

Postup řešení: Návrh rámových konstrukcí ze svařovaných profilů

Dokument inforuje o počátečním návrhu rámových konstrukcí ze svařovaných profilů pro obvyklé průmyslové nebo komerční budovy.

Obsah

1.	Běžné použití rámové konstrukce	2
2.	Volba rámové konstrukce	2
3.	Výhody svařovaných průřezů	3
4.	Návrh velikosti průřezu	4
5.	Praktické příklady	5
6.	Materiály, výroba, transport a montáž	7
7.	Přípoje	8

1. Běžné použití rámové konstrukce

Rámové konstrukce obvykle tvoří hlavní konstrukce budov průmyslového a komerčního využití, nádraží a někdy také sportovních komplexů, které vyžadují velké prostory.

Pro tyto „lehké“ a „středně těžké“ budovy nabízí ocel jednoduché a hospodárné řešení, které splňuje i architektonické požadavky.

Rámové konstrukce také mohou být použity pro větší budovy těžkého průmyslu, zejména v oblasti výroby oceli a v energetice.

2. Volba rámové konstrukce

Několik faktorů ovlivňuje návrh všech rámových konstrukcí. Projektanti mohou volit válcované průřezy, svařované prvky, příhradové konstrukce nebo konstrukce kombinující více než jeden typ prvku pro co nejlepší splnění těchto kritérií.

Nejdůležitější kritéria jsou:

- rozpětí mezi sloupy
- velikost a typ zatížení (statické, dynamické – obvykle pojíždění jeřábů apod.)
- architektonický vzhled
- volná vnitřní výška u okapů
- relativní náklady různých řešení

Obvykle jsou svařované rámové konstrukce nejvýhodnější v těchto případech:

- u vysoce standardizovaných řešení budov, kde redukce hmotnosti oceli a hospodárnost masové produkce převáží nad přídatnými výrobními náklady. Optimalizované systémy standardizovaných budov od specializovaných dodavatelů jsou proto předmětem intenzivní soutěže.
- pro velká rozpětí, kde použití válcovaných profilů není hospodárné a použití příhradových příčlív není dobrým řešením, například kvůli velké výšce konstrukce.
- v případech velkých vnitřních sil, kde volba válcovaných profilů buď není možná díky velikosti působících sil, nebo je nepřijatelná protože by znamenala snížení vzdáleností rámu.

Vyskytují se i kombinovaná řešení; běžné případy jsou:

- svařované sloupy s příhradovými vazníky pro velká rozpětí
- svařované sloupy s válcovanými příčlemi u průmyslových budov s malými rozpětími, kde pojíždějí jeřáby manipulují s velkým zatížením



Foto: Jean-Pierre Muzeau – Copyright APK

Obrázek 2.1 Příklad na montáž budovy vytvořené ze svařovaných rámových konstrukcí

3. Výhody svařovaných průřezů

3.1 Svařované průřezy versus válcované průřezy

Ve srovnání s tradičními válcovanými profily střední rozpětí umožňují svařované prvky redukci průřezů jejich přizpůsobením průběhu vnitřních sil. To není v případě diskrétní řady válcovaných profilů jednoduše možné.

Zatímco vnější rozměry zůstávají zachovány, v oblastech s malou smykovou silou je možné ztenčit stěnu a v místech s malými momenty mohou být zmenšeny tloušťky pásnic. To výrazně redukuje hmotnost – ovšem za cenu tupých svarů mezi plechy pásnic a stěny s rozdílnými tloušťkami.

Použití svařovaných nebo příhradových prvků bývá nezbytné pro velká rozpětí a/nebo velká zatížení, kde jsou komerční profily nevyhovující.

3.2 Svařované průřezy versus příhradové prvky

Ve srovnání s příhradovými prvky jsou složené průřezy estetičtější. Jejich menší výška také snižuje objem budovy. Navíc je potřeba menší počet přípojů a jejich jednoduchost pro průměrná rozpětí obvykle dává svařované variantě výhodnější cenu.

Na druhou stranu příhradovými vazníky lze snadno převést velká potrubí a roury v rámci jejich výšky.

3.3 Volba mezi prvky s konstantními průřezy a prvky s náběhy

Existují dva typy složených průřezů:

- Konstantní vnější rozměry s možností změny tloušťek plechů. Tloušťka se může měnit celkově, nebo je omezena na lokální zesílení v místech přípojů.
- Složené průřezy s plynule proměnnou výškou a možností změn tloušťek pásnic.

Lze vytvořit i jiné typy průřezů, včetně průřezů s nesymetrickými pásnicemi, kde tlačena pásnice je tlustší pro zvýšení tuhosti v klopení. Je třeba ovšem poznamenat, že nesymetrické průřezy a průřezy s proměnnými šířkami vyžadují speciální zařízení pro efektivní výrobu.

Asymetrickými průřezy a průřezy s proměnnou šířkou se tento dokument dále nezabývá.

4. Návrh velikosti průřezu

4.1 Obecně

Velikost průřezu primárně závisí na rozdělení ohybového momentu podle lineární pružné analýzy.

Aby bylo možné optimalizovat průřezy, používají se složené průřezy, jejichž moment setrvačnosti je proměnný a co možná nejvíce odpovídá průběhu ohybového momentu, zejména v místech velkých ohybových momentů. Může to být provedeno pomocí:

- zvýšení stěny
- zvětšení tloušťky pásnice
- kombinace předchozích dvou.

Velikost průřezů, které jsou namáhány staticky může být první návrh proveden za předpokladů že:

- pásnice přenáší ohybový moment
- stěna přenáší smykovou sílu.

4.2 Dimenze / proporce průřezů

Pomineme-li estetické a architektonické hledisko, je rozumné navrhovat svařované nosníky s větší výškou než mají válcované průřezy, čímž se pro daný ohybový moment minimalizuje velikost pásnic.

Obdobně pásnice by měly být co možná nejširší, aby měly optimální odolnost proti klopení.

Stěna v zásadě přenese smykovou sílu. Její výška je maximalizovaná, aby se pro daný ohybový moment snížily rozměry pásnic. Pro daný průřez má být tedy co možná nejštíhlejší s redukovanou pevností ve smyku vlivem boulení.

Celý problém optimálního návrhu svařovaných prvků proto vyžaduje najít nejlepší kompromis mezi vnějšími rozměry průřezů (výškou a šířkou) a štíhlostí základních plechů

s ohledem na celkovou stabilitu konstrukce (často určenou celkovou dispozicí budovy) a lokální stabilitu (místa s lokálním zatížením je nutno vyztužit atd.).

4.3 Klasifikace průřezů

Zkušenosti ukazují, že nejehospodárnějších návrhů rámových konstrukcí ze svařovaných prvků bylo dosaženo s použitím pružných výpočtů bez zohledňování plastických redistribucí a bez odkazů na plastickou únosnost. Proto se používají následující kritéria:

- Používají se pásnice třídy 3, aby tlačena pásnice mohla dosáhnout pružného limitu.
- Používají se stěny třídy 4, aby byla snížena hmotnost konstrukce. Smykové síly jsou obecně malé a takovými prvky mohou být přeneseny i v pokritickém stavu. Lokální síly vyžadují zvláštní úvahy; obecně, pokud možno se nepoužívají výztuhy stěn, i když u větších sil mohou být nezbytné.

4.4 Specifické typy stability u svařovaných prvků

I když použití svařovaných prvků představuje významné snížení hmotnosti konstrukce, je důležité připomenout, že mají výrazně vyšší poměr $I_y : I_z$ než válcované průřezy. Tento typ průřezu je tedy mnohem náchylnější na vybočení z roviny. To ovlivňuje návrh konstrukce.

Může například nastat potřeba zajištění pásnice proti příčnému vybočení u každé vaznice a ne u každé druhé jak je běžné u klasických válcovaných průřezů.

5. Praktické příklady

5.1 Typické proporce

Pro počáteční návrh jsou doporučeny následující vztahy:

Běžná výška svařovaných prvků je $L/30$ pro příčle (kde L je rozpětí) a $H/10$ pro sloupy (kde H je výška sloupu).

Šířka průřezu obvykle odpovídá výšce h :

$$h/5 \leq b \leq h/2$$

Tloušťka stěny je mezi $h/150$ a $h/100$, větší tloušťky se obvykle používají u přípojů sloupu na příčel, kde vlivem prudké změny ohybového momentu vzniká velká smyková síla.

Je třeba poznamenat, že může být použita i štíhlejší stěna, což ovšem vyžaduje hlubší prověření boulení, přesnější výrobu a jistou opatrnost během montáže, kdy se manipuluje s velmi štíhlými prvky.

Běžný příklad:

Typické rozměry prvků rámové konstrukce o rozpětí 25 m mohou být následující:

Rozpětí	$L = 25 \text{ m}$
Výška stěny	$h = 800 \text{ mm}$
Tloušťka stěny:	6 mm ve střední části a 8 mm v rámových rozích.
Šířka pásnice:	$b = 200 \text{ mm}$
Tloušťka pásnice:	10 mm

Koutový svar v přípoji stěny na pásnici má obvykle minimální velikost, 3 až 4 mm.

5.2 Velikost průřezů

Pro počáteční návrh mohou posloužit následující údaje:

Tabulka 5.1 Maximální šířka pro pásnice třídy 3 v závislosti na tloušťce a oceli

Tloušťka (mm)	Maximální šířka (mm) pro třídu oceli			
	S235	S275	S355	S460
8	225	205	180	160
10	280	255	225	200
12	335	310	270	240
15	420	380	340	300
18	500	460	410	360
20	560	510	450	400

Tabulka 5.2 Výška stěny v mm v závislosti na tloušťce a štíhlosti

Tloušťka (mm)	Výška stěny (mm) pro poměr výška/tloušťka			
	$h_w / t_w = 100$ (*)	$h_w / t_w = 120$ (**)	$h_w / t_w = 140$	$h_w / t_w = 160$
6	600	720	840	960
8	800	960	1120	1280
10	1000	1200	1400	1600
12	1200	1440	1680	1920

(*) omezení štíhlosti v ohybu pro stěnu třídy 3 pro $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$ je $h_w / t_w = 100,4$

(**) omezení štíhlosti v ohybu pro stěnu třídy 3 pro $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$ je $h_w / t_w = 124$

6. Materiály, výroba, transport a montáž

6.1 Třídy oceli

Volba třídy oceli se provádí podle mnoha faktorů, nejdůležitějšími jsou zatížení a dovolené průhyby.

Obecné pravidlo:

- pokud je problém s deformací (například vodorovný posun hlavy sloupu pro halu s jeřábem), je vhodné volit velký moment setrvačnosti a spíše oceli S235 nebo S275 než S355.
- v případě velkých zatížení bez zvláštních omezení průhybů a když nenastává problém se vzpěrem, je vhodné použít třídu S355.

Může být také vhodné pro optimalizaci nákladů vytvořit hybridní konstrukci kombinující dvě pevnostní třídy.

Svařované průřezy se potom navrhují takto:

- pásnice z S355
- stěna z S235 nebo S275

6.2 Výroba

Výroba svařovaných prvků vyžaduje dodávku plechů standardních tloušťek, nařezaných na potřebné šířky už z velkoobchodu, nebo jsou řezány až v dílně (plamenem, laserem atd.) z větších kusů, tak aby byl minimalizován prořez.

Volba závisí na vybavení dílny a na cenovém rozdílu mezi plechy s výslednými rozměry a ceně řezání z plechů, které vyžaduje další operace.

Přímé prvky

Klasické svařované prvky jsou vyrobeny ze stěny a dvou většinou identických pásnic, čímž je vytvořen dvojse symetrický profil.

Každá pásnice je přivařena ke stěně pomocí dvou koutových svarů sloužících přenosu podélného smyku.

Tato operace se obvykle provádí ve třech krocích:

- stěna se položí naplocho, na oba okraje se přiloží pásnice a provede se průběžný koutový svar
- prvek se obrátí
- provedou se zbývající dva svary

Pro případ statického namáhání je možné v oblasti pole mimo přípoje a smykové síly připojit pásnici ke stěně jen jedním průběžným koutovým svarem. Potom se prvek obrátí a v místech poblíž přípojů a kde je potřeba přenášet velkou podélnou smykovou sílu se provede druhý svar.

Jednostranné svary nejsou vhodné pro dynamicky namáhané konstrukce.

Zakřivené a zalomené prvky

U prvků s náběhy, kde je pásnice zakřivená, způsobuje změna směru pásnice buď tah nebo tlak v přípoji stěny k pásnici. Musí to být vzato v úvahu při návrhu těchto svarů, popřípadě, pokud je to nutné, je možno přidat výztuhy.

6.3 Manipulace: V dílně, během přepravy a při montáži

Pro velmi štíhlé a dlouhé prvky je důležité pečlivě prověřit podmínky transportu a manipulace. Zvláště důležité je zabránit zkroucení prvků vlivem vlastní tíhy během zvedání; pokud nastane, může dojít k porušení v ohybu/klopení kolem jejich měkčí osy.

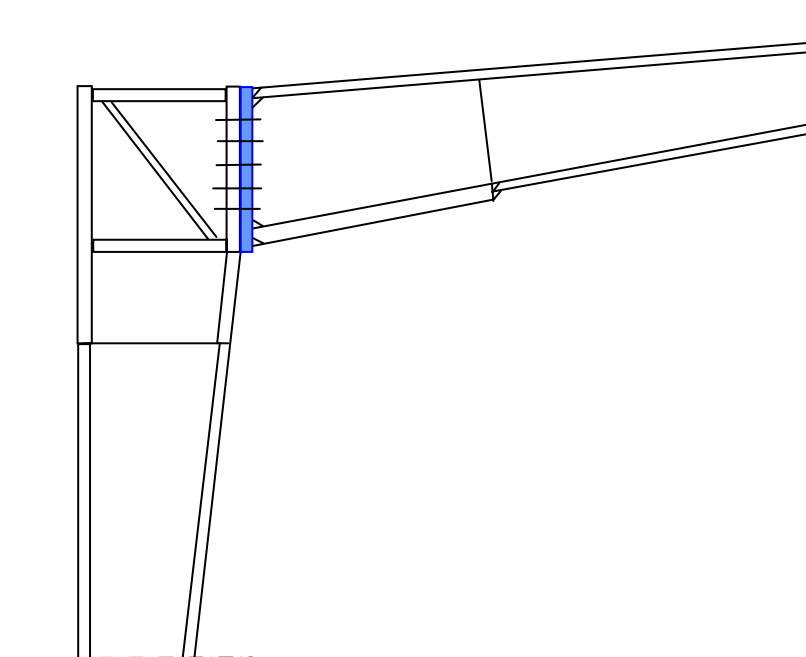
7. Přípoje

7.1 Rámové rohy a spoje ve vrcholu

Rámové rohy a spoje ve vrcholu jsou důležitými detaily a jejich návrh musí být proveden pečlivě. Obvykle se navrhují s čelními deskami a šrouby působícími v tahu.

V případě rámových konstrukcí se složenými průřezy lze jednoduše zvýšit tuhost rámového rohu zvětšením výšky průřezu a také zvětšením tloušťky stěny v této oblasti s velkou smykovou silou, jak je vidět na obrázku 7.1 a na obrázku 7.2. Vyztužení tím buď odpadá nebo se minimalizuje. Naproti tomu válcované profily by vyžadovaly vytvoření náběhu a možná přidání výztuh stěny.

Návrh svařovaných prvků tedy vyhovuje těmto specifickým bodům návrhu ve smyslu estetiky a nákladů.



Obrázek 7.1 Schéma rámového rohu

7.2 Spoje

Aby nemusela být použita zvláštní přeprava, která je vždy nákladná a vyžaduje zvláštní povolení, je často nezbytné příčle a sloupy konstrukcí pro velká rozpětí a těžkých konstrukcí rozdělit na několik dílů se spoji prováděnými na stavbě.

Také může být hospodárnější prodloužit sloup o zárodek příčle, čímž se posune na stavbě prováděný přípoj do místa s menšími vnitřními silami (i když je moment malý, přípoj stejně musí být tuhý, aby nebyly porušeny předpoklady globální pružné analýzy). Záleží na velikosti zárodku, tento návrh může samozřejmě narazit na problém při dopravě.



Foto: Jean-Pierre Muzeau – Copyright APK

Obrázek 7.2 Přípoj příčle na sloup

7.3 Patky sloupů

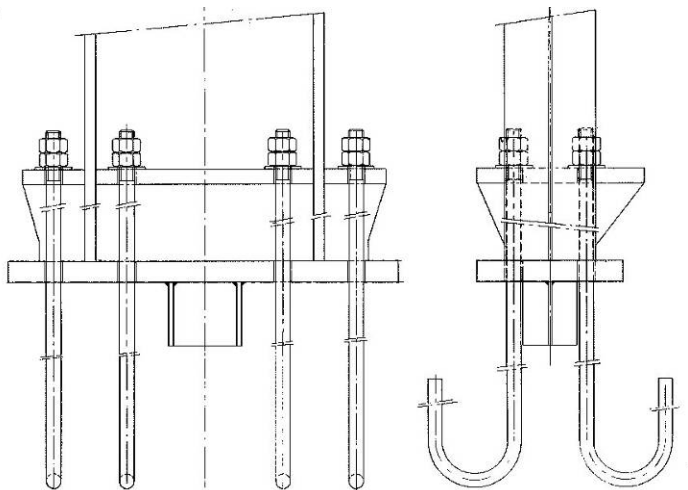
Patky sloupů jsou také důležité pro celkový návrh.

Je užitečné si uvědomit, že dimenze celé konstrukce a chování rámové konstrukce, zejména co se týče vodorovných deformací, jsou velmi závislé na podmínkách uložení sloupů na základy.

Obecné pravidlo:

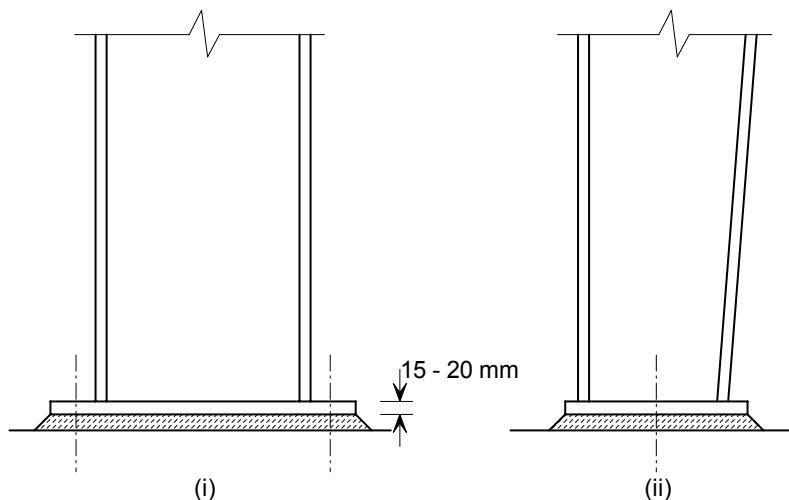
- ❑ Rámové konstrukce s tuhými patkami sloupů dosahují výrazných úspor na hmotnosti konstrukce a mají minimální vodorovné deformace. Toto řešení je proto doporučeno pro rámové konstrukce podpírající pojízďející jeřáby, kde jsou přísná omezení deformací.

- ❑ Toto řešení je také vhodné pro konstrukce přenášející velká zatížení, pro konstrukce v seismických oblastech a v oblastech velkých větrů.
- ❑ Hlavní nevýhodou tohoto řešení samozřejmě je, že vyžaduje výrazně větší základy. Musí být odolné proti překlopení přenášeným momentem. Patka sloupů musí být opatřena velkými kotevními šrouby a často také vyžaduje značné vyztužení, jak je vidět na obrázku 7.3.

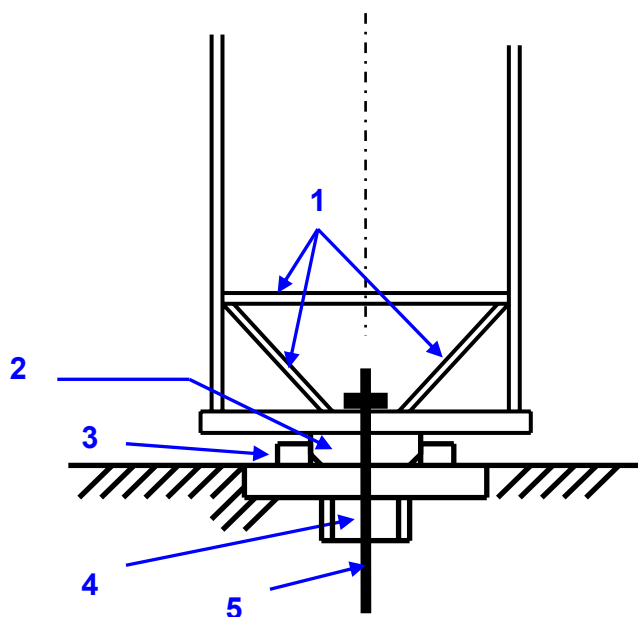


Obrázek 7.3 Tuhá patka sloupu

- ❑ Kloubové patky se používají mnohem častěji, zejména pro lehké a středně těžké konstrukce. Na obrázcích 7.4, 7.5 a 7.6 jsou znázorněna různá řešení založená na různých národních zvyklostech.



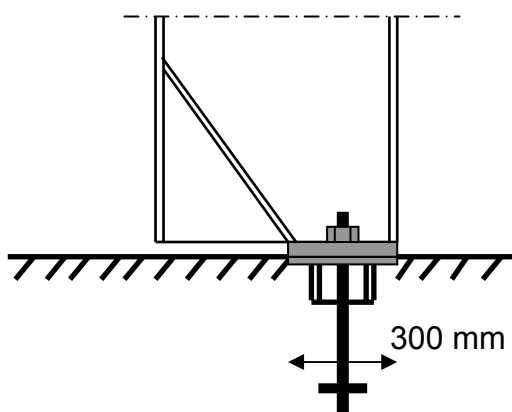
Obrázek 7.4 Jednoduché „kloubové“ patky: (i) konstantní výška průřezu sloupu; (ii) sloup s náběhem. Přestože jsou ve své podstatě tuhé, což zvyšuje bezpečnost při montáži, vykazují tyto patky klasické, praxí prověřené, „kloubové“ chování v uložení sloupů.



Legenda:

- 1: Výztuhy stěny
- 2: Ložisko
- 3: Krabice ložiska
- 4: Smyková zarážka
- 5: Kotva

Obrázek 7.5 Kloubová patka s bodovým uložením



Obrázek 7.6 Kloubová patka s nesymetrickým uložením snižuje skutečné rozpětí haly a využívá příznivého momentu vzniklého excentricitou v uložení sloupu

Quality Record

RESOURCE TITLE	Scheme Development: Design of portal frames using fabricated welded sections		
Reference(s)			
ORIGINAL DOCUMENT			
	Name	Company	Date
Created by	Jean-Claude Delongueville	CTICM	28/4/06
Technical content checked by	Patrick Le Chaffotec	CTICM	28/4/06
Editorial content checked by			
Technical content endorsed by the following STEEL Partners:			
1. UK	G W Owens	SCI	30/8/06
2. France	A Bureau	CTICM	30/8/06
3. Sweden	B Uppfeldt	SBI	30/8/06
4. Germany	C Müller	RWTH	30/8/06
5. Spain	J Chica	Labein	30/8/06
Resource approved by Technical Coordinator	G W Owens	SCI	2/10/06
TRANSLATED DOCUMENT			
This Translation made and checked by:	J. Dolejs	CTU in Prague	3/6/07
Translated resource approved by:	T. Vraný	CTU in Prague	30/8/07
National technical contact:	F. Wald	CTU in Prague	