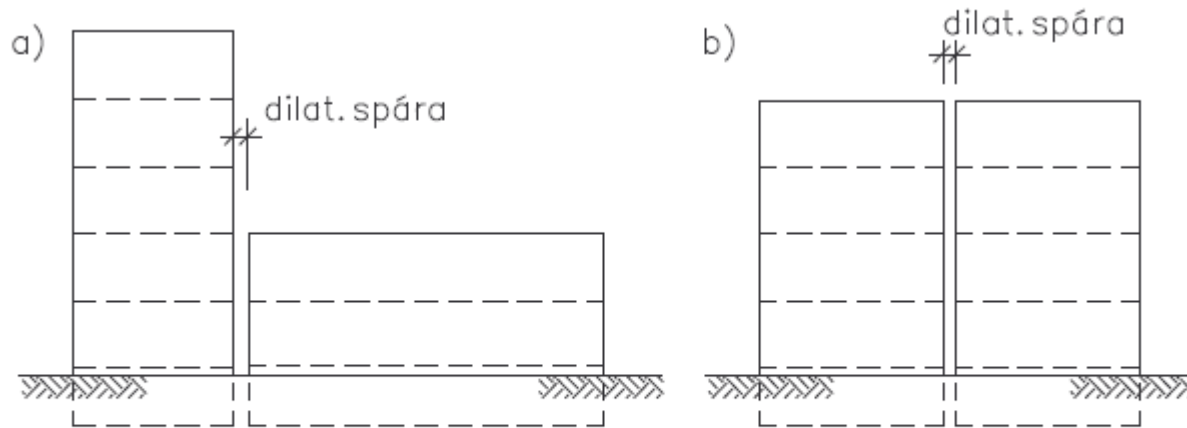
Pro výpočet účinků objemových změn se doporučuje uvažovat nelineární výpočtový model chování konstrukce, zohledňující zejména tyto zásady:

- zavádět do výpočtu skutečné průběhy vynucených přetvoření vlivem teploty, smršťování a dotvarování betonu; u prvků prutových jako přetvoření osová, u desek jako přetvoření rovinná;
- uvažovat s reálnými tuhostmi prvků, protože v důsledků vzniku trhlin v ohýbaných prvcích se zmenšuje nejen jejich tuhost, ale i přídatná napětí v konstrukci účinkem objemových změn.

Dilatační celky navrhované z důvodu rozdílného sedání základů

Příčiny rozdílného sedání lze rozdělit takto:

- svislá zatížení působící na základové konstrukce jsou po půdoryse objektu podstatně rozdílná v důsledku:
 - výrazně rozdílných výšek částí objektu, příp. různých hloubek jejich založení,
 - odlišného druhu, příp. účelu, částí objektu;
- způsob zakládání je v částech objektu odlišný a je nevhodně navržen;
- složení, struktura a vrstevnatosti základového podloží jsou nepravidelné;
- během užívání objektu se změny vlastností základového podloží, nejčastěji změnou hladiny spodní vody v důsledku zatékání srážkových vod, poruch vodovodních a kanalizačních potrubí apod.;
- stavby na poddolovaném území.

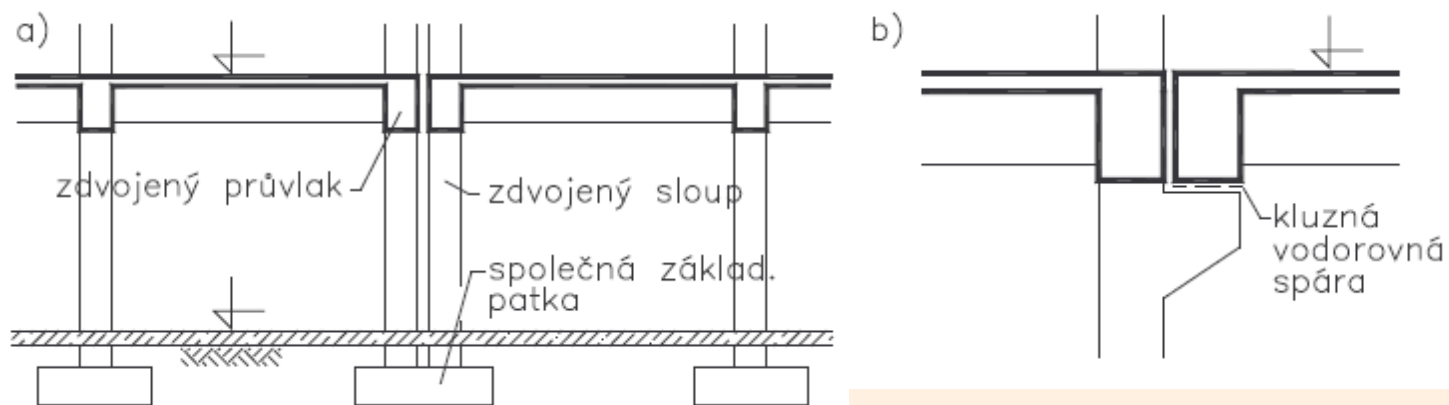


*Dilatační celky navrhované z důvodu rozdílného
sedání základů*

Konstrukční provedení dilatačních spár

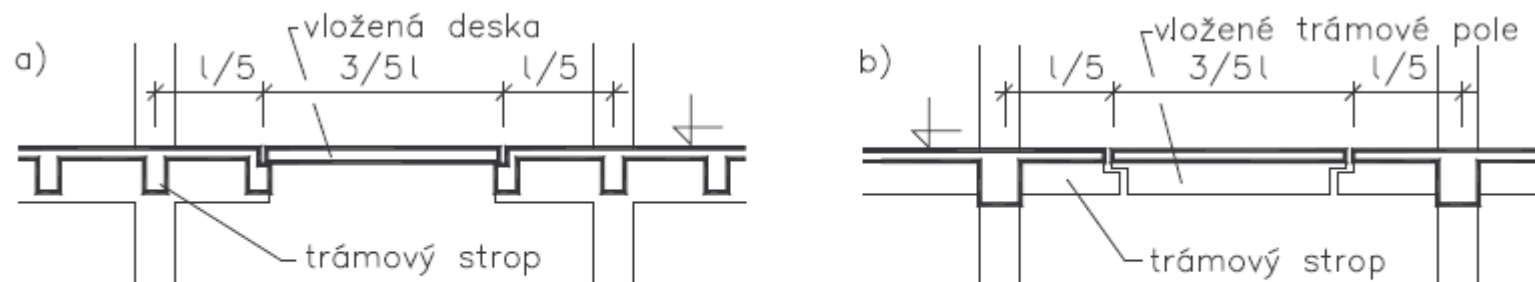
*Dilatační spáry navrhované z
důvodů objemových změn, provedené
zdvojením sloupů, trámů a průvlaků*

a) Zdvojení konstrukcí



b) Vložené pole

může být použito jak *pro dilatace objemové*, tak *pro dilatace konstrukcí při nerovnoměrném sedání základů*, příp. i pro dilatace omezující vliv obou uvedených účinků. Je zřejmé, že kromě případu dilatace objemové musí navíc dilatační spára svisele rozdělovat základy.



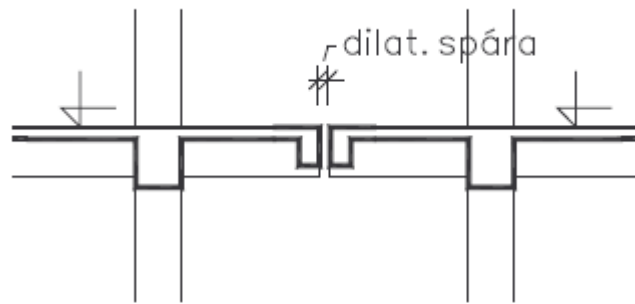
Dilatační spáry navrhované z důvodu omezení objemových změn, provedené vložením: a) desky, b) trémového pole

c) Konzolové vyložení vodorovných konstrukcí

je vhodné navrhovat v částech budov, které nejsou v místě spáry provozně propojeny. Mohou být navrhovány *pro dilatace jak objemové, tak pro omezení nerovnoměrných sedání základů*.

Tento způsob vytváření dilatačních celků umožňuje:

- ve všech směrech nezávislý posuv dilatačních celků,
- jednodušší krytí spáry,
- pro každý z dilatačních celků navrhnout základové konstrukce tak, aby se vzájemně negativně neovlivňovaly (např. základové patky, základové konzolově vyložené pasy).

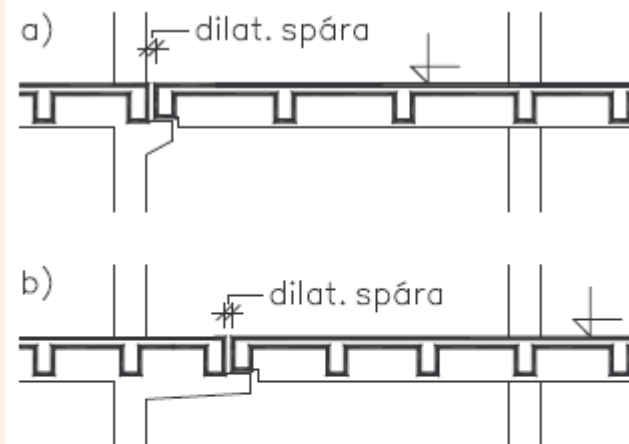


Dilatační spára vytvořená konzolovým vyložáním vodorovných konstrukcí

d) Jednostranné konzolové uložení trámů a průvlaků

se navrhuje pro dilatace objemové. Dilataci je možné umístit:

- v líci sloupu
- v poli přičle



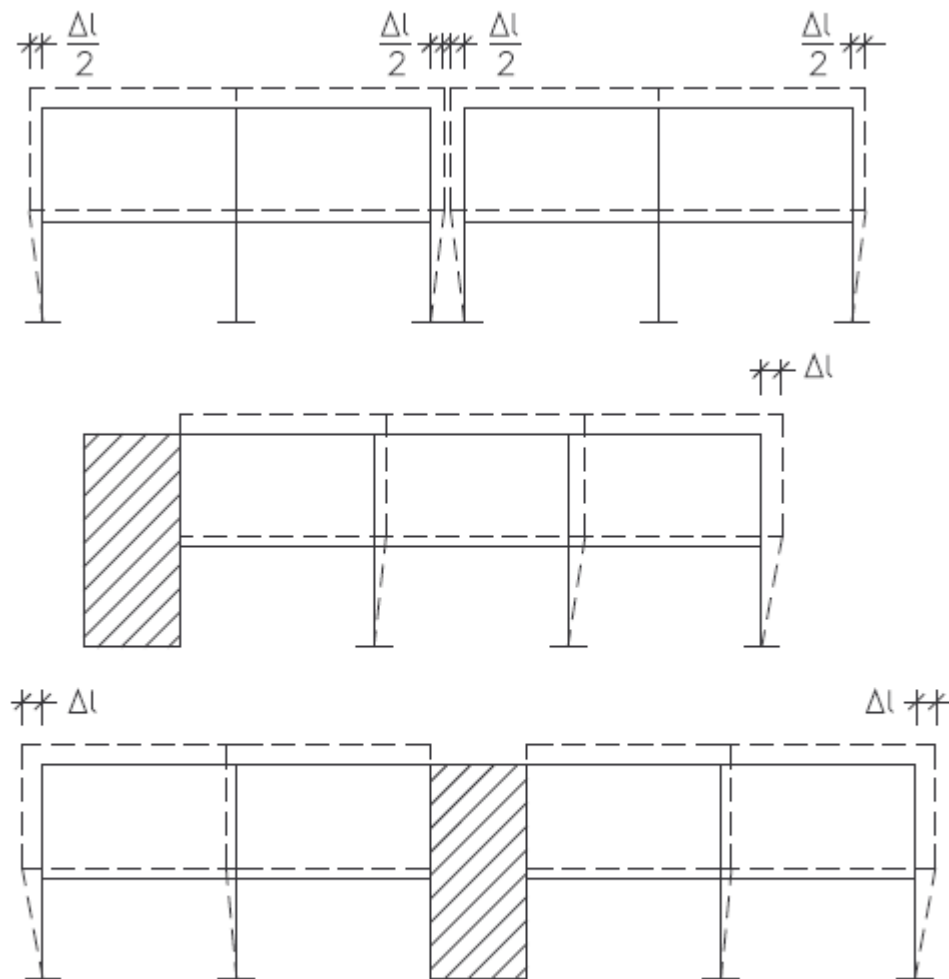
Dilatační spára vytvořená jednostranným konzolovým uložení průvlaků: a) v líci sloupu, b) v poli přičle

e) Vložení smykových trnů do dilatačních spár

stropních desek se navrhuje pro dilatace objemové. Trny se před betonáží ukládají kolmo k dilatační spáře a přibližně doprostřed výšky desek. Po zatvrdnutí betonu vytvářejí spojující článek mezi deskami, zajišťující jejich stejný průhyb ale nezávislý horizontální posuv. Působí tedy přibližně jako píst (který je nedílnou částí jedné desky) pohybující se ve válci (který je částí druhé desky).

Šířka dilatačních spár závisí na:

- délce dilatačních celků
- teplotě, při které byla konstrukce betonována,
- extrémní teplotě, jíž bude konstrukce vystavena,
- uspořádání svislých prvků (tj. ztužujících stěn, jader) a hodnotách jejich tuhosti,
- přetvoření od účinků smršťování betonu.



Vodorovná přetvoření rámů účinkem jejich oteplení

Za předpokladu, že vodorovná tuhost sloupů je ve srovnání s tuhostí ztužujících stěn a jader zanedbatelná a nedbá se účinků smršťování betonu, lze šířku dilatační spáry l_{ds} [m] nadzákladových konstrukcí přibližně vypočítat podle vztahu

l_{ds} [m] nadzákladových konstrukcí přibližně vypočítat podle vztahu

$$l_{ds} = 0,005 + (maxT - T_o) \alpha l_{dil,1},$$

kde

T_o je teplota při které byla konstrukce betonována,

$maxT$ extrémní teplota, které bude konstrukce vystavena,

α součinitel tepelné roztažnosti betonu, $\alpha = 10^{-5} \text{ K}^{-1}$,

$l_{dil,1}$ vodorovná vzdálenost svislého prvku, jehož vodorovné posuvy jsou účinkem teplotních změn zanedbatelné, od nejvzdálenějšího vnějšího líce dilatačního celku

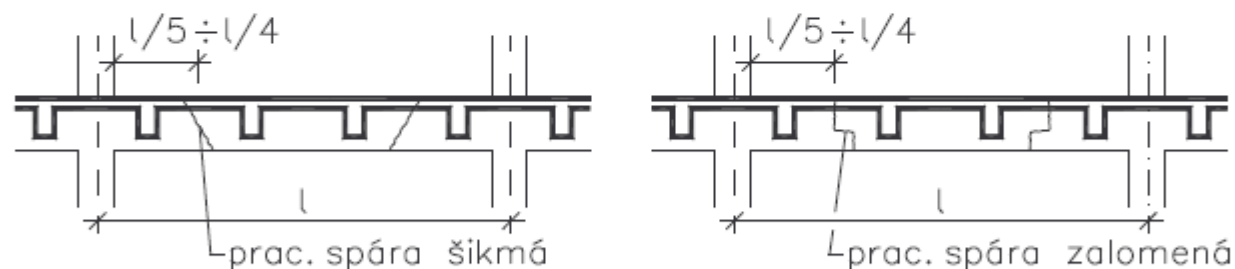
U staveb betonovaných *za teplého počasí se volí šířka dilatační spáry v rozmezí 10 až 15 mm, betonuje-li se za chladného počasí, volí se spára širší, asi 15 až 25 mm.*

Pracovní spáry

Jednotlivé dilatační celky monolitických betonových konstrukcí mohou být tak rozsáhlé, že není možné je betonovat bez přerušení; potom se navrhují pracovní spáry. Protože bývají místem častých poruch, je výhodné jejich počet maximálně omezit vhodnou úpravou pracovního postupu.

Umístění pracovních spár

Pracovní spáry se navrhují v místech *kde konstrukce není namáhána ohybem*, a



Umístění pracovní spáry v příčli

pokud možno ani smykem. *Sklon spáry se volí tak, aby pracovní spára byla svírána tlakem.*

Úprava pracovních spár

Před dalším betonováním se po odstranění vloženého bednění (kterým je každá pracovní spára uzavřena) musí pracovní spára ošetřit:

- navlhčením, není-li vrstva betonu ještě zatuhlá;
- je-li vrstva betonu již zatuhlá, musí se styčná plocha vyčistit (např. drátěným kartáčem), dobře provlhčit a pokrýt cementovou maltou alespoň kvality odpovídající betonové směsi prvku, poté následuje betonování; v současné době se častěji používá pro utěsnění pracovní spáry tmelících nátěrů z epoxydových pryskyřic;
- nanesením vrstvy torkretu v případě oživení pracovní spáry při dlouhodobé přestávce; torkret (stříkaný beton) zajišťuje dobré spojení starého i nového betonu.