

Postup řešení: Hospodárný návrh konstrukčního uspořádání ocelových a kompozitních budov malé a střední výšky

Tento dokument definuje a představuje základní koncepty uspořádání nosných konstrukcí vícepodlažních ocelových a kompozitních budov. Nabízí projektantovi základní způsoby řešení a poskytuje návod pro hospodárný návrh konkrétního projektu.

Obsah

1.	Úvod	2
2.	Rozsah použití	2
3.	Základní koncepty, definice a zásady projektu	2
4.	Volba prosté nebo spojitě konstrukce	7
5.	Postup pro hospodárnou volbu konstrukce konkrétní budovy	7

1. Úvod

Je možné volit z velkého množství konstrukčních uspořádání malých a středních ocelových budov.

EN 1993-1-1 uvádí různé možnosti přístupu k:

- Zajištění odolnosti proti vodorovnému zatížení
- Rozdělení tuhostí ve vodorovném směru
- Zohlednění celkových i lokálních imperfekcí
- Použití prostých, částečně spojitých a spojitých konstrukcí

Jako výsledek poskytuje EN 1993-1-1 obsáhlý návod pro velmi široký okruh konstrukcí. Rozmanitost a mnohoznačnost uvedených přístupů může zmást i velmi zkušené konstruktéry.

Proto si tento dokument dává za cíl nabídnout vybraný okruh zjednodušených přístupů jak k volbě konstrukčního uspořádání tak k volbě analytické metody. Tyto přístupy vedou k bezpečnému řešení a ve většině případů také k nejhospodárnějšímu návrhu konstrukce.

Připomeňme, že téměř všechny vícepodlažní konstrukce jsou trojrozměrné s ortogonální vodorovnou sítí prvků, tj. že primární a sekundární nosníky vzájemně svírají úhel 90° . Odolnost proti vodorovnému zatížení a zajištění dostatečné stability je třeba řešit odděleně v těchto dvou směrech. Přitom pro každý směr může být vhodné jiné řešení.

2. Rozsah použití

Tato pomůcka je zaměřena na nižší a střední vícepodlažní objekty sloužící k libovolnému účelu, například jako komerční či bytové domy.

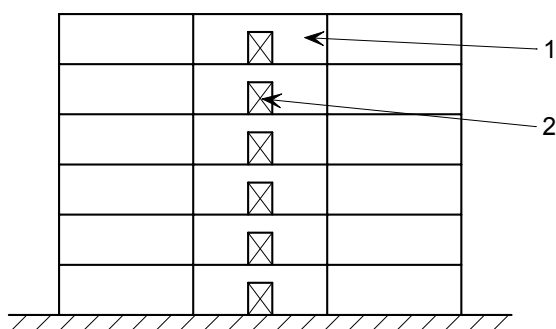
Za nízké a středně vysoké budovy lze považovat ty, u nichž opatření proti vodorovným silám a zajištění stability nemá zásadní vliv na konstrukční uspořádání. Pro objekty běžných proporcí v neseismických oblastech je výškový limit zhruba 10 podlaží.

3. Základní koncepty, definice a zásady projektu

3.1 Ztužené a neztužené vazby

Jak je vidět na obrázku 3.1, **ztužené vazby** přenášejí vodorovné účinky jedním ze dvou následujících způsobů:

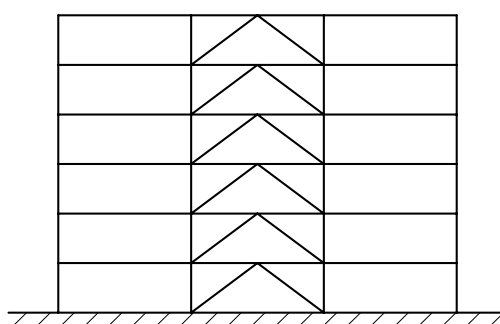
- Připojení konstrukce k tuhému betonovému jádru obvykle umístěnému okolo výtahů, instalačních šachet a schodišť.
- Použití zavětrování.



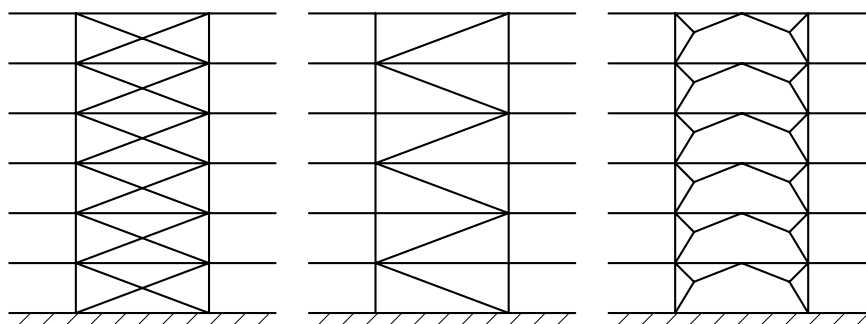
(a)

Legenda:

- 1 Betonové stěny instalační šachty
- 2 Dveřní otvor



(b)

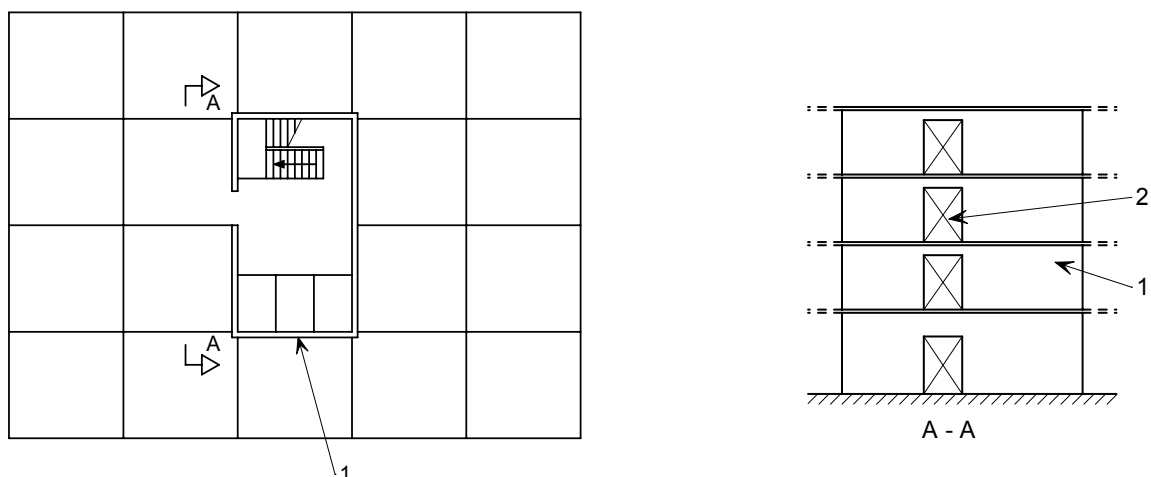


(c)

Obrázek 3.1 Typy ztužených vazeb:
(a) Tuhé betonové jádro, (b) Ztužidlo ve tvaru obráceného "V", (c) Alternativní typy trojúhelníkových ztužidel

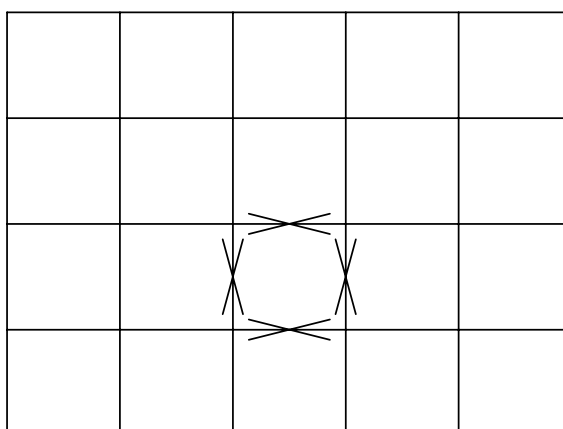
Tam, kde není umístění příčných ztužidel přípustné z hlediska provozu budovy, může být použito ztužení ve formě ztužujících rámců.

Aby bylo ztužení konstrukce efektivní, je třeba jej umístit v půdorysu objektu přibližně symetricky. Pokud je objekt rozdělen na dvě oddílatované, nezávislé části, každá část by měla být uvažována jako samostatná budova. Stropní desky působí jako diafragmata přenášející vodorovné účinky do betonového jádra nebo do ztužených polí (obrázek 3.2).

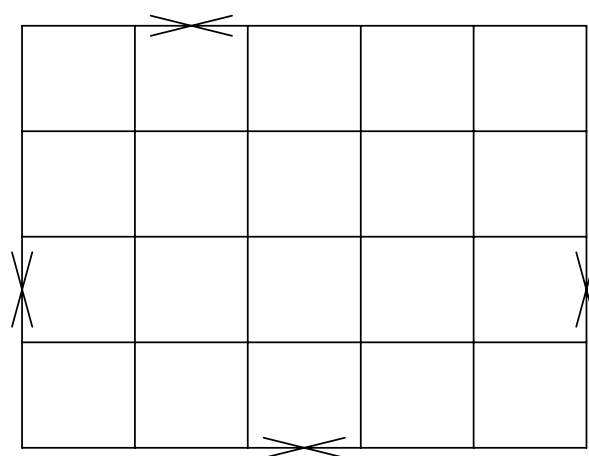


Legenda: 1. Stěny betonového jádra 2. Dveřní otvory

(a)



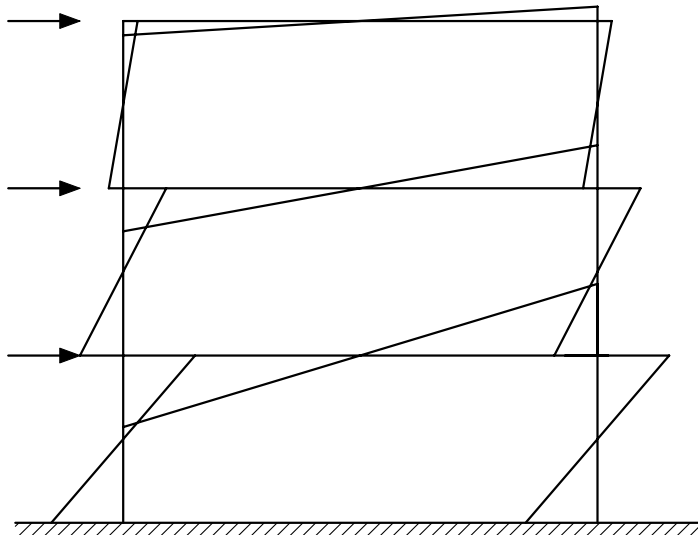
(b)



(c)

Obrázek 3.2 Efektivní umístění ztužujících prvků:
(a) Betonové jádro kolem schodišť, výtahů, servisních šachet atd.,
(b) Tuhé jádro tvořené zavětrovanými poli, (c) Zavětrovaná pole neseskupená do jádra

Neztužené vazby přenášejí vodorovné účinky pomocí ohybových momentů a posouvajících sil ve sloupech a vodorovných prvcích (obrázek 3.3). Maximální momenty od vodorovného zatížení dostáváme v místech kontaktu sloupů a vodorovných prvků. Je zřejmé, že přípoje vodorovných prvků ke sloupům musí být schopny tyto nezanedbatelné momenty přenést.



Obrázek 3.3 Ohybové momenty ve sloupech a vodorovných prvcích od vodorovného zatížení ve vícepodlažní neztužené prutové konstrukci o jednom poli

Vodorovné zatížení může být:

- Rozděleno mezi všechny rovnoběžné konstrukce (rámy) objektu, podrobnosti jsou uvedeny v části 5.3.
- Koncentrováno do vybraných konstrukcí (rámů), podrobnosti jsou uvedeny v části 5.4.

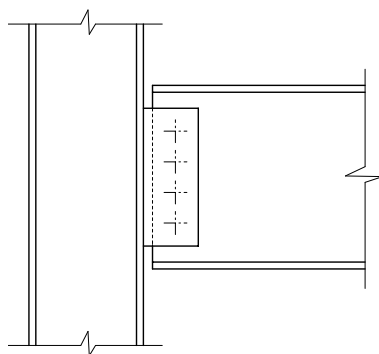
3.2 Vodorovná tuhost prutových konstrukcí

V [EN 1993-1-1 §5.2](#) je stanoven postup řešení v závislosti na úrovni vodorovné tuhosti. Analýza podle teorie prvního řádu smí být použita pro konstrukce splňující požadavky na tuhost podle [EN 1993-1-1 §5.2](#). Postup pro určení, zda může být použita analýza podle teorie prvního řádu, je uveden v [SF015a-EN-EU](#). Pro všechny ostatní konstrukce musí být uvažován vliv deformací. Návrhový postup je uveden v [SF002a-EN-EU](#). Ačkoliv všechny konstrukce dosahují nějakého vodorovného posunu, jsou často rozdělovány na **posuvné** a **neposuvné** v závislosti na hodnotě vodorovné deformace.

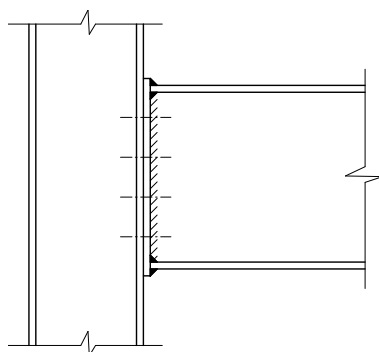
- Účinky změněné geometrie konstrukce (účinky druhého řádu) by měly být uvažovány u posuvných konstrukcí.
- Je pravděpodobné, že málo ztužená konstrukce se bude chovat jako posuvná.

3.3 Prostá, částečně spojitá a spojitá konstrukce

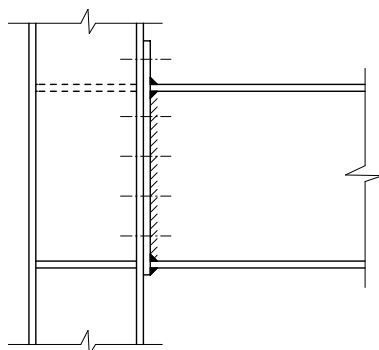
Tato klasifikace konstrukcí je založena na typu připojení vodorovných prvků ke sloupům (obrázek 3.4).



(a)



(b)



(c)

Obrázek 3.4 *Typy přípojí vodorovných prvků ke sloupům:
(a) kloubový, (b) polotuhý, (c) tuhý*

U **prosté konstrukce** (kde je přípoj vodorovného prvku ke sloupu kloubový) přenáší přípoje pouze smykovou sílu z vodorovného prvku do sloupu. Geometrie přípoje musí umožňovat dostatečné pootočení konců vodorovného prvku tak, aby mohl být navržen jako prostě podepřený.

U **částečně spojitě konstrukce** přenáší polotuhý přípoj navíc z vodorovného prvku do sloupu nezanedbatelný ohybový moment. Lokální pootočení styčnicku sloupu a vodorovného prvku pochopitelně odpovídá příslušnému přenášenému momentu a ovlivňuje globální rozdělení momentů v konstrukci. Globální analýza takové konstrukce vyžaduje patřičný model přípoje a proto je obvykle poměrně složitá.

U **spojité konstrukce** je přípoj vodorovného prvku ke sloupu fakticky tuhý. V globální analýze se neuvažují lokální pootočení přípojí. Přípoje musí být navrženy tak, aby plně přenesly koncové momenty a posouvající síly vodorovných prvků do sloupů.

3.4 Imperfekce

V [§5.3 normy EN 1993-1-1](#) je uvedeno, že při návrhu vícepodlažních budov je potřeba vzít v úvahu účinky ekvivalentních imperfekcí zahrnujících jak účinky reziduálních prutů, tak geometrické imperfekce .

Pro většinu skutečných konstrukcí je vhodné nahradit celkové imperfekce systémem ekvivalentních vodorovných sil ([EN 1993-1-1 §5.3.2\(7\)](#)). V dokumentu [SN047](#) je uveden podrobný postup pro stanovení imperfekcí a v části SF007 je uveden postup pro návrh svislých ztužidel.

Imperfekce jednotlivých prutů jsou zahrnuty v jejich vzpěrné únosnosti ([EN1993-1-1 §5.3.4\(1\)](#)).

4. Volba prosté nebo spojitě konstrukce

U **neztužených vazeb** musí být přeneseny vodorovné účinky výhradně rámovým chováním prvků. Je nasnadě, že v takovém případě lze použít jedine spojitou konstrukci. (Použití částečně spojených konstrukcí je poměrně obtížné a není předmětem tohoto dokumentu). Jak bylo uvedeno v 3.1, tuhá konstrukce může být použita u všech prvků objektu, nebo může být použita jen u vybraných „rámových konstrukcí“, přičemž ostatní prvky budou kloubové.

U **ztužených vazeb** může projektant volit mezi prostou a spojitou konstrukcí na základě hospodárnosti řešení. Hospodárné řešení konstrukce:

1. Pokud o dimenzích prvků rozhoduje jejich únosnost, **vždy** by měla být použita prostá konstrukce.
2. Pokud o dimenzích prvků rozhoduje jejich tuhost (použitelnost), hospodárnější bývá obecně opět prostá konstrukce. Je-li ale výrazně limitována výška vodorovných prvků, může být prospěšné použít spojitou konstrukci. Doporučuje se provést alternativní varianty, provést jejich ekonomické zhodnocení a výslednou variantu vybrat až po jednání se zadavatelem.

5. Postup pro hospodárnou volbu konstrukce konkrétní budovy

Uvedme možnosti řešení seřazené vzestupně podle obtížnosti a sestupně podle hospodárnosti, tzn. od nejjednodušších a nejhospodárnějších.

Každý hlavní směr v rastru sloupů by měl být uvažován odděleně. Mohou být zvolena odlišná řešení pro každý z nich.

Dnes se v široké míře využívají počítače. V každé sekci je uveden komentář k možnosti jejich eventuálního využití.

5.1 Ztužené vazby v prosté konstrukci

U těchto vazeb jsou použity kloubové přípoje vodorovných prvků ke sloupům (obrázek 3.4(a)).

V dokumentu [SN020](#) jsou uvedeny návrhové předpoklady doporučené pro ztužené vazby.

Výhody

- Jednoduché, hospodárné přípoje nosníku ke sloupu.
- Minimalizované průřezy sloupů a minimalizovaná hmotnost.
- Nosníky namáhané jen kladnými momenty, což umožňuje jednoduché použití spřažených konstrukcí.
- Jednoduchá analýza pro návrh ocelové konstrukce, což usnadňuje optimalizovat volbu prvků sloupů a nosníků.

Nevýhody

- Žádné v případě, že jde o menší konstrukci, kde není problém s umístěním ztužidel a o dimenzích stropních prvků rozhoduje jejich únosnost.
- Může vést k neekonomickému návrhu v případě, že o dimenzích stropních prvků rozhoduje použitelnost.

Pokud mají tyto vazby dostatečně tuhé ztužení, mohou být navrhovány podle teorie prvního řádu ($\alpha_{cr} \geq 10$). Ztužení může být provedeno pomocí betonového jádra nebo ocelových příhradových prvků (obrázek 3.1). Se zvětšující se výškou vazeb a počtu podlaží se zvyšuje rovněž průřez ztužení a může začít ztrácet na hospodárnosti, či může nastat problém s jeho umístěním v konstrukci s ohledem na dispozici objektu. Dokument T1441 udává jednoduchý návod k určení, zda příhradová ztužidla jsou dostačující pro dosažení $\alpha_{cr} \geq 10$. Pokud je použito betonové jádro, je ve většině případů nízkých a středních objektů jeho tuhost dostatečná k zajištění $\alpha_{cr} \geq 10$ (pokud je projektant na pochybách, měla by být provedena modální analýza). Výpočet podle teorie prvního řádu může být proveden ručně. Použití počítače může být účelné pro organizaci zatěžovacích stavů a určení rozhodujících vlivů na konstrukci.

Pokud z ekonomického hlediska či z dispozičních důvodů nelze použít příhradová ztužidla, může být navržen lehký ztužující systém. Dokument [SN047](#) udává praktický návod pro volbu minimálních vodorovných ekvivalentních sil. Součinitel α_{cr} může být v některých případech stanoven přibližně ručně podle [EN 1993-1-1 §5.2.1 4\(B\)](#). Počítačová analýza zde poskytne přesné řešení při stanovení α_{cr} včetně organizace zatěžovacích stavů a určení rozhodujících vlivů na konstrukci.

Teoreticky je možné v souladu s [EN 1993-1-1 §5.2.1](#) pomocí výpočtu podle teorie druhého řádu navrhnout i vazbu s hodnotou α_{cr} menší než 3,0. Taková konstrukce bude ovšem mít tak malou vodorovnou tuhost, že zřejmě nesplní požadavky na vodorovný průhyb běžných konstrukcí. Takový přístup lze proto použít jen pro zvláštní případy, jejichž řešení není záměrem tohoto dokumentu.

5.2 Ztužené vazby ve spojitě konstrukci

Tam, kde o návrhu prvků rozhoduje použitelnost (například když je výrazně omezena výška nosníků), **může** být hospodárnější návrh ztužené vazby ve spojitě konstrukci.

Úvahy týkající se ztužení jsou stejné jako v předešlém případě (prostá konstrukce). Je nezbytné provést kompletní výpočet vazby ke stanovení vnitřních sil ve sloupech, nosnících, ztužidlech a přípojích. Pro tyto vazby může být vhodné použít plastický návrh.

Výhody

- Tuhé přípoje nosníků ke sloupům výrazně zvyšují tuhost stropních konstrukcí čímž zvyšují jejich použitelnost v případech velkých rozpětí či omezené stavební výšky.

Nevýhody

- Sloupy (zejména vnější) musí být výrazně masivnější, aby přenesly ohybové momenty.
- Přípoje nosníků ke sloupům jsou nákladné.
- Výrazné momenty v přípojích nosníků značně snižují účelnost použití spřažených stropů.
- Globální analýza je obtížná, optimalizace dimenzí prvků je složitější.

Počítačová analýza je nezbytná:

- pro určení vnitřních sil v nosnících a sloupech
- pro určení rozdělení vodorovných účinků mezi ztužidly a rámy
- pro určení α_{cr}

Pokud je možné použít počítačový výpočet podle teorie druhého řádu, je to pravděpodobně účinnější cesta k hospodárnému návrhu než použití přístupu zvětšených momentů podle [EN 1993-1-1 § 5.2.1 \(3\)](#).

5.3 Neztužené vazby: Obecně

Pokud dispozice objektu neumožňuje použití ztužidel, je nutné použít spojitou nebo částečně spojitou konstrukci k zajištění stability při vodorovném namáhání. (Řešení částečně spojitě konstrukce je složité a není předmětem tohoto dokumentu).

Výpočty jsou poměrně složité. Dobrá volba vstupních průřezů prvků vede k rychlejšímu a hospodárnému výslednému návrhu.

1. Použijte dokument [SN012](#) pro návrh průřezů sloupů. Tyto grafy zohledňují současné působení normálových sil a momentů.
2. Průřezy nosníků pro $\frac{wl^2}{12}$, kde w je rovnoměrné zatížení na jednotku délky a l je rozpětí nosníku.
3. Nejprve proveďte výpočet podle teorie prvního řádu pro vodorovné a svislé zatížení a podle [EN 1993-1-1 §5.2.1\(4\)B](#) odhadněte α_{cr} a ověřte, zda konstrukce splňuje podmínky vodorovné deformace, viz [SN034](#).

Je nutné uvažovat účinky druhého řádu. Pokud $\alpha_{cr} \geq 3,0$, [EN 1993-1-1 §5.2.2 \(5\)B](#) a (6)B umožňuje použití přístupu zvýšeného momentu a síly od vodorovného zatížení. Tento postup může být výhodnější než výpočet podle teorie druhého řádu.

Výhody

- Umožňuje dispoziční řešení bez příhradových ztužidel.

Nevýhody

- Sloupy (zejména vnější) musí být výrazně masivnější, aby přenesly ohybové momenty.
- Přípoje nosníků ke sloupům jsou nákladné.
- Výrazné momenty v přípojích nosníků značně snižují účelnost použití spřažených stropů.
- Globální analýza je obtížná, optimalizace dimenzí prvků je složitější.

Komplexní analýza je nezbytná ze obdobných důvodů jako v části 5.2.

5.4 Ztužující rámy

Jak je vidět z obrázku 5.1 (a), může být z dispozičních důvodů žádoucí použít k zajištění konstrukce proti vodorovným účinkům diskretní „silné rámy“ nebo „zesílené“ vazby.

Vodorovnou tuhost objektu je možné zajistit také kombinací jednotlivých ráků se ztuženými vazbami, obrázek 5.1 (b). V obou těchto případech je možné použít různé návrhové postupy pro dva typy konstrukcí.

- Pro ztužující rámy použijte postup z části 5.3. Ztužující rámy musí zajistit vodorovnou tuhost a odolnost celého objektu. Sloupy i nosíky musí proto být velmi tuhé, aby byly schopny přenesení vodorovných účinků celé konstrukce.
- Pro zbývající části konstrukce použijte koncepty části 5.1 (kloubová ztužená konstrukce).

Pro toto hybridní uspořádání musí být provedena úplná globální analýza pro stanovení α_{cr} .

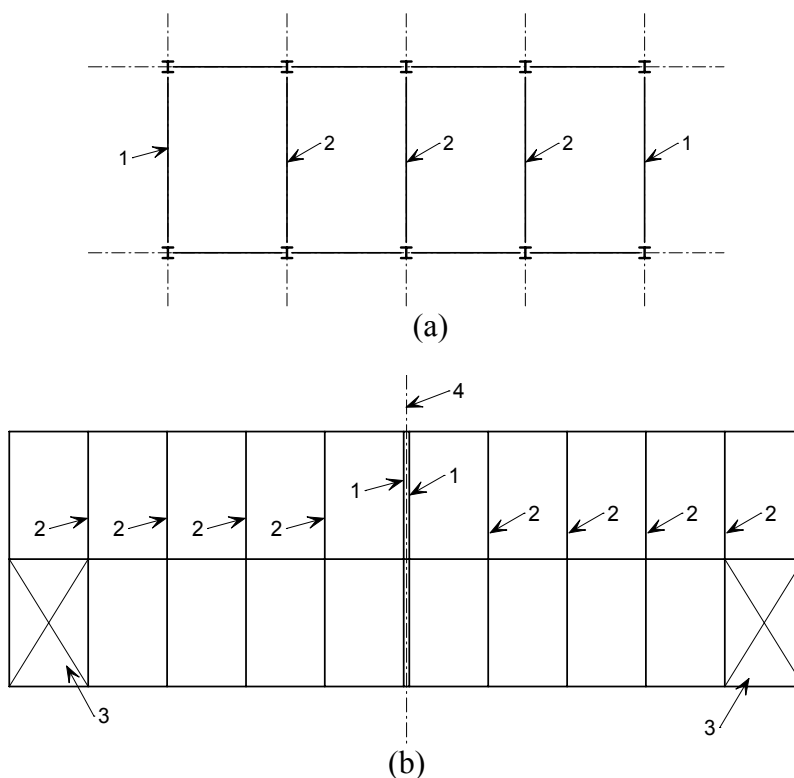
Výhody

- Umožňuje dispoziční řešení bez příhradových ztužidel.
- Redukuje počet tuhých přípojů nosníků ke sloupům, které musí přenášet velké ohybové momenty.

Nevýhody

- Sloupy (zejména vnější) ztužujících ráků musí být výrazně masivnější, aby přenesly ohybové momenty.
- Přípoje nosníků ke sloupům ve ztužujících rámech jsou nákladné.
- Je třeba věnovat zvýšenou pozornost rozdělení vodorovné tuhosti mezi ztužující rámy, jednoduché vazby a ztužené vazby (pokud jsou použity).
- Globální analýza je obtížná, optimalizace dimenzí prvků je složitější.

Z důvodů uvedených v části 5.2 je nutné při výpočtu ztužujících ráků vzít v úvahu celou konstrukci. Použití počítačového modelu celé konstrukce může být výhodnější také pro lepší organizaci zatěžovacích stavů a rozhodujících účinků.



Legenda:

1. Ztužující rám s tuhým přípojem
2. Vazba s kloubovými přípoji
3. Tuhá jádra
4. Dilatační styk

Obrázek 5.1 Příklady ztužujících rámu:

- (a) Nízký objekt s nosníky o velkém rozpětí, bez vnitřních sloupů a ztužujících jader ,
 (b) Kombinace ztužujících rámu a tuhých jader

Quality Record

RESOURCE TITLE	Scheme Development: Selection of economic framing arrangements for low and medium rise, steel and composite, buildings.		
Reference(s)			
ORIGINAL DOCUMENT			
	Name	Company	Date
Created by	G W Owens	SCI	
Technical content checked by	C M King	SCI	
Editorial content checked by			
Technical content endorsed by the following STEEL Partners:			
1. UK	G W Owens	SCI	23/5/06
2. France	A Bureau	CTICM	23/5/06
3. Sweden	B Uppfeldt	SBI	23/5/06
4. Germany	C Müller	RWTH	23/5/06
5. Spain	J Chica	Labein	23/5/06
Resource approved by Technical Coordinator	G W Owens	SCI	04/9/06
TRANSLATED DOCUMENT			
This Translation made and checked by:	J. Dolejs	CTU in Prague	31/7/07
Translated resource approved by:	J. Macháček	CTU in Prague	31/7/07
National technical contact	F. Wald	CTU in Prague	