

ČESKÁ NORMA

NAVRHOVÁNÍ OCELOVÝCH KONSTRUKCÍ

Design of steel structures

Calcul des structures en acier

Entwurf von Stahltragwerken







NAVRHOVÁNÍ OCELOVÝCH KONSTRUKCÍ

ČSN 73 1401

Design of steel structures
Calcul des structures en acier
Entwurf von Stahltragwerken

Obsah

	Strana
Předmluva	2
1 Předmět normy	5
2 Termíny a značky	5
3 Zásady navrhování	6
3.1 Základní požadavky	6
3.2 Mezní stavy	6
3.3 Zatížení	7
3.4 Vlastnosti materiálů	8
3.5 Podmínky spolehlivosti	8
4 Materiály	9
4.1 Všeobecně	9
4.2 Základní materiál	9
4.3 Svařitelnost oceli	10
4.4 Materiálové vlastnosti za tepla válcované oceli	10
4.5 Odlitky a výkovky	11
4.6 Hodnoty fyzikálních veličin oceli	11
4.7 Přídavné materiály pro svařování	11
4.8 Šrouby a nýty	12
4.9 Výpočtové hodnoty pevnosti materiálů a spojů	13
5 Mezní stavy použitelnosti	15
5.1 Všeobecně	15
5.2 Pružné průhyby	15
5.3 Dynamické účinky	18
6 Mezní stavy únosnosti	18
6.1 Základní ustanovení	18
6.2 Výpočet vnitřních sil a momentů	19
6.3 Klasifikace průřezů	19
6.4 Požadavky na průřezy při plasticitním výpočtu	24
6.5 Požadavky na průřezy při pružnostním výpočtu	24
6.6 Únosnost kompaktních průřezů	24
6.7 Únosnost štíhlých průřezů	29
6.8 Vzpěrná únosnost celistvých prutů	43
6.9 Vzpěrná únosnost členěných prutů	50
7 Spoje	56
7.1 Všeobecně	56
7.2 Klasifikace spojů podle tuhosti a únosnosti	56
7.3 Šroubové, nýtové a čepové spoje	56
7.4 Svarové spoje	64

8 Únava	70
8.1 Všeobecně	70
8.2 Případy nevyžadující posouzení na únavu	70
8.3 Předpoklady výpočtu na únavu	70
8.4 Parciální součinitelé spolehlivosti při výpočtu na únavu	71
8.5 Výpočet napětí při namáhání na únavu	71
8.6 Výpočet únavové pevnosti	72
8.7 Výpočet poškození únavou	73
8.8 Posouzení na únavu	76
9 Křehký lom	77
9.1 Všeobecně	77
9.2 Návrh podle přechodových teplot materiálu	77
9.3 Návrh podle lomové houževnatosti materiálu	78
10 Navrhování pomocí zkoušek	80
10.1 Všeobecně	80
10.2 Příprava zkoušek	80
10.3 Provádění zkoušek	81
10.4 Vyhodnocení zkoušek	82
10.5 Dokumentace o zkouškách	82
11 Pokyny pro konstruování	82
11.1 Všeobecně	82
11.2 Konstrukční řešení ocelových konstrukcí pozemních staveb	82
11.3 Ochrana proti korozi	84
12 Zabezpečování a prokazování jakosti	84
Příloha A (informativní) Základní pravidla spolehlivosti ocelových konstrukcí	85
Příloha B (normativní) Ekvivalentní imperfekce prutů	89
Příloha C (normativní) Vzpěrné délky prutů	90
Příloha D (informativní) Výpočtové normálové síly a ohybové momenty plastické únosnosti redukované vlivem smykových sil	105
Příloha E (normativní) Součinitelé vzpěrnosti χ	106
Příloha F (informativní) Křehký lom	110
Příloha G (normativní) Pruty namáhané kroucením	114
Příloha H (normativní) Kritické štíhlosti prutů při klopení	116
Příloha J (informativní) Součinitelé φ_f pro výpočet smykové únosnosti stojin	121
Příloha K (normativní) Klasifikační tabulky konstrukčních detailů pro výpočet na únavu	123
Příloha L (informativní) Určení únavové pevnosti podle výsledků zkoušek	135

Předmluva

Tato norma je v podstatné míře sjednocena s ČSN P ENV 1993-1-1 Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1.1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby (73 1401)

Citované normy

ČSN 01 3155	Technické výkresy. Označovanie zvarov na výkresoch
ČSN 01 4010	Metrické závity. Výběr pro šrouby a matice
ČSN 02 1005	Přesné šrouby a matice. Technické dodací předpisy
ČSN 02 1006	Hrubé šrouby a matice. Technické dodací předpisy
ČSN 02 1070	Podložky. Technické dodací předpisy
ČSN 02 1101	Přesné šrouby se šestihrannou hlavou
ČSN 02 1401	Přesné šestihranné matice
ČSN 02 1601	Hrubé šestihranné matice
ČSN 02 1706	Podložky pro třecí spoje

- ČSN 02 1721 Hrubé podložky
- ČSN 02 1739 Podložky pro tyče I, U, IE, UE
- ČSN 03 8260 Ochrana ocelových konstrukcí proti atmosférické korozi. Předpisování, provádění, kontrola jakosti a údržba
- ČSN 05 1173 Nedestruktivní zkoušky. Klasifikace jakosti svarových spojů zkoušených ultrazvukem podle ČSN 05 1172
- ČSN 05 1305 Klasifikace svarů podle radiogramů
- ČSN 05 1310 Zváranie. Skúšanie zvariteľnosti ocelí. Základné ustanovenia
- ČSN 05 1312 Zváranie. Skúšanie zvariteľnosti ocelí hrubších ako 5 mm na zváranie plameňovými a oblúkovými spôsobmi
- ČSN 05 1314 Zváranie. Zvariteľnosť a jej hodnotenie. Skúšky odolnosti proti lamelárnej praskavosti
- ČSN 05 3401 Zváranie. Tepelné delenie kovov, rezanie kovov kyslíkom a plazmou. Akosť, označovanie a meranie povrchu rezných plôch
- ČSN 27 0103 Navrhování ocelových konstrukcí jeřábů. Výpočet podle mezních stavů
- ČSN 41 5217 Ocel 15 217 Cr-Ni-Cu-P
- ČSN 42 0346 Zkoušení kovů. Stanovení přechodové teploty konstrukčních ocelí zkouškou rázem v ohybu velkých těles původní tloušťky
- ČSN 42 0347 Skúšanie kovov. Lomová húževnatosť kovov pri statickom zaťažení
- ČSN 73 0031 Spolehlivost' stavebních konstrukcí a základových púd. Základní ustanovení pro výpočet
- ČSN 73 0035 Zatížení stavebních konstrukcí
- ČSN 73 0038 Navrhování a posuzování stavebních konstrukcí při přestavbách
- ČSN 73 1495 Šroubové třecí spoje ocelových konstrukcí
- ČSN 73 2030 Zatěžovací zkoušky stavebních konstrukcí. Společná ustanovení
- ČSN 73 2031 Zkoušení stavebních objektů, konstrukcí a dílců. Společná ustanovení
- ČSN 73 2037 Zatěžovací zkoušky kovových stavebních dílců
- ČSN 73 2039 Náhradní zatěžovací zkoušky ocelových konstrukcí a dílců
- ČSN 73 2601 Provádění ocelových konstrukcí
- ČSN 73 2611 Úchyly rozměrů a tvarů ocelových konstrukcí
- ČSN EN 10025 Výrobky válcované za tepla z nelegovaných konstrukčních ocelí. Technické dodací podmínky (42 0904)
- ČSN EN 10204 Kovové výrobky. Druhy dokumentů kontroly (42 0009)
- ČSN P ENV 1993-1-1 Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1.1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby (73 1401)
- ČSN EN 45012 Všeobecná kritéria pro certifikační orgány provádějící certifikaci systémů jakosti (01 5257)
- EN 10027 Systémy označování ocelí – dosud nezavedena
- ISO 5817 Svarové spoje ocelí zhotovené obloukovým svařováním. Směrnice na určování stupňů jakosti – dosud nezavedena
- ISO 7412 Šrouby se šestihrannou hlavou pro vysokopevnostní šroubové spoje se zvětšeným otvorem klíče – Stupeň C – Pevnostní třídy 8.8 a 10.9 – dosud nezavedena
- ISO 7414 Šestihranné matice pro šroubové spoje se zvětšeným otvorem klíče – Stupeň B – Pevnostní třída 10 – dosud nezavedena
- ISO 7416 Ploché tvrzené podložky se sraženými hranami pro vysokopevnostní šroubové spoje – dosud nezavedena

Další související normy

ČSN 73 1402 Navrhování tenkostěnných profilů v ocelových konstrukcích

ČSN 73 6205 Navrhování ocelových mostních konstrukcí

Obdobné zahraniční normy

BS 5950 Structural use of steelwork in buildings (Navrhování ocelových konstrukcí pozemních staveb)

DIN 18 800 Stahlbauten (Ocelové konstrukce)

Nahrazení předchozí normy

Touto normou se nahrazuje ČSN 73 1401 z 5. 4. 1984.

Změny proti předchozí normě

Hlavní změny jsou:

- prohloubení výpočtu s využitím plasticity materiálu;
- zavedení klasifikace průřezů podle štíhlosti;
- prohloubení výpočtu únosnosti kompaktních a štíhlých průřezů a vyztužených polí stojin;
- nová metodika určení výpočtové pevnosti materiálu a výpočtové únosnosti šroubových spojů;
- prohloubení metodiky navrhování konstrukcí na únavu;
- zavedení výpočtu odolnosti konstrukce proti křehkému lomu;
- uplatnění zásad navrhování na základě zkoušek;
- uplatnění zásad pro zajištění a prokazování jakosti ocelové konstrukce.

Vypracování normy

Zpracovatel: Konsorcium NORMY OK Frýdek-Místek, IČO 12664731 Prof. Ing. Pavol Juhás, DrSc.,
Ing. Lubomír Rozlívka, CSc.

Technická normalizační komise: TNK 35 Ocelové konstrukce

Pracovník Českého normalizačního institutu: Ing. Irena Pavlíčková

1 Předmět normy

Tato norma navazuje na ČSN 73 0031 a platí pro navrhování a posuzování ocelových konstrukcí staveb pozemních, průmyslových a inženýrských, pro jejichž zatížení platí ČSN 73 0035.

Může být uplatněna i pro navrhování a posuzování ocelových konstrukcí technologických nebo jiných nosných zařízení, pokud jejich provozní podmínky a konstrukční tvary jsou obdobné jako u staveb a pokud splňují dále uvedené předpoklady.

Normu nelze použít pro navrhování ocelových konstrukcí z materiálu o tloušťce menší než 4 mm a pro konstrukce vystavené teplotám vyšším než 100 °C.

Ustanovení této normy platí za těchto předpokladů:

- konstrukce jsou navrhovány příslušně kvalifikovanými a zkušenými osobami;
- je zajištěn dohled a kontrola jakosti při výrobě i při montáži;
- stavbu provádějí osoby s příslušnou odborností a zkušeností;
- stavební materiály a výrobky se používají podle ustanovení této normy nebo podle ustanovení příslušných předpisů pro materiály nebo výrobky;
- konstrukce se bude náležitě udržovat;
- konstrukce bude užívána v souladu s předpoklady projektu.

S ohledem na požadované funkční vlastnosti konstrukce, na způsob výroby a na požadovanou přesnost výroby se ocelové konstrukce zařazují do výrobních skupin podle ČSN 73 2601.

2 Termíny a značky

Termíny a značky použité v této normě vycházejí z ČSN P ENV 1993-1-1. Používají se tyto hlavní opakující se značky:

<i>A</i>	mimořádné zatížení, plocha
<i>E</i>	modul pružnosti
<i>F</i>	zatížení, síla
<i>G</i>	stálé zatížení, modul pružnosti ve smyku
<i>I</i>	moment setrvačnosti
<i>K</i>	součinitel tuhosti
<i>L</i>	délka, rozpětí, systémová délka
<i>M</i>	moment, ohybový moment
<i>N</i>	normálová síla
<i>Q</i>	nahodilé zatížení
<i>R</i>	únosnost, reakce, pevnost
<i>S</i>	vnitřní síly a momenty (s indexy <i>d</i> nebo <i>k</i>)
<i>V</i>	posouvající síla, celkové svislé zatížení nebo reakce
<i>W</i>	průřezový modul
<i>f</i>	pevnost (materiálu)
<i>h</i>	výška
<i>i</i>	poloměr setrvačnosti, celé číslo
<i>k</i>	součinitel
<i>l</i>	(nebo <i>L</i>): délka, rozpětí, vzpěrná délka
<i>q</i>	rovnoměrné spojitě zatížení
<i>r</i>	poloměr, poloměr zaoblení
<i>t</i>	tloušťka
γ	parciální součinitel spolehlivosti, poměr
δ	průhyb, přetvoření
ε	poměrné přetvoření, poměr
λ	štíhlostní poměr, poměr
ν	součinitel příčného přetvoření (Poissonovo číslo)
ρ	redukční součinitel, hustota
σ	normálové napětí
τ	smykové napětí

Indexy:

<i>d</i>	výpočtový, diagonální
<i>eff</i>	účinný
<i>el</i>	pružný
<i>f</i>	pásnice, spojovací prostředek
<i>pl</i>	plastický

3 Zásady navrhování

3.1 Základní požadavky

3.1.1 Konstrukce má být navržena a provedena tak, aby

- byla s přijatelně malou pravděpodobností poruchy schopna užívání k požadovanému účelu po celou předpokládanou dobu života;
- odolala s příslušnou spolehlivostí všem zatížením, jejichž výskyt lze během provádění a užívání očekávat;
- případné nehodové poškození mělo omezený rozsah;
- byla hospodárná;
- měla přiměřenou trvanlivost ve vztahu k udržovacím nákladům.

3.1.2 Možnost poškození může být omezena následujícími způsoby:

- odstraněním nebo omezením zdrojů rizik;
- použitím konstrukce méně citlivé na rizika;
- použitím takového typu konstrukce, který se nezhroutí při poškození nebo odstranění některého prvku při nehodě;
- zajištěním spolupůsobení jednotlivých částí konstrukce.

3.1.3 Splnění požadavků podle 3.1.1 a 3.1.2 se zajistí:

- volbou vhodných materiálů;
- přiměřeným výpočtem a konstrukčními úpravami;
- kontrolou projektu, výroby a údržby.

3.2 Mezní stavy

3.2.1 Při navrhování ocelových konstrukcí se uvažují tyto skupiny mezních stavů:

Mezní stavy únosnosti:

- porušení stability polohy;
- překročení pevnosti;
- ztráta stability tvaru konstrukce nebo některé její části;
- únavový lom;
- křehký lom;
- nadměrná plastická deformace.

Mezní stavy použitelnosti:

- nadměrné průhyby;
- nepřijatelná dynamická odezva (např. kmitání apod.).

3.2.2 Žádný z možných mezních stavů nesmí být překročen. Je nutné uvažovat všechny možné návrhové situace a zatěžovací případy, včetně běžného užívání, montáže, oprav i nehod.

Výpočtové modely mají zahrnovat všechny důležité faktory, včetně odhadu chování konstrukce, úrovně výroby a spolehlivosti vstupních dat. Podle potřeby je možné výpočet doplnit nebo nahradit experimentem.

3.2.3 Pro zajištění odpovídající trvanlivosti konstrukce se mají uvažovat tyto navzájem souvisící činitele:

- účel konstrukce;
- požadavky na funkci konstrukce;
- očekávané podmínky prostředí;
- vlastnosti materiálu;
- tvar konstrukčních prvků a konstrukční detaily;
- úroveň provádění, kontroly a údržby;
- ochranná opatření;
- očekávaná doba života konstrukce.

3.3 Zatížení

3.3.1 Všeobecně

3.3.1.1 Veškeré údaje o zatížení je nutné uvažovat v souladu s ČSN 73 0035.

3.3.1.2 Charakteristické hodnoty zatížení F_k jsou hodnoty normových zatížení podle ČSN 73 0035, nebo hodnoty, určené dohodou zákazníka, projektanta a odpovědného úřadu.

3.3.1.3 Výpočtové hodnoty zatížení F_d se určí ze vztahu

$$F_d = \gamma_f F_k, \tag{1}$$

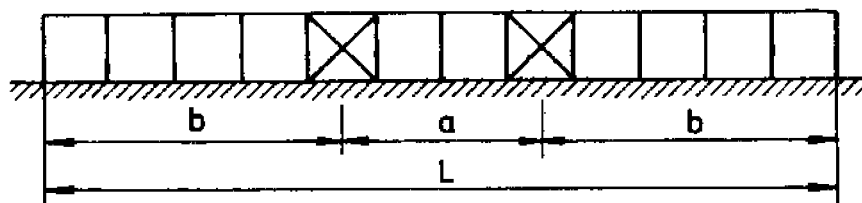
kde γ_f je parciální součinitel spolehlivosti zatížení podle ČSN 73 0035. Obecně se rozlišují extrémní a provozní výpočtová zatížení, která se liší velikostí součinitelů γ_f .

3.3.1.4 Kombinace zatížení se uvažují podle ČSN 73 0035. Jsou-li k dispozici potřebné údaje, je možné účinek většího počtu zatížení vyjádřit statistickým výpočtem podle zásad uvedených v informační příloze A.

3.3.2 Zatížení konstrukcí pozemních staveb teplotami

3.3.2.1 U konstrukcí, které nejsou mimořádně citlivé na zatížení teplotami, se zatížení klimatickými teplotami stanoví z normových hodnot uvedených v tabulce 1.

Zatížení klimatickými teplotami nemusí být uvažováno, je-li konstrukce členěna na dilatační úseky uvedené v tabulce 2 a znázorněné na obrázku 1. Tato tabulka platí i v příčném směru budovy. Vzdálenost a v tomto případě označuje šířku staticky neurčitě části příčné vazby.



Obrázek 1 – Dilatační úseky ocelových konstrukcí budov

Tabulka 1 – Klimatické teploty

Zatížení teplotami	Normové hodnoty klimatických teplot	
	v budovách	venkovních
Výchozí teplota	+10 °C	
Odchylka průměrné teploty od výchozí teploty	±20 °C	±30 °C
Teplotní rozdíl částí konstrukce	15 °C	

Tabulka 2 – Mezní rozměry dilatačních úseků

Hodnoty v m

Konstrukce		Vzdálenost		
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>L</i>
Chráněná	ve vytápěné budově	50	90	230
	v nevytápěné budově a v teplých provozech	50	75	200
Nechráněná (venkovní)		30	50	130

3.3.2.2 Ocelové konstrukce v horkých provozech mají být chráněny tak, aby teplota konstrukce nepřekročila 100 °C.

Ne-li taková ochrana zajištěna, posuzuje se konstrukce s ohledem na změny mechanických vlastností oceli za vysokých teplot a na namáhání způsobené zatížením provozními teplotami.

3.3.2.3 Požární odolnost ocelové konstrukce se posuzuje podle zvláštních předpisů.

3.4 Vlastnosti materiálů

3.4.1 Vlastnost materiálu se vyjadřuje výpočtovou hodnotou X_d , která odpovídá příslušné pravděpodobnosti vzniku mezního stavu, nebo charakteristickou hodnotou X_k , která odpovídá 5% kvantilu skutečného statistického rozložení příslušné materiálové veličiny.

3.4.2 Hodnoty výpočtové pevnosti f_d se určí ze vztahu

$$f_d = f_k / \gamma_M, \quad (2)$$

kde f_k je charakteristická hodnota pevnostní veličiny (meze kluzu f_y nebo pevnosti v tahu f_u);
 γ_M parciální součinitel spolehlivosti materiálu.

3.4.3 Pokud jsou k dispozici potřebné údaje, je možné výpočtové nebo charakteristické hodnoty pevnostních veličin materiálu určit statistickým výpočtem podle zásad uvedených v informativní příloze A.

3.4.4 Výpočtové hodnoty jiných materiálových veličin se určují obdobně jako výpočtová pevnost podle 3.4.2 a 3.4.3.

3.4.5 Pokud nejsou charakteristické hodnoty materiálových veličin známy, nahrazují se jmenovitými hodnotami podle kapitoly 4.

3.5 Podmínky spolehlivosti

3.5.1 Při mezním stavu únosnosti musí být konstrukce navržena tak, aby byla splněna podmínka

$$\gamma_n S_d \leq R_d, \quad (3)$$

kde S_d je účinek extrémního výpočtového zatížení;
 R_d výpočtová únosnost;
 γ_n součinitel účelu konstrukce podle ČSN 73 0031.

3.5.2 Při mezním stavu použitelnosti se posuzuje, zda účinky od provozního výpočtového zatížení nejsou větší než příslušné mezní hodnoty.

4 Materiály

4.1 Všeobecně

4.4.1 Pro ocelové konstrukce se používají materiály, jejichž mechanické vlastnosti a chemické složení jsou stanoveny v příslušných normách technických dodacích podmínek ocelí a jejichž tvary a rozměry jsou uvedeny v normách rozměrů a geometrických odchylek hutních výrobků.

4.1.2 Oceli o tažnosti menší než 15 % nejsou pro svařované ocelové konstrukce vhodné.

4.1.3 Kromě materiálů uvedených v této kapitole je možné použít i jiné materiály, pokud splňují požadavky této normy a byly dohodnuty mezi zákazníkem, projektantem a odbornou institucí.

4.2 Základní materiál

4.2.1 Pro ocelové konstrukce se obvykle používají základní materiály pevnostních tříd Fe 360, Fe 430 a Fe 510 a tříd houževnatosti B, C, D, dodávané v souladu s ČSN EN 10025. Jejich přehled podle materiálových listů je uveden v tabulce 3.

4.2.2 Pro konstrukce do vnějších prostředí je vhodné použít patinující oceli bez ochranných protikorozních nátěrů. Pro tyto účely lze použít

- ocel 15 217 podle ČSN 41 5217, která přibližně odpovídá pevnostní třídě Fe 510 C;
- ocel 15 127 podle technické normy výrobce oceli, která přibližně odpovídá pevnostní třídě Fe 510 D.

Pro návrh a konstrukční řešení konstrukcí z patinujících ocelí je nutné dodržet zvláštní podmínky a předepsat příslušná opatření pro výrobu a údržbu.

Tabulka 3 – Doporučené základní materiály pro svařované ocelové konstrukce

Pevnostní třída oceli podle		Třída houževnatosti		
ČSN EN 10025	EN 10027	B	C	D
Fe 360	S 235	11 373 11 375	11 378	11 378
Fe 430	S 275	11 443	11 448	11 448 11 449
Fe 510	S 355		11 523	11 503

4.2.3 V technicky a ekonomicky odůvodněných případech se po dohodě s výrobcem ocelové konstrukce mohou použít svařitelné konstrukční oceli vysoké pevnosti ($f_y = 400$ MPa až 700 MPa).

Pro návrh a konstrukční řešení konstrukcí z ocelí vysoké pevnosti je nutné dodržet zvláštní podmínky a předepsat příslušná opatření pro výrobu.

4.2.4 V konstrukci i v jednotlivých průřezích je možné vzájemně kombinovat oceli různých pevnostních tříd. Důsledky kombinace materiálu pro únosnost je nutné posoudit podle zvláštních podmínek a pro výrobu předepsat příslušná výrobní opatření.

4.2.5 Plechy a široká ocel pro prvky nosných konstrukcí se objednávají s dokumenty kontroly jakosti materiálu podle ČSN EN 10204. Zpravidla se požadují dokumenty kontroly jakosti materiálu typu 2.2, u náročnějších konstrukcí typu 3.1.B. Jejich druh se předepisuje v projektové a výrobní technické dokumentaci. Plechy pro nosné prvky se obvykle používají ve stavu normalizačně žíhaném nebo normalizačně válcovaném.

Další základní konstrukční materiály (tyče, profily) se zpravidla objednávají s dokumenty kontroly jakosti materiálu typu 2.2 nebo 3.1.B. Obvykle se používají ve stavu po válcování.

4.2.6 Pevnostní třída oceli se určuje podle funkčních, konstrukčních, výrobních a ekonomických podmínek.

Třída houževnatosti oceli se určuje podle:

- způsobu spojování;
- způsobu a úrovně namáhání prvku;
- důsledků porušení konstrukce;
- tloušťky materiálu;
- provozní teploty konstrukce.

Maximální tloušťky materiálu, vyhovující z hlediska křehkého lomu, jsou v závislosti na způsobu namáhání, důsledcích porušení a na minimální provozní teplotě konstrukce uvedeny v informativní příloze F.

4.3 Svařitelnost oceli

4.3.1 Pro svařované konstrukce je nutné použít oceli vhodné pro svařování podle ČSN 05 1310. Vhodnost oceli ke svařování se hodnotí pomocí ukazatelů svařitelnosti podle ČSN 05 1312. Tomu vyhovují oceli podle ČSN EN 10025, přitom se konkrétní třída houževnatosti oceli určí podle typu konstrukce a její provozní teploty.

Celistvost a požadované mechanické vlastnosti svarových spojů se zajistí volbou vhodného přídavného materiálu a dodržáním technologického postupu svařování, který se určí podle hodnoty ekvivalentu uhlíku C_E , tloušťky materiálu, tuhosti a konstrukčního řešení svařence.

Jakost svarových spojů se hodnotí klasifikačními stupni podle ČSN 05 1305 nebo ČSN 05 1173. Přípustnost vad se posuzuje podle požadavků na únosnost a dobu života konstrukce.

4.3.2 Základním ukazatelem svařitelnosti konstrukčních ocelí je hodnota ekvivalentu uhlíku C_E . Pokud tato hodnota není garantována v normě jakosti materiálu, určí se výpočtem podle ČSN 05 1312 nebo ČSN EN 10025.

Pro svařované konstrukce z ocelí pevnostní třídy Fe 510 nebo konstrukce provozované za snížených teplot se doporučuje použít materiál s hodnotou ekvivalentu uhlíku C_E menší než 0,42.

4.3.3 Pro důležité konstrukční prvky namáhané ve směru kolmém k povrchu materiálu se doporučuje použít oceli se stupněm odolnosti proti lamelární praskavosti alespoň Z 25 podle ČSN 05 1314.

4.4 Materiálové vlastnosti za tepla válcované oceli

4.4.1 Jmenovité hodnoty meze kluzu f_y a pevnosti v tahu f_u za tepla válcovaných hutních výrobků z ocelí pevnostních tříd Fe 360, Fe 430 a Fe 510 podle ČSN EN 10025 jsou uvedeny v tabulce 4. Tyto jmenovité hodnoty je možné považovat za charakteristické.

Jmenovité hodnoty meze kluzu f_y a meze pevnosti f_u patinujících ocelí 15 217 a 15 127 se považují za rovné hodnotám pro oceli pevnostní třídy Fe 510.

4.4.2 Jmenovité hodnoty meze kluzu f_y a pevnosti v tahu f_u jiných ocelí, neuvedených v 4.2.1, popř. ocelí vysoké pevnosti, jsou uvedeny v normách jakosti příslušných ocelí hodnotami nejnižší meze kluzu a dolní hranice rozpětí pevnosti v tahu. Tyto hodnoty je možné považovat za charakteristické.

Tabulka 4 – Jmenovité hodnoty pevnostních veličin konstrukčních ocelí

Hodnoty v MPa

Pevnostní třída oceli podle		Tloušťka t mm			
		$t \leq 40$		$40 < t < 100$	
ČSN EN 10025	EN 10027	f_y	f_u	f_y	f_u
Fe 360	S 235	235	360	215	340
Fe 430	S 275	275	430	255	410
Fe 510	S 355	355	510	335	490

4.5 Odlitky a výkovky

4.5.1 Odlitky a výkovky se navrhují z ocelí, jejichž vlastnosti jsou zaručeny v normách jakosti. Doporučené oceli jsou uvedeny v tabulce 5.

4.5.2 Oceli s tažností menší než 10 % nejsou vhodné. Pokud se ke konstrukci přivařují, mají mít tažnost alespoň 15 % a být vhodné ke svařování podle ČSN 05 1310.

Tabulka 5 – Jmenovité hodnoty materiálových veličin ocelí na odlitky a výkovky

Ocel	Mez kluzu ²⁾ f_y MPa	Pevnost v tahu ²⁾ f_u MPa	Tažnost A_5 %
Odlitky			
42 2630.1	200	370	25
42 2660.1 ¹⁾	300	590	10
42 2709.1 ¹⁾	300	520	18
42 2712.1	280	500	20
Výkovky			
12 024.1	240	390	26
12 060.1	350	600	13
11 523.1	340	510	22

¹⁾ Zušlechtním mohou být mechanické hodnoty zvýšeny.
²⁾ Jmenovité hodnoty meze kluzu f_y , a pevnosti v tahu f_u , se považují za charakteristické.

4.6 Hodnoty fyzikálních veličin ocelí

Hodnoty fyzikálních veličin válcované, lité nebo kované oceli se ve výpočtech uvažují takto:

- modul pružnosti v tahu, tlaku $E = 210\,000$ MPa;
- modul pružnosti ve smyku $G = 81\,000$ MPa;
- součinitel příčné deformace $\nu = 0,3$;
- součinitel délkové tepelné roztažnosti $\alpha = 12 \times 10^{-6} (\text{°C})^{-1}$;
- hustota $\rho = 7\,850$ kg/m³.

4.7 Přídavné materiály pro svařování

4.7.1 Přídavné materiály pro svařování se volí tak, aby hodnoty meze kluzu, meze pevnosti, tažnosti a vrubové houževnatosti svarového kovu byly přibližně stejné jako odpovídající hodnoty svařované oceli.

Výrazně vyšší pevnost svarového kovu vůči pevnosti svařované oceli není přípustná. Doporučený poměr meze kluzu a meze pevnosti svarového kovu k příslušným hodnotám svařované oceli je

$$f_{y,SK}/f_y = 1,0 \text{ až } 1,3;$$

$$f_{u,SK}/f_u = 0,9 \text{ až } 1,2.$$

Pro koutové svary lze použít i přídavné materiály nižší pevnosti s lepšími plastickými vlastnostmi.

4.7.2 Pro svařování ocelí o různé pevnosti se volí přídavné materiály pevnostně odpovídající spojovanému materiálu nižší pevnosti. Podmínky svařování (např. předehřev) se určují podle spojovaného materiálu vyšší pevnosti.

4.7.3 Doporučené přídavné materiály pro svařování jsou v ČSN 73 2601.

4.8 Šrouby a nýty

4.8.1 Na spojování prvků ocelových konstrukcí se obvykle používají šrouby, matice a podložky uvedené v tabulce 6.

4.8.2 Doporučené přiřazení pevnostní třídy šroubů v závislosti na mezi kluzu spojovaných ocelí a kategorii šroubového spoje podle kapitoly 7 je uvedeno v tabulce 7.

4.8.3 Jmenovité hodnoty meze kluzu f_{yb} a pevnosti v tahu f_{ub} materiálu šroubů jsou uvedeny v tabulce 8. Považují se za charakteristické hodnoty.

Tabulka 6 – Přehled spojovacích prostředků pro šroubové spoje

Spojovací prvek	Popis	Pevnostní třída	Norma
Šrouby	hrubé se šestihrannou hlavou	4.6 5.6	– ¹⁾
	přesné se šestihrannou hlavou	5.6 8.8 10.9	ČSN 02 1101 ²⁾
	přesné s větší hlavou	8.8 10.9	ISO 7412
Matice	hrubé	4.6 5.6	ČSN 02 1601 ¹⁾
	přesné	5.6 8.8 10.9	ČSN 02 1401 ²⁾
	přesné zesílené	10.9	ISO 7414
Podložky	hrubé		ČSN 02 1721
	pro třecí spoj		ČSN 02 1706 ISO 7416 ³⁾
	šikmé pro tyče I a U		ČSN 02 1739

¹⁾ Technické dodací předpisy – ČSN 02 1006.
²⁾ Technické dodací předpisy – ČSN 02 1005.
³⁾ Technické dodací předpisy – ČSN 02 1070.

Tabulka 7 – Doporučené přiřazení pevnostní třídy šroubů podle meze kluzu f_y základního materiálu

Mez kluzu základního materiálu MPa	Kategorie šroubového spoje	
	A, D	B, C, E
	Pevnostní třída šroubu	
do 300	4.6	8.8, 10.9
300 až 450	5.6	
nad 450	—	

Tabulka 8 – Jmenovité hodnoty meze kluzu f_{yb} a pevnosti v tahu f_{ub} materiálu šroubů

Hodnoty v MPa

Pevnostní třída šroubů	f_{yb}	f_{ub}
4.6	240	400
5.6	300	500
8.8	640	800
10.9	900	1000

4.8.4 Na spojování prvků z oceli pevnostní třídy Fe 360 se obvykle používají nýty z oceli 11 343 se jmenovitými hodnotami meze kluzu $f_{yr} = 200$ MPa a pevnosti v tahu $f_{ur} = 310$ MPa. Pro prvky z ocelí pevnostních tříd Fe 430 a Fe 510 se používají nýty z oceli 10 451 se jmenovitými hodnotami meze kluzu $f_{yr} = 245$ MPa a pevnosti v tahu $f_{ur} = 440$ MPa.

Tyto jmenovité hodnoty se považují za charakteristické.

4.9 Výpočtové hodnoty pevnosti materiálu a spojů

4.9.1 Výpočtové hodnoty pevnosti základního materiálu z ocelí pevnostních tříd Fe 360, Fe 430 a Fe 510 se určují podle kapitoly 6.

4.9.2 Výpočtové hodnoty pevnosti materiálu odlitků a výkovků je možné určit přibližně podle tabulky 9.

Tabulka 9 – Výpočtové hodnoty pevnosti materiálu odlitků a výkovků

Hodnoty v MPa

Výpočtová pevnost f_{yd}					
pro odlitky z oceli ¹⁾			pro výkovky z oceli ²⁾		
42 2630	42 2660	42 2712 42 2709	12 024	12 060	11 523
160	240		190	280	280

¹⁾ Platí pro namáhání tahem i tlakem.
²⁾ Platí pro stav normalizačně žíhaný a průměr nebo tloušťku od 25 mm do 100 mm.

4.9.3 Výpočtové hodnoty pevnosti v soustředěném tlaku f_{dH} ocelí pevnostních tříd Fe 360, Fe 430 a Fe 510 podle tabulky 4 a ocelí na odlitky a výkovky podle tabulky 5 se určí přibližně podle tabulky 10. Hodnoty v tabulce platí při výpočtu napětí v soustředěném tlaku podle Hertze pro dotyk v přímce. Pro dotyk v bodě lze brát hodnoty o 25 % větší.

Tabulka 10 – Výpočtové hodnoty pevnosti f_{dH} v soustředěném tlaku

Hodnoty v MPa

Výrobek	Pevnostní třída oceli ¹⁾	f_{dH}
Vývalky	Fe 360	850
	Fe 430	950
	Fe 510	1100
Odlitky	42 2630	700
	42 2712 ²⁾ , 42 2660 ²⁾ , 42 2709 ²⁾	1100
Výkovky	12 024 ²⁾ , 12 060 ²⁾ , 11 523	850 1100

¹⁾ Pro oceli v tabulce neuvedené se výpočtová pevnost f_{dH} určí z charakteristické meze kluzu vynásobením převodním činitelem $\gamma_r = 4,0$.
²⁾ Platí pro stav normalizačně žilhaný.

4.9.4 Hodnoty výpočtové pevnosti spojů se určují podle kapitoly 6 a 7.

4.9.5 Převodní součinitel pro určení výpočtové pevnosti kotevních šroubů v tahu, pokud se počítá s výpočtovou plochou (jádem) šroubů podle ČSN 01 4010, je $\gamma_r = 0,8$.

4.9.6 Převodní součinitel pro určení výpočtové pevnosti tupých svarových spojů je

- $\gamma_r = 1,0$ při namáhání v tlaku, pro svar s plným průvarem, nebo když se počítá s účinnou plochou svaru podle kapitoly 7;
- $\gamma_r = 1,0$ při namáhání v tahu pro svary s plným průvarem, jestliže je defektoskopicky prokázán alespoň klasifikační stupeň 2 podle ČSN 05 1305, kromě tažených tupých svarů v křížovém spoji;
- $\gamma_r = 0,85$ při namáhání v tahu pro svary s plným průvarem defektoskopicky nekontrolované, avšak s řádně provařeným kořenem, u nichž lze předpokládat výskyt typů vad přípustných pro klasifikační stupeň 2 až do rozsahu přípustného pro klasifikační stupeň 4 podle ČSN 05 1305; tento součinitel platí rovněž pro tažené tupé svary v křížovém spoji a pro částečně zavařené svary, pokud se počítá jen s účinnou plochou svaru podle kapitoly 7;
- $\gamma_r = 0,7$ pro tupé jednostranně přístupné svary, u kterých není možné kontrolovat provaření kořene;
- $\gamma_r = 0,6$ při namáhání ve smyku, pokud se počítá jen s účinnou plochou svaru.

Klasifikace jakosti svarů podle ultrazvukové kontroly je předmětem dohody mezi projektantem, výrobcem a odpovědným úřadem.

4.9.7 Hodnoty výpočtové pevnosti je možné upravit vynásobením součiniteli podmínek působení γ_u , které vyjadřují zvláštnosti působení oceli, konstrukčních prvků, spojů a celých konstrukcí. Tyto součinitele je možné zavést do výpočtu po dohodě projektanta, zákazníka a odpovědného úřadu.

4.9.8 Význam objektů je možné vyjádřit součinitelem účelu konstrukce γ_n podle ČSN 73 0031. Pokud se tento součinitel neuplatní při určení účinků zatížení podle 3.5.1, může se uplatnit jako dělitel výpočtových hodnot pevnosti základního materiálu.

Význam jednotlivých nosných prvků se v závislosti na rozsahu jejich možného porušení a kontroly kvality vyjadřuje součinitelem významu prvku γ_e podle ČSN 73 0031, kterým se dělí výpočtová hodnota pevnosti materiálu.

4.9.9 Hodnoty výpočtových pevností a hodnoty parciálních součinitelů spolehlivosti materiálu, uvedené v této normě, platí pro návrhovou dobu života konstrukce $T = 80$ let.

Pro konstrukce s návrhovou dobou života delší než 80 let je potřebné hodnoty výpočtových pevností a hodnoty součinitelů spolehlivosti přiměřeně snížit, např. podle informativní přílohy A. U konstrukcí s návrhovou dobou života kratší než 80 let je možné naopak tyto hodnoty přiměřeně zvýšit.

4.9.10 Výpočtové hodnoty pevnosti materiálu je možné ve zvláštních případech určovat podle informativní přílohy A přímým statistickým výpočtem pro návrhové pravděpodobnosti poruchy P_p , jsou-li k dispozici dostatečně početné statistické soubory věrohodných hodnot příslušných materiálových charakteristik.

5 Mezní stavy použitelnosti

5.1 Všeobecně

5.1.1 Určení mezních hodnot použitelnosti závisí na vztahu účinků předpokládaných zatížení a provozních požadavků z hlediska řádného plnění požadované funkce konstrukce.

Účinky zatížení jsou z hlediska použitelnosti vyjádřeny zejména:

- pružným přetvořením;
- pružnoplastickým přetvořením s případným přihlédnutím k vlivu reologických vlastností materiálu, např. při zvýšených teplotách;
- dynamickou odezvou, vyjádřenou např. zrychlením nebo frekvencí;
- přemístěním konstrukce, např. na poddolovaném území;
- otevíráním styků, prokluzem ve spojích apod.;
- vlivem provozované konstrukce na prostředí, např. hlukem vznikajícím při zatížení konstrukce.

Požadavky z hlediska použitelnosti konstrukce jsou:

- zachování kvality životního prostředí;
- pohoda člověka, včetně estetického dojmu;
- správná funkce stavby, strojů a zařízení;
- vyloučení nebo omezení poruch výplňového a jiného stavebního vybavení objektu;
- návaznost objektu včetně ocelové nosné konstrukce na inženýrské sítě, komunikace, sousední objekty apod.;
- vodotěsnost a plynotěsnost.

5.1.2 Při mezním stavu použitelnosti se posuzuje, zda účinky od provozního výpočtového zatížení nejsou větší než mezní hodnoty, uvedené v 5.2 a 5.3.

5.1.3 Při posuzování použitelnosti ocelové konstrukce je potřebné přihlédnout ke zvláštním výrobním nebo provozním opatřením, která ovlivňují použitelnost konstrukce, jako jsou např. nadvýšení a rektifikovatelnost konstrukce nebo použití dynamických tlumičů.

5.2 Pružné průhyby

5.2.1 Svislé průhyby

5.2.1.1 Svislé průhyby, znázorněné na obrázku 2, se určují z výrazu:

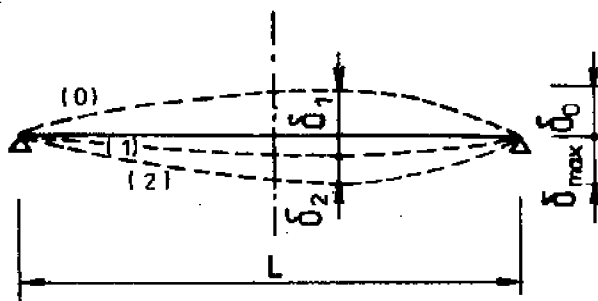
$$\delta_{max} = \delta_1 + \delta_2 - \delta_0, \quad (4)$$

kde δ_{max} je výsledný průhyb vztahovaný k přímce spojující podpory;

δ_0 nadvýšení nosníku v nezatíženém stavu – stav (0);

δ_1 průhyb nosníku od stálých zatížení bezprostředně po zatížení – stav (1);

δ_2 součet průhybů nosníku od nahodilých zatížení a časový nárůst průhybu od stálých zatížení – stav (2).



Obrázek 2 – Svislé průhyby

5.2.1.2 Doporučené mezní hodnoty svislých průhybů konstrukcí pozemních staveb jsou uvedeny v tabulce 11, ve které L je rozpětí nosníku. Pro konzoly je nutné uvažovat délku L rovnou dvojnásobku délky konzoly.

U prostorových konstrukcí nebo v jiných případech, kdy klasifikace nosných prvků podle tabulky 11 není zřejmá, je nutné omezit průhyb δ_{max} každého prvku vůči spojnici jeho podpor hodnotou nejvýše 1/250 jeho rozpětí.

Tabulka 11 – Doporučené mezní hodnoty svislých průhybů

Konstrukce, dílce	Mezní hodnoty	
	δ_{max}	δ_2
Střešní konstrukce – vaznice – vazníky – s častým výskytem osob	– – L/250	L/200 L/250 L/300
Stropní konstrukce – stropnice – průvlaky – nosoucí sloupy, pokud nebyl průhyb zahrnut do rozboru mezního stavu únosnosti	– – L/400	L/250 L/400 L/500
Stropní a střešní konstrukce – nosoucí dlažby, omítky nebo jiné křehké obklady a nepoddajné příčky	L/250	L/350
Stěny – překlady	–	L/600
Jeřábové dráhy – pro podvěsné jeřáby – pro ruční mostové jeřáby – pro mostové jeřáby do 50 t – pro mostové jeřáby nad 50 t	– – – –	L/400 L/500 L/600 L/750
Průmyslové plošiny – podlahové nosníky – průvlaky – nosníky pod kolejí úzkého rozchodu – nosníky pod železniční kolejí	– – – –	L/250 L/400 L/300 L/400
Případy, kdy průhyb δ_{max} může narušit vzhled objektu	L/250	–

5.2.1.3 U střešních konstrukcí s malým sklonem je nutné prokázat, že vytváření kaluží dešťové vody a vznik odpovídajících přírůstků průhybu nepovedou buď k narušení provozu, k porušení izolací, k závadám na odvodnění nebo k přetížení konstrukce.

5.2.2 Vodorovné průhyby nebo posunutí

5.2.2.1 Doporučené mezní hodnoty δ_2 vodorovných průhybů:

Prvky stěn:

- příčle zasklení $L/200$;
- sloupky a pažďíky $L/250$;
- sloupky a pažďíky u zasklených a vyzděných stěn $L/300$.

Vrcholy sloupů budov bez jeřábových drah od zatížení větrem:

- u portálových rámu $h/150$;
- u jednopodlažních budov $h/300$;
- u vícepodlažních budov
 - a) v každém podlaží $h/300$;
 - b) pro konstrukci jako celek $h_0/500$.

Hodnota h je výška sloupu nebo podlaží;

h_0 celková výška konstrukce.

Jsou-li stěny vyzděny, nemá být vodorovný průhyb sloupů vícepodlažních budov větší než 1/1000 výšky budovy. Přitom lze počítat se spolupůsobením zdiva, pokud je konstrukčně zajištěno.

5.2.2.2 Vodorovné průhyby δ_2 sloupů nebo vazeb budov s jeřábovými drahami zdvihové třídy H2 až H4 podle ČSN 27 0103 v úrovni temene kolejnice jeřábové dráhy nemají překročit hodnoty:

- v podélném směru $h/2000$;
- v příčném směru
 - a) je-li zajištěno prostorové spolupůsobení se sousedními sloupy nebo vazbami, ale není ve výpočtu průhybu uvažováno $h/1000$;
 - b) je-li při výpočtu uvažováno prostorové spolupůsobení nebo není-li zajištěno $h/1500$.

Hodnota h je výška od temene kolejnice jeřábové dráhy po patní plech sloupu.

Pro jeřáby zdvihové třídy H1 podle ČSN 27 0103 se dovolují dvojnásobné hodnoty.

Posuzují se průhyby od provozních výpočtových vodorovných sil jednoho, a to nejvíce zatíženého jeřábu. Mostový jeřáb lze přitom považovat za tuhý spojovací článek a průhyb sloupů v příčném směru počítat z podmínky, že průhyby sloupů pod oběma větvemi jeřábové dráhy jsou stejné. Ve směru podélném se průhyb počítá z podmínky, že průhyby všech ztužidel nebo sloupů dilatačního úseku jsou stejné. Pro jeřáby, které jen výjimečně pracují s těžkými břemeny, např. ve strojovnách elektráren, lze posuzovat průhyby od vodorovných sil, odpovídajících běžnému provozu.

5.2.2.3 Vodorovné průhyby δ_2 sloupů venkovních jeřábových drah pro jeřáby zdvihové třídy H2 až H4 v úrovni temene kolejnice jeřábové dráhy nemají překročit hodnoty:

- v podélném směru $h/1500$;
- v příčném směru
 - a) pro $h \leq 12$ m $h/1500$;
 - b) pro $h > 12$ m $h/2000 + 2$ mm.

Pro jeřáby zdvihové třídy H1 se dovolují dvojnásobné hodnoty. Průhyby se posuzují za podmínek uvedených v 5.2.2.2. Průhyby od jiných vodorovných sil (větru, nárazu jeřábu na koncový nárazník) se zpravidla neposuzují.

5.2.2.4 Vodorovný průhyb nosníku jeřábové dráhy od provozních výpočtových příčných sil jednoho jeřábu nemá překročit hodnotu 1/1000 rozpětí. Mostový jeřáb lze přitom považovat za tuhý spojovací článek, pokud tomu odpovídá konstrukce nákoků jeřábových kol.

5.3 Dynamické účinky

5.3.1 Konstrukce přístupné obsluhy nebo veřejnosti musí být navrženy tak, aby dynamické účinky zatížení, vyjádřené zejména zrychlením a frekvencí, nevyvolávaly nepohodu uživatele. Rozhodující vlastní frekvence konstrukce a jejích částí mají být pro zamezení rezonance dostatečně odlišné od frekvence budících sil.

5.3.2 Vlastní frekvence f_1 stropních konstrukcí v obytných, administrativních a obdobných budovách nesmí být menší než 3 Hz, v tělocvičnách, tanečních sálech, tribunách apod. menší než 6 Hz. Ve zvláštních případech je třeba dynamickým výpočtem prokázat, že výsledná zrychlení a frekvence nezpůsobí výraznou nepohodu uživatele nebo poruchy zařízení a jeho funkce.

Uvedené podmínky budou přibližně splněny, pokud průhyby nosníků o rozpětí $L \leq 10$ m jsou:

- u běžně přístupných stropních a střešních konstrukcí $\delta_1 + \delta_2 \leq 28$ mm;
- u tělocvičen, tanečních sálů, tribun apod. $\delta_1 + \delta_2 \leq 10$ mm.

5.3.3 Netuhé konstrukce nebo některé jejich části (např. nosné konstrukce štíhlých budov, stožáry, komíny, velkorozponová zastřešení a táhla) je potřebné posoudit z hlediska dynamických účinků větru jak ve směru, tak kolmo na směr větru.

6 Mezní stavy únosnosti

6.1 Základní ustanovení

6.1.1 Hodnota výpočtové pevnosti f_{yd} oceli odvozená od meze kluzu se určí z výrazu

$$f_{yd} = f_y / \gamma_M, \quad (5)$$

kde f_y je charakteristická hodnota meze kluzu oceli;

γ_M parciální součinitel materiálu γ_{M0} nebo γ_{M1} uvedený v tabulce 12.

Tabulka 12 – Parciální součinitelé spolehlivosti materiálu $\gamma_M^{1)}$

Únosnost	γ_M	Pevnostní třída oceli		
		Fe 360	Fe 430	Fe 510
Průřezy třídy 1, 2, 3 ²⁾	γ_{M0}	1,10	1,15	1,20
Průřezy třídy 4 ²⁾	γ_{M1}	1,10	1,15	1,20
Stabilita	γ_{M1}	1,10	1,15	1,20
Průřezy oslabené dírami pro šrouby	γ_{M2}	1,25		

¹⁾ Hodnoty parciálních součinitelů spolehlivosti materiálu ocelí základních pevnostních tříd uvedené v této tabulce byly odvozeny statistickým rozbohem skutečných hodnot meze kluzu ocelí českých a slovenských výrobců.
²⁾ Klasifikace průřezů podle 6.3.

Hodnota výpočtové pevnosti f_{ud} oceli odvozená od pevnosti v tahu se určí z výrazu

$$f_{ud} = f_u / \gamma_{M2}, \quad (6)$$

kde f_u je charakteristická hodnota pevnosti oceli v tahu;

γ_{M2} parciální součinitel průřezu oslabeného dírami pro šrouby podle tabulky 12.

6.1.2 Plastické vlastnosti mohou být využívány, pokud ocel splňuje následující podmínky:

- poměr charakteristických hodnot pevnosti v tahu f_u a meze kluzu f_y je alespoň 1,20;
- tažnost A_5 je alespoň 15 %.

Oceli podle 4.2.1 těmto podmínkám vyhovují.

6.2 Výpočet vnitřních sil a momentů

6.2.1 Vnitřní síly a momenty lze všeobecně stanovit s použitím:

- pružnostního výpočtu nebo
- plasticitního výpočtu.

Přitom se počítá:

- podle teorie 1. řádu s použitím návrhové geometrie konstrukce nebo
- podle teorie 2. řádu s uvážením vlivu počátečních imperfekcí a přetvoření konstrukce od zatížení.

6.2.2 Pružnostní výpočet je založen na předpokladu lineární závislosti napětí a přetvoření. Při plasticitním výpočtu se předpokládá vznik plastických kloubů a plastických mechanismů při uplatnění tuhoplastického nebo pružnoplastického pracovního diagramu.

6.2.3 Teorii 1. řádu lze uplatnit v případech, kdy přetvoření konstrukce od zatížení podstatně neovlivňuje velikost vnitřních sil a momentů. Přibližné podmínky pro uplatnění teorie 1. řádu nebo teorie 2. řádu jsou v ČSN P ENV 1993-1-1.

6.2.4 Při výpočtu vnitřních sil, momentů a přetvoření je třeba uvážit vliv imperfekcí, jako jsou zbytková napětí, počáteční zakřivení os prutů, odchylky od svislosti prutů a malé excentricity ve spojích a přípojích. Na vyjádření vlivu těchto imperfekcí je možné použít jedinou ekvivalentní geometrickou imperfekci, jejíž tvar a velikost vyjadřuje vliv všech imperfekcí.

6.2.5 Pro prutové soustavy lze ekvivalentní geometrickou imperfekci vyjádřit ve tvaru počátečního prutového pootočení nebo náhradním ekvivalentním zatížením podle ČSN P ENV 1993-1-1.

Alternativně lze ekvivalentní geometrickou imperfekci tlačенých prutů vyjádřit počátečním zakřivením podle normativní přílohy B a jejich únosnost počítat podle teorie 2. řádu.

Při výpočtu únosnosti tlačенých prutů podle teorie 1. řádu je vliv imperfekcí zahrnut do součinitelů vzpěrnosti podle 6.8.1.1.

6.2.6 Únosnost rámu se posuzuje výpočtem

- kritické hodnoty uvažovaného zatížení a jemu odpovídajících vzpěrných délek nebo
- vnitřních sil, momentů a přetvoření podle teorie 2. řádu.

Pro určení vzpěrných délek prutů rámu lze použít diagramy v normativní příloze C. Zásady a požadavky pružnostního i plasticitního výpočtu rámu obsahuje ČSN P ENV 1993-1-1.

6.2.7 Pro výpočet únosnosti rámu s polotuhými přípoji podle 7.2 lze použít přílohu J ČSN P ENV 1993-1-1.

6.3 Klasifikace průřezů

6.3.1 Průřezy se klasifikují podle štíhlosti a únosnosti jejich jednotlivých tlačенých a ohýbaných částí, tj. stojin a pásnic. V závislosti od klasifikace rozhodujících průřezů se může uplatnit plasticitní nebo pružnostní výpočet ocelových prutů a konstrukcí.

6.3.2 Definují se čtyři třídy průřezů:

- průřezy třídy 1, ve kterých je možné předpokládat úplný plastický kloub s dostatečnou kapacitou pootáčení pro plasticitní výpočet;
- průřezy třídy 2, ve kterých je možné předpokládat plnou plastickou ohybovou únosnost, ale které mají omezenou kapacitu pootáčení;
- průřezy třídy 3, ve kterých je možné předpokládat pouze plnou pružnou únosnost, definovanou dosažením výpočtové pevnosti v nejvíce namáhaných tlačенých vláknech;
- průřezy třídy 4, jejichž ohybová nebo tlaková únosnost je v důsledku lokálního boulení stěn nebo pásnic menší, než je jejich plná pružná únosnost.

Tabulka 13 – Největší štíhlosti pro tlačené části

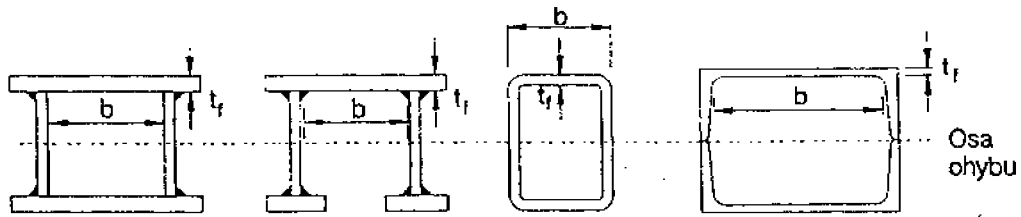
(a) Stojiny: (vnitřní části kolmé k osa ohybu)

Třída	Stojina namáhaná ohybem	Stojina namáhaná tlakem	Stojina namáhaná ohybem a tlakem	
Rozdělení napětí po stojině (tlak je značen kladně)				
1	$d/t_w \leq 72 \epsilon$	$d/t_w \leq 33 \epsilon$	jestliže je $\alpha > 0,5$: $d/t_w \leq 396\epsilon / (13\alpha - 1)$ jestliže je $\alpha < 0,5$: $d/t_w \leq 36\epsilon / \alpha$	
2	$d/t_w \leq 83 \epsilon$	$d/t_w \leq 38 \epsilon$	jestliže je $\alpha > 0,5$: $d/t_w \leq 456\epsilon / (13\alpha - 1)$ jestliže je $\alpha < 0,5$: $d/t_w \leq 41,5\epsilon / \alpha$	
Rozdělení napětí po stojině (tlak je značen kladně)				
3	$d/t_w \leq 124\epsilon$	$d/t_w \leq 42 \epsilon$	jestliže je $\psi > -1$: $d/t_w \leq 42\epsilon / (0,67 + 0,33\psi)$ jestliže je $\psi \leq -1$: $d/t_w \leq 62\epsilon (1 - \psi) \sqrt{-\psi}$	
$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355
	ϵ	1	0,92	0,81

(Pokračování)

Tabulka 13 (pokračování)

(b) Vnitřní části pásnic: (vnitřní části rovnoběžné s osou ohybu)

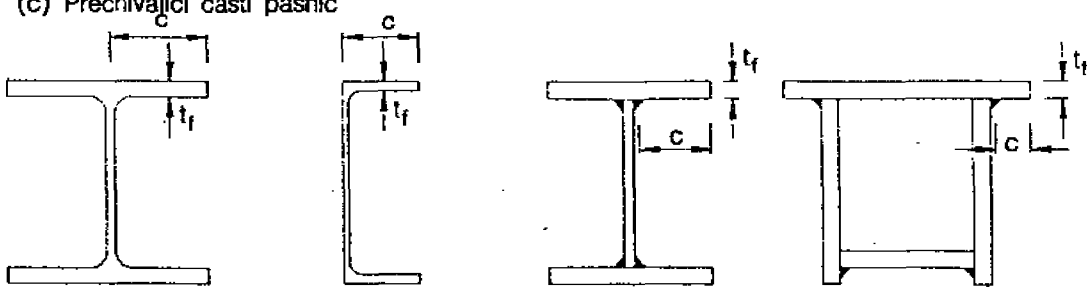


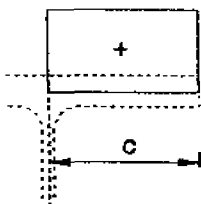
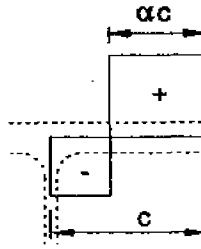
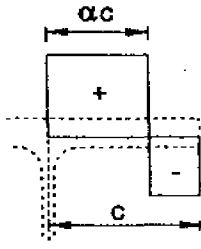
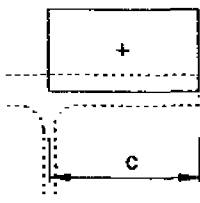
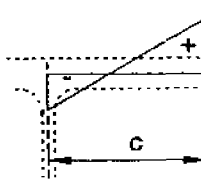
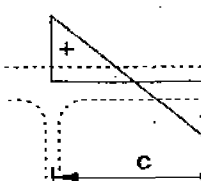
Třída	Typ průřezu	Průřez v ohybu	Průřez v tlaku	
	Průběh napětí v pásnici a v průřezu (tlak značen kladně)			
1	Válcované uzavřené průřezy Ostatní	$(b - 3t_f)/t_f \leq 33 \epsilon$ $b/t_f \leq 33 \epsilon$	$(b - 3t_f)/t_f \leq 42 \epsilon$ $b/t_f \leq 42 \epsilon$	
2	Válcované uzavřené průřezy Ostatní	$(b - 3t_f)/t_f \leq 38 \epsilon$ $b/t_f \leq 38 \epsilon$	$(b - 3t_f)/t_f \leq 42 \epsilon$ $b/t_f \leq 42 \epsilon$	
	Průběh napětí v pásnici a v průřezu (tlak značen kladně)			
3	Válcované uzavřené průřezy Ostatní	$(b - 3t_f)/t_f \leq 42 \epsilon$ $b/t_f \leq 42 \epsilon$	$(b - 3t_f)/t_f \leq 42 \epsilon$ $b/t_f \leq 42 \epsilon$	
$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355
	ϵ	1	0,92	0,81

(Pokračování)

Tabulka 13 (pokračování)

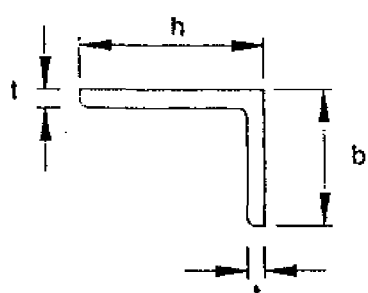
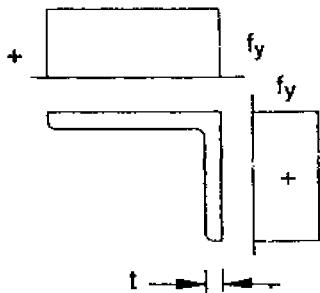
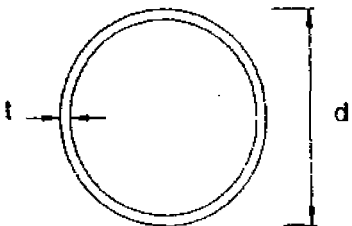
(c) Přechnívající části pásnic



Třída	Typ průřezu	Pásnice v tlaku	Pásnice v tlaku a ohybu	
			Volný konec v tlaku	Volný konec v tahu
				
1	Válcované	$c/t_f \leq 10\epsilon$	$c/t_f \leq 10\epsilon/\alpha$	$c/t_f \leq 10\epsilon/(\alpha\sqrt{\alpha})$
	Svařované	$c/t_f \leq 9\epsilon$	$c/t_f \leq 9\epsilon/\alpha$	$c/t_f \leq 9\epsilon/(\alpha\sqrt{\alpha})$
2	Válcované	$c/t_f \leq 11\epsilon$	$c/t_f \leq 11\epsilon/\alpha$	$c/t_f \leq 11\epsilon/(\alpha\sqrt{\alpha})$
	Svařované	$c/t_f \leq 10\epsilon$	$c/t_f \leq 10\epsilon/\alpha$	$c/t_f \leq 10\epsilon/(\alpha\sqrt{\alpha})$
				
3	Válcované	$c/t_f \leq 15\epsilon$	$c/t_f \leq 23\epsilon/\sqrt{k_\sigma}$ $c/t_f \leq 21\epsilon/\sqrt{k_\sigma}$ k_σ viz vzorce (40), (41), (42)	
	Svařované	$c/t_f \leq 14\epsilon$		
$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355
	ϵ	1	0,92	0,81

(Pokračování)

Tabulka 13 (dokončení)

<p>(d) Úhelníky:</p> <p>Viz též (c) "přečnivající části pásnic" (list 3)</p>  <p>(neplatí pro úhelníky průběžně spojené s jinými profily)</p>				
Třída		Průřez v tlaku		
Průběh napětí v průřezu (tlak značen kladně)				
3		$h/t \leq 15\epsilon$: $(b + h)/(2t) \leq 11,5\epsilon$		
<p>(e) Trubky</p> 				
Třída		Průřez v ohybu, v tlaku, v tlaku a ohybu		
1		$d/t \leq 50\epsilon^2$		
2		$d/t \leq 70\epsilon^2$		
3		$d/t \leq 90\epsilon^2$		
$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355
	ϵ	1	0,92	0,81

6.3.3 Maximální štíhlosti tlačných a ohýbaných částí průřezů pro definované třídy 1, 2 a 3 obsahuje tabulka 13. Průřez se zařazuje podle nejnepříznivější (nejvyšší) třídy jeho jednotlivých částí.

Průřezy, splňující požadavky maximálních štíhlostí pro třídy 1, 2 nebo 3, se považují za kompaktní. Průřezy třídy 4, které nesplňují požadavky maximálních štíhlostí pro třídu 3, se považují za štíhlé.

6.4 Požadavky na průřezy při plasticitním výpočtu

6.4.1 Plasticitní výpočet se může uplatnit u staticky neurčitých konstrukcí, jestliže průřezy v místech plastických kloubů splňují požadavky pro třídu 1 uvedené v tabulce 13.

Průřezy v místech plastických kloubů mají mít zatížení v rovině symetrie a mají být příčně vyztužené.

6.4.2 Při plasticitním výpočtu musí být konstrukce v místech plastických kloubů příčně zabezpečeny proti vybočení, přičemž ztuzující příčná podpora nesmí být od místa teoretického plastického kloubu vzdálena více, než je polovina výšky průřezu.

U prutu proměnného průřezu má být ohýbaná stojina a tlačná pásnice třídy 1 minimálně do vzdálenosti rovné dvojnásobku výšky stojiny od místa plastického kloubu. V ostatních částech prutu má být tlačná pásnice třídy 1 nebo 2 a ohýbaná stojina třídy 1, 2 nebo 3, přičemž by měly být v každém průřezu splněny podmínky únosnosti podle 6.6.

6.4.3 Lokální stabilita ohýbané stojiny, jejíž štíhlost je větší než maximální štíhlost třídy 1 nebo 2, může být v místech plastických kloubů zajištěna pomocí dostatečně tuhých příčných a podélných výztuh.

Stabilizující příčné a podélné výztuhy je třeba navrhnout tak, aby přecházely až do pružných oblastí namáhání prutu. Potom se posuzuje

- část stojiny mezi tlačnou pásnicí a podélnou výztuhou jako tlačná oboustranně podepřená stojina;
- část stojiny mezi podélnou výztuhou a tažnou pásnicí jako ohýbaná oboustranně podepřená stojina.

6.5 Požadavky na průřezy při pružnostním výpočtu

6.5.1 Jestliže tlačné a ohýbané části průřezů splňují stabilitní požadavky pro třídu 3, počítá se s jejich pružnou ohybovou únosností.

6.5.2 Pro průřezy třídy 1 nebo 2 lze momenty získané pružnostním výpočtem podle teorie 1. řádu přerozdělit až o 15 % extrémního pružného momentu každého prutu za předpokladu, že vnitřní síly a momenty v konstrukci zůstanou v rovnováze s vnějším zatížením.

6.5.3 Jestliže tlačné a ohýbané části průřezů splňují stabilitní požadavky pro třídu 2, může se počítat s plnou plastickou ohybovou únosností nejvíce namáhaného průřezu.

6.5.4 U štíhlých průřezů třídy 4 je třeba počítat s jejich redukovanou tlakovou nebo ohybovou únosností v důsledku boulení jejich tlačných částí podle 6.7.

6.6 Únosnost kompaktních průřezů

6.6.1 Všeobecně

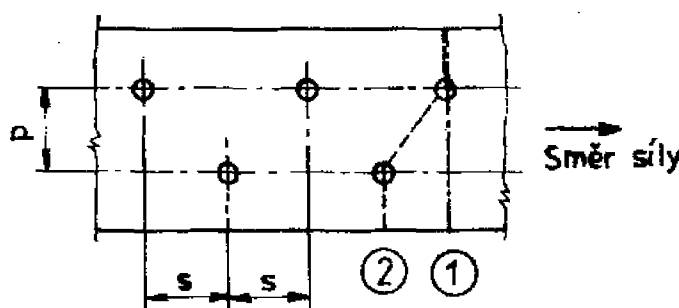
6.6.1.1 Při výpočtu únosnosti kompaktních průřezů (tj. průřezů třídy 1, 2 a 3) se počítá s jejich účinnou plochou.

6.6.1.2 Účinná plocha oslabeného průřezu A_{net} je jmenovitá plocha průřezu, zmenšená o všechny díry pro spojovací prostředky a jiné otvory. Nevylučuje se však postup podle ČSN 73 1495.

Pokud jsou díry pro spojovací prostředky vystřídáné (viz obrázek 3), odečte se od jmenovité plochy průřezu větší z hodnot

- součet ploch oslabení v řezu kolmém na osu prutu;
- součet všech ploch oslabení v libovolném šikmém nebo lomeném řezu, zmenšený o hodnotu $s^2 t / (4p)$ pro každou rozteč p ,
kde s je rozteč děr ve směru síly;
 p rozteč děr kolmo ke směru síly;
 t tloušťka.

Těžiště průřezu a střed ohybu se určují pro neoslabený průřez.



Obrázek 3 – Vystřídáné uspořádání děr pro spojovací prostředky

6.6.2 Tah

6.6.2.1 Prut namáhaný osovým tahem se posuzuje podle podmínky

$$N_{Sd} \leq N_{t,Rd}, \quad (7)$$

kde N_{Sd} je výpočtová tahová síla;

$N_{t,Rd}$ výpočtová normálová síla únosnosti průřezu v tahu, která se určí jako menší z hodnot $N_{pl,Rd}$ a $N_{u,Rd}$.

Výpočtová normálová síla únosnosti neoslabeného průřezu se stanoví ze vztahu

$$N_{pl,Rd} = A f_y / \gamma_{M0}, \quad (8)$$

výpočtová normálová síla únosnosti oslabeného průřezu, určená z meze pevnosti, se stanoví ze vztahu

$$N_{u,Rd} = 0,9 A_{net} f_u / \gamma_{M2}. \quad (9)$$

6.6.2.2 Pro pruty se šroubovými spoji kategorie C, navrhované na mezní únosnost při prokluzu podle kapitoly 7, se uvažuje výpočtová plastická únosnost oslabeného průřezu

$$N_{net,Rd} = A_{net} f_y / \gamma_{M0}. \quad (10)$$

6.6.2.3 Pro oslabený průřez prutu má být rovněž splněna podmínka

$$N_{u,Rd} \geq N_{pl,Rd}, \text{ tj.}$$

$$0,9 \frac{A_{net}}{A} \geq \frac{f_y \gamma_{M2}}{f_u \gamma_{M0}}. \quad (11)$$

6.6.3 Tlak

6.6.3.1 Prut namáhaný osovým tlakem se posuzuje podle podmínky

$$N_{Sd} \leq N_{c,Rd}, \quad (12)$$

kde N_{Sd} je výpočtová tlaková síla;

$N_{c,Rd}$ výpočtová normálová síla únosnosti průřezu v tlaku, přičemž

$$N_{c,Rd} = A f_y / \gamma_{M0}. \quad (13)$$

6.6.3.2 Kromě posouzení únosnosti průřezu podle 6.6.3.1 se musí ověřit i vzpěrná únosnost prutu podle 6.8.1. Oslabení dírami pro spojovací prostředky se neuvažuje, kromě nadměrných nebo prodloužených děr, kdy je nutné rovněž splnit podmínku (11).

6.6.4 Ohyb

6.6.4.1 Prut namáhaný prostým ohybem se posuzuje podle podmínky

$$M_{sd} \leq M_{c,Rd}, \quad (14)$$

kde M_{sd} je výpočtový ohybový moment;

$M_{c,Rd}$ výpočtový ohybový moment únosnosti, který se vypočte pro neoslabené průřezy:

– tříd 1 a 2 z výrazu

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = W_{pl} f_y / \gamma_{M0}; \quad (15)$$

– třídy 3 z výrazu

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = W_{el} f_y / \gamma_{M0}. \quad (16)$$

6.6.4.2 Oslabení ohýbaného průřezu dírami pro spojovací prostředky se neuvažuje, pokud je

$$0,9 \frac{A_{f,net}}{A_f} \geq \frac{f_y \gamma_{M2}}{f_u \gamma_{M0}}, \quad (17)$$

kde $A_{f,net}$ a A_f jsou oslabená plocha a celková plocha tažené pásnice.

Pokud podmínka (17) není splněna, počítá se s redukovanou plochou tažené pásnice, která ji splňuje.

V tažené části stojiny se oslabení neuvažuje, pokud je splněna podmínka (17), posuzovaná pro celou taženou část průřezu A_t .

V tlačené části průřezu se uvažuje pouze oslabení nadměrnými nebo oválnými dírami (viz 7.3.9.2).

6.6.4.3 S pružnoplastickou únosností ohýbaného průřezu je možné počítat, když štíhlost stojiny β ohýbaného průřezu

$$\beta_0 < \beta < \beta_1, \quad (18)$$

kde β_0 a β_1 jsou maximální štíhlosti ohýbané stojiny pro průřezy třídy 2 a 3 podle tabulky 13.

Pružnoplastická ohybová únosnost průřezu se vypočte podle vzorce

$$M_{c,Rd} = M_{cp,Rd} = W_{cp} f_y / \gamma_{M0}, \quad (19)$$

kde W_{cp} je pružnoplastický průřezový modul, který se určí podle rozvoje plastických deformací, definovaného mezními deformacemi ε_u v krajních vláknech tlačené části stojiny; ε_u se vypočte podle vzorce

$$\varepsilon_u = |k_0 + k_1 (\beta_1 - \beta)^2| \sqrt{\beta^2}, \quad (20)$$

kde k_0, k_1 jsou součinitelé $k_0 = 17,2; k_1 = 0,008 (f_y / 235)$.

Pro symetrický I průřez, ohýbaný v rovině stojiny, je

$$W_{cp} = W_{pl} - \frac{W_{el,w}}{2} \left(\frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_u} \right)^2,$$

$$W_{el,w} = \frac{1}{6} t_w d^2, \quad (21)$$

$$\varepsilon_y = f_y / E.$$

Štíhlosti tlačných pásnic přitom mají vyhovovat stabilitním požadavkům na průřezy třídy 2 uvedené v tabulce 13.

6.6.5 Smyk

6.6.5.1 Prut namáhaný smykem se posuzuje podle podmínky

$$V_{sd} \leq V_{pl,Rd}, \quad (22)$$

kde V_{sd} je výpočtová smyková síla;

$V_{pl,Rd}$ výpočtová smyková síla únosnosti, která se vypočte z výrazu

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0} \sqrt{3}}, \quad (23)$$

kde A_v je plocha účinná na smyk.

Kromě pevnostní podmínky (23) se musí posoudit i smyková únosnost s uvážením boulení stojiny podle 6.7.3.

6.6.5.2 Plochu A_v účinnou na smyk tvoří části průřezu rovnoběžné se směrem působení příčné síly. U válcovaných profilů je možné počítat se zaoblením v přechodu stojiny do přírub podle ČSN P ENV 1993-1-1.

6.6.5.3 Oslabení plochy účinné na smyk se neuvažuje, pokud platí

$$A_{v,net} / A_v \geq f_y / f_u. \quad (24)$$

Pokud tato podmínka není splněna, počítá se s redukovanou smykovou plochou, která ji splňuje.

6.6.6 Ohyb, smyk a tah nebo tlak

6.6.6.1 Obecná podmínka spolehlivosti průřezu namáhaného ohybem, smykem a tahem nebo tlakem je

$$\left(\frac{N_{sd}}{N_{u,Rd}} \right)^{k_{yz}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{u,y,Rd}} + \frac{M_{z,Sd}}{M_{u,z,Rd}} \leq 1,0, \quad (25)$$

kde N_{sd} , $M_{y,Sd}$, $M_{z,Sd}$ jsou výpočtové tahové nebo tlakové síly a výpočtové ohybové momenty;

$N_{u,Rd}$, $M_{u,y,Rd}$, $M_{u,z,Rd}$ výpočtové normálové síly únosnosti a výpočtové ohybové momenty únosnosti průřezu podle 6.6.7;

k_{yz} exponent, závisející na stupni využití průřezu podle 6.6.7.5.

6.6.6.2 Konstrukce s kompaktními průřezky namáhané pohyblivým nebo dynamickým zatížením se posuzují podle podmínky

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_{yd}} \right)^2 + \left(\frac{\tau_{Ed}}{f_{yd} \sqrt{3}} \right)^2 \leq 1,0, \quad (26)$$

kde $\sigma_{x,Ed}$, τ_{Ed} jsou výpočtová normálová a smyková napětí v posuzovaném bodě průřezu;

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}.$$

6.6.7 Vliv smyku na výpočtové únosnosti průřezu

6.6.7.1 Pro kompaktní průřezky tříd 1, 2 a 3 (kromě případů podle 6.6.6.2) se vliv smyku vyjadřuje redukcí výpočtových únosností průřezu.

6.6.7.2 Vliv smyku na ohybové momenty a normálové síly plastické únosnosti se zanedbává

– pro průřez I namáhaný na ohyb ve směru stojiny a pro obdélníkový nebo čtvercový dutý uzavřený průřez namáhaný na ohyb buď ve směru stojin nebo ve směru pásnic, je-li

$$V_{sd} / V_{pl,Rd} \leq 0,5;$$

– pro průřez I namáhaný na ohyb ve směru pásnic, je-li

$$V_{sd} / V_{pl,Rd} \leq 0,3.$$

6.6.7.3 Výpočtové ohybové momenty $M_{u,Rd}$ a výpočtová normálová síla $N_{u,Rd}$ plastické únosnosti, redukované vlivem smyku, se určí pro průřez 1 třídy 1 nebo 2 se dvěma osami symetrie, namáhaný jen v jedné hlavní rovině takto:

– při namáhání na ohyb ve směru stojiny

$$\left. \begin{aligned} &(N_{Sd} \neq 0, M_{y,Sd} \neq 0, V_{z,Sd} \neq 0): \\ &M_{u,y,Rd} \equiv M_{Vz,y,Rd} = \varphi_{m_y,Vz} M_{pl,y,Rd}, \\ &N_{u,Rd} \equiv N_{Vz,Rd} = \varphi_{n,Vz} N_{pl,w,Rd} + 2N_{pl,f,Rd}; \end{aligned} \right\} \quad (27a)$$

– při namáhání na ohyb ve směru pásnic

$$\left. \begin{aligned} &(N_{Sd} \neq 0, M_{z,Sd} \neq 0, V_{y,Sd} \neq 0): \\ &M_{u,z,Rd} \equiv M_{Vy,z,Rd} = \varphi_{m_z,Vy} M_{pl,z,Rd}, \\ &N_{u,Rd} \equiv N_{Vy,Rd} = \varphi_{n,Vy} 2N_{pl,f,Rd} + N_{pl,w,Rd}, \end{aligned} \right\} \quad (27b)$$

kde $\varphi_{m_y,Vz}$, $\varphi_{m_z,Vy}$, $\varphi_{n,Vz}$, $\varphi_{n,Vy}$ jsou součinitelé redukce, které se vypočtou podle vzorce

$$\varphi_V = \sqrt{1,1 \frac{1 - (V_{Sd}/V_{pl,Rd})^2}{1 - \alpha (V_{Sd}/V_{pl,Rd})^2}}, \text{ ale } \varphi_V \leq 1,0; \quad (28)$$

$$\alpha = 0,7 \text{ pro případ } \varphi_V = \varphi_{m_y,Vz};$$

$$\alpha = 0,0 \text{ pro případy } \varphi_V = \varphi_{m_z,Vy};$$

$$\varphi_V = \varphi_{n,Vz};$$

$$\varphi_V = \varphi_{n,Vy};$$

$$N_{pl,w,Rd} = A_w f_y / \gamma_{M0};$$

$$N_{pl,f,Rd} = A_f f_y / \gamma_{M0},$$

kde A_f je plocha jedné pásnice,

A_w plocha stojiny.

Vzorce (27) platí rovněž pro obdélníkový nebo čtvercový dutý uzavřený průřez namáhaný na ohyb ve směru stojin nebo pásnic.

6.6.7.4 Výpočtové redukované ohybové momenty $M_{u,Rd}$ a normálové síly $N_{u,Rd}$ plastické únosnosti pro jiné případy se mohou určit podle informativní přílohy D.

6.6.7.5 Únosnosti průřezů třídy 1 a 2 se posuzují plasticitním výpočtem. Do podmínky (25) se dosazuje

$$k_{yc} = \frac{k_y + k_z}{2} + \left(\frac{k_y - k_z}{2} \right) \left(\frac{m_y - m_z}{m_y + m_z} \right), \quad (29)$$

$$\text{kde } m_y = M_{y,Sd} / M_{u,y,Rd};$$

$$m_z = M_{z,Sd} / M_{u,z,Rd};$$

k_y, k_z jsou hodnoty parciálních exponentů pro namáhání jen jedním z ohybových momentů, které se určí podle tabulky 14.

Tabulka 14 – Hodnoty parciálních exponentů k_y, k_z

Č.	Příčný řez	k_y	k_z
1	Válcované a svařované I a H průřezy se dvěma osami symetrie	1,2	2,8
2	Pravouhlé (obdélníkové, čtvercové) duté průřezy se dvěma osami symetrie	1,3	1,3
3	Kruhové trubky konstantní tloušťky	1,8	1,8
4	Obdélníkové plné průřezy, průřezy desek	2,0	2,0

6.6.7.6 Únosnost průřezů třídy 3 se posuzuje pružnostním výpočtem. Podmínkou (25) se prokazuje spolehlivost v nejméně namáhaném místě (bodu) průřezu. Do podmínky (25) se dosazuje:

$$\left. \begin{aligned} N_{u,Rd} &= A f_y / \gamma_{M0}, \\ M_{u,y,Rd} &= M_{el,y,Rd} = W_{el,y} f_y / \gamma_{M0}, \\ M_{u,z,Rd} &= M_{el,z,Rd} = W_{el,z} f_y / \gamma_{M0}; \\ k_{yz} &= 1,0. \end{aligned} \right\} \quad (30)$$

Vliv smyku se přitom zanedbává pro

$$V_{Sd} / V_{pl,Rd} \leq 0,3.$$

Jinak se počítá s redukovanou hodnotou výpočtové pevnosti $f_{yV,d}$ která se určí podle informativní přílohy D.

Alternativní podmínkou spolehlivosti pro libovolné místo příčného řezu je podmínka (26) použitá pro statické namáhání, kterou se však vliv smyku uvažuje v celém intervalu $0 \leq V_{Sd} / V_{pl,Rd} \leq 1,0$.

6.6.8 Rovinné namáhání ve stěně nosníku

6.6.8.1 Pokud je stojina průřezu třídy 3 namáhána kombinací ohybového momentu, osové síly a příčné síly a pokud je

$$V_{Sd} / V_{pl,Rd} \leq 0,3,$$

pak v každém bodě stojiny musí být splněna podmínka

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_{yd}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_{yd}} \right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_{yd}} \right) \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_{yd}} \right) \leq 1. \quad (31a)$$

6.6.8.2 Pokud je

$$V_{Sd} / V_{pl,Rd} > 0,3,$$

pak v každém bodě stojiny musí být splněna podmínka

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_{yd}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_{yd}} \right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_{yd}} \right) \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_{yd}} \right) + 1,1 \left(\frac{\tau_{Ed}}{f_{yd} \sqrt{3}} \right)^2 \leq 1,1. \quad (31b)$$

Ve vzorcích (31) je

- $\sigma_{x,Ed}$ výpočtové podélné normálové napětí v posuzovaném bodě;
- $\sigma_{z,Ed}$ výpočtové příčné normálové napětí ve stejném bodě;
- τ_{Ed} výpočtové smykové napětí.

6.7 Únosnost štíhlých-průřezů

6.7.1 Všeobecně

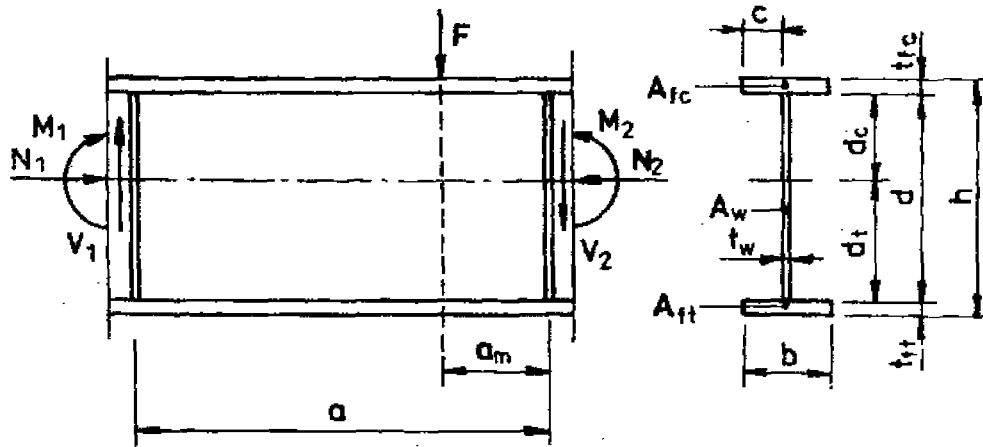
Únosnost prutů se štíhlými průřezy, tj. s průřezy třídy 4, je nepříznivě ovlivněna boulením jejich stojin a pásnic.

Při výpočtu jejich únosnosti se uvažuje se vzájemným spolupůsobením stojiny, pásnic a výztuh v rámci jednotlivých polí podle obrázku 4.

Posuzují se nejméně namáhaná pole stojiny (nebo pásu). Pokud se namáhání prutu po délce pole mění, uvažuje se s hodnotami, které přísluší tzv. charakteristickému průřezu, za který se považuje

- střední průřez pole, pokud $a \leq d$, tj. $a_m = a/2$;
- střední průřez nejméně namáhaného úseku pole, pokud $a > d$, tj. $a_m = d/2$.

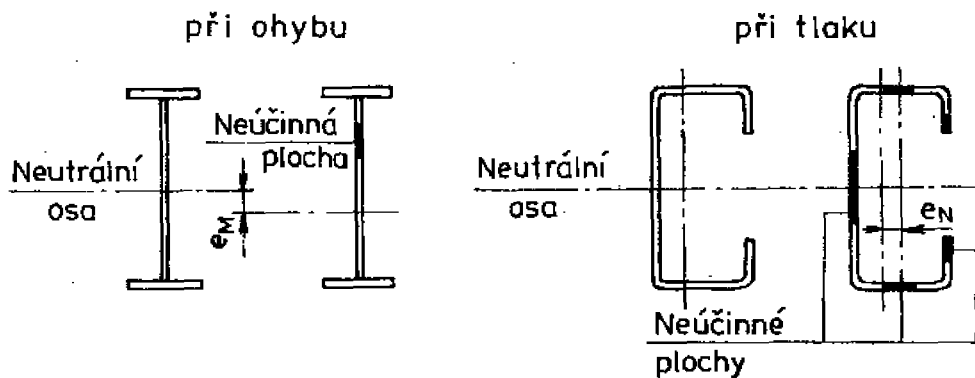
Posuzují se též nejméně namáhané průřezy v místech výztuh jako průřezy třídy 3.



Obrázek 4 – Schéma zatížení pole stojiny

6.7.2 Namáhání tlakem a ohybem

6.7.2.1 Při výpočtu lokální tlakové a ohybové únosnosti prutů se štíhlými průřezy se počítá s redukovanými průřezovými charakteristikami A_{eff} , I_{eff} a W_{eff} , které odpovídají efektivním průřezům znázorněným na obrázku 5.



Obrázek 5 – Efektivní průřezová plocha štíhlého průřezu

Efektivní průřezy prutů se určí pomocí efektivních šířek $b_{c,eff}$, stanovených pro jednotlivé tlačené části.

6.7.2.2 Lokální únosnost tlačných a ohýbaných prutů se může zvýšit vyztužením jejich štíhlých stěn příčnými, případně i podélnými výztuhami.

Efektivní průřezy prutů s podélnými výztuhami se určí pomocí efektivních šířek $b_{c,eff}$ jejich jednotlivých tlačných částí, a to tak, že se uvažuje s podepřením stěny i v místech podélných výztuh. Podélné výztuhy se započítávají do efektivního průřezu jen v případě, když probíhají spojitě po délce prutu, popř. když je zabezpečený přenos normálových napětí i do podélných výztuh.

6.7.2.3 Při určování efektivní šířky pásnic se může poměr normálových napětí ψ podle obrázku 6 a 7 počítat jako pro plný průřez.

Při určování efektivní šířky stojiny se může poměr normálových napětí ψ počítat jako pro průřez, který se skládá z efektivní plochy tlačné pásnice, plné plochy stojiny a plné plochy tažené pásnice.

V obecném případě se neutrální osa efektivního průřezu posouvá oproti neutrální ose plného průřezu o vzdálenost e_M nebo e_N (viz obrázek 5).

Je-li štíhlý průřez namáhán osovou silou N , je třeba uvažovat i s dodatečným ohybovým momentem

$$\Delta M = N e_N.$$

6.7.2.4 Efektivní šířka tlačných částí stojin a pásnic

$$b_{c,eff} = b_c \varrho_{NM}, \tag{32}$$

kde b_c je plná šířka tlačné části stojiny nebo pásnice;
 ϱ_{NM} její redukční součinitel při tlaku a ohybu;

$$\varrho_{NM} = \beta_{1,NM} / \beta_{T,NM}, \text{ ale } \varrho_{NM} \leq 1, \tag{33}$$

kde $\beta_{1,NM}$ je mezní štíhlost stojiny nebo pásnice při namáhání tlakem a ohybem;
 $\beta_{T,NM}$ redukovaná štíhlost stojiny nebo pásnice;

$$\beta_{T,NM} = 0,8 \beta + 0,2 \beta_{1,NM}, \tag{34}$$

kde $\beta = d/t_w$ nebo b/t_f , popř. c/t_f

Mezní štíhlost $\beta_{1,NM}$ závisí na podepření a zatížení stojiny nebo pásnice a určí se podle 6.7.2.5 a 6.7.2.6.

6.7.2.5 Pro stojiny a pásnice oboustranně podélně podepřené podle obrázku 6 je v souladu s tabulkou 13 mezní štíhlost

$$\beta_{1,NM} = 42 \sqrt{235/f_y} / (0,67 + 0,33 \psi). \tag{35}$$

Efektivní tlačené části stojin a pásnic jsou

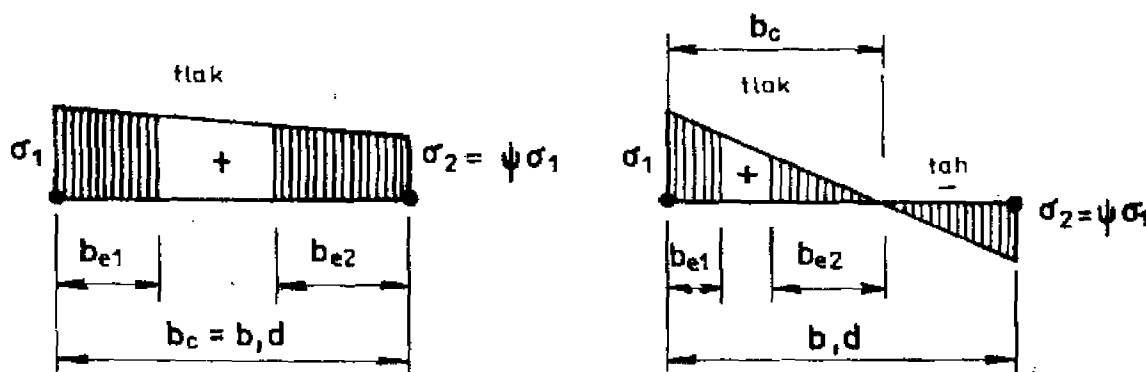
$$\left. \begin{aligned} b_{e1} &= 2b_{c,eff} / (5 - \psi) \text{ pro } \psi \geq 0, \\ b_{e1} &= 0,4 b_{c,eff} \text{ pro } \psi \leq 0, \\ b_{e2} &= b_{c,eff} - b_{e1}. \end{aligned} \right\} \tag{36}$$

Při poměru $\psi = 1$ jde o namáhání tlakem, a potom

$$\begin{aligned} \beta_{1,NM} &= \beta_{1,N} = 42 \sqrt{235/f_y}, \\ b_{e1} &= b_{e2} = 0,5 b_{c,eff}. \end{aligned} \tag{37}$$

Při poměru $\psi = -1$ jde o namáhání ohybem, a potom

$$\begin{aligned} \beta_{1,NM} &= \beta_{1,M} = 124 \sqrt{235/f_y}, \\ b_{e1} &= 0,4 b_{c,eff}, \\ b_{e2} &= 0,6 b_{c,eff}. \end{aligned} \tag{38}$$



Obrázek 6 – Oboustranně podélně podepřené stojiny a pásnice

6.7.2.6 Pro stojiny a pásnice jednostranně podélně podepřené je v souladu s tabulkou 13 maximální štíhlost

$$\beta_{1,NM} = 23 \sqrt{235/f_y} \sqrt{k_n} \text{ u válcovaných průřezů; } \tag{39a}$$

$$\beta_{1,NM} = 21 \sqrt{235/f_y} \sqrt{k_n} \text{ u svařovaných průřezů. } \tag{39b}$$

Součinitel k_n závisí na zatížení a určí se

– jestliže volný konec je namáhán tlakem a podepřný konec tlakem nebo tahem (viz obrázek 7a) ze vztahu

$$k_n = 0,57 - 0,21 \psi + 0,07 \psi^2 \tag{40}$$

pro $1 \geq \psi \geq -1$;

– jestliže podepřený konec je namáhaný tlakem a volný konec tlakem nebo tahem (viz obrázek 7b) ze vztahu

$$k_{\sigma} = 0,578 / (0,34 + \psi) \quad (41)$$

pro $1 > \psi > 0$;

$$k_{\sigma} = 1,70 - 5,00 \psi + 17,10 \psi^2 \quad (42)$$

pro $0 > \psi > -1$.

Při poměru $\psi = 1$ jde o namáhání tlakem, a potom

$$k_{\sigma} = 0,43,$$

$$\beta_{1,NM} = \beta_{1,N} = 15 \sqrt{235/f_y} \text{ u válcovaných průřezů;} \quad (43a)$$

$$\beta_{1,NM} = \beta_{1,N} = 14 \sqrt{235/f_y} \text{ u svařovaných průřezů.} \quad (43b)$$

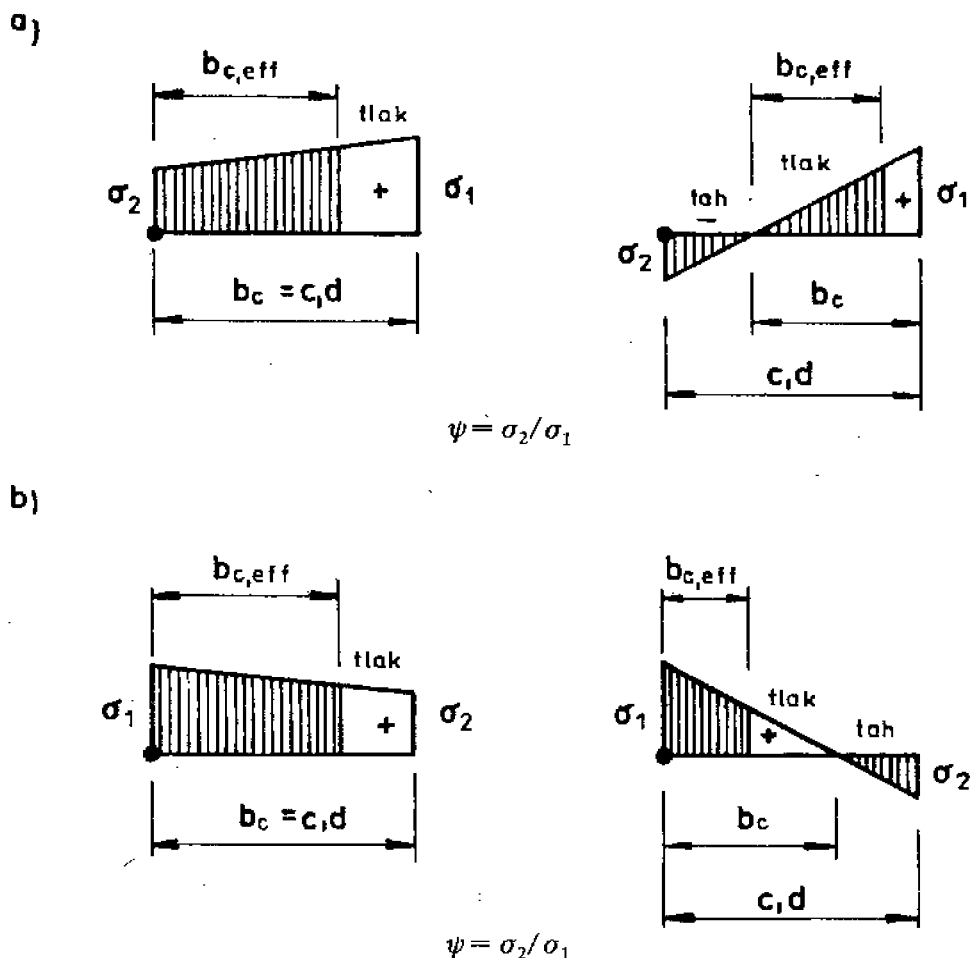
6.7.2.7 Stojiny prutů mají zabezpečovat dostatečné podepření tláčeným pásnicím. Aby nedošlo ke vtažení pásnice do průřezu ohýbaného prutu musí se štíhlost stojiny β_w omezit. Maximální štíhlost stojiny se určí z výrazu

$$\beta_{w,max} \leq \beta_{2,M} = \sqrt{k (E/f_{yf}) (A_w/A_f)}, \quad (44)$$

kde součinitel $k = 0,3$ pro pásnice průřezů třídy 1;

$k = 0,4$ pro pásnice průřezů třídy 2;

$k = 0,55$ pro pásnice průřezů třídy 3 a 4.



Obrázek 7 – Jednostranně podélně podepřené stojiny a pásnice

6.7.2.8 Lokální únosnost tlačných a ohybaných prutů se štíhlými průřezy se posuzuje podle podmínky

$$\sigma_{x,Ed} \leq f_{yd}, \tag{45}$$

kde $\sigma_{x,Ed}$ je maximální normálové napětí v posuzovaném průřezu, určené s použitím redukovaných průřezových charakteristik A_{eff} a W_{eff} odpovídajícího efektivního průřezu;

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}.$$

Případné oslabení posuzovaného průřezu dírami pro spojovací prostředky se uvažuje podle kapitoly 7.

Štíhlé průřezy bez děr pro spojovací prostředky, namáhané tlakem a ohybem, se mohou posoudit rovněž podle podmínky

$$\frac{N_{s,d}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{y,s,d} + N_{s,d}e_{Ny}}{M_{c,y,Rd}} + \frac{M_{z,s,d} + N_{s,d}e_{Nz}}{M_{c,z,Rd}} \leq 1, \tag{46}$$

kde $N_{c,Rd} = A_{eff} f_y / \gamma_{M1}$;
 $M_{c,y,Rd} = W_{eff,y} f_y / \gamma_{M1}$;
 $M_{c,z,Rd} = W_{eff,z} f_y / \gamma_{M1}$;

A_{eff} je účinná plocha rovnoměrně tlačného průřezu;
 W_{eff} průřezový modul efektivního průřezu, namáhaného okolo příslušné těžiškové osy pouze ohybem;
 e_N posunutí příslušné těžiškové osy rovnoměrně tlačného průřezu.

6.7.2.9 Pro jednoose symetrické I průřezy se štíhlou stojinou bez podélných výztuh, namáhané ohybem, je možno efektivní průřezové moduly určit přibližně podle vztahů

– pro tlačný okraj

$$W_{eff,c} = W_c \left[1 - \frac{I_{wc}}{I} (1 - \rho_M) \right],$$

$$I_{wc} = \frac{1}{12} t_w (2 d_c)^3, \tag{48a}$$

$$I = 2 A_{fc} \left(d_c + \frac{t_{fc}}{2} \right)^2 + I_{wx};$$

– pro tažený okraj

$$W_{eff,t} = W_t, \tag{48b}$$

kde W_c a W_t jsou průřezové moduly pro tlačný a tažený okraj plného průřezu.

U průřezů, které mají štíhlou stojinu i tlačnou pásnici, se počítá s efektivní plochou pásnice

$$A_{fc} = A_{fc,eff}.$$

Redukční součinitel při ohybu ρ_M se určí podle vztahů (33), (34) a (38).

6.7.3 Namáhání smykem

Uvažuje se pouze smyková únosnost stěnových částí průřezů podle obrázku 4. Smyková únosnost stojin prutů závisí na

- štíhlosti $\beta_w = d/t_w$;
- stranovém poměru polí $\alpha = a/d$;
- tuhosti lemujících částí.

Smykem namáhané stojiny prutů se štíhlostí

$$\beta_w > 70 \sqrt{235/f_{yw}} \tag{49}$$

mají být příčně vyztužené minimálně v místech podpor.

Všeobecně je účelné, aby byl stranový poměr $\alpha \geq 1$. Když je $\alpha < 1$, počítá se štíhlost stojiny, která odpovídá kratší straně pole, tj. $\beta_w = a/t_w$.

Z hlediska smykové únosnosti je příčné vyztužení stojin účinné, když stranový poměr $\alpha < 3$.

Smyková únosnost stojin prutů vyztužených příčnými a podélnými výtuhami se určí jako součet smykových únosností jednotlivých dílčích polí.

Mezní štíhlost stojin popř. jejich dílčích polí namáhaných smykem se určí ze vztahu

$$\beta_{1,V} = 100 (0,7 + 0,3/\alpha^2) \sqrt{235/f_{yw}} \quad (50)$$

Smykem namáhané stojiny o štíhlosti $\beta_w \leq \beta_{1,V}$ se považují za stabilní. V tomto případě se počítá s plnou plastickou smykovou únosností

$$V_{pl,Rd} = A_w \tau_{yw} / \gamma_{M1}, \quad (51)$$

kde $\tau_{yw} = f_{yw} / \sqrt{3}$.

Smykem namáhané stojiny o štíhlosti $\beta_w > \beta_{1,V}$ jsou štíhlé. V důsledku boulení se jejich únosnost musí redukovat. Smyková únosnost prutů se štíhlými stojinami je

$$V_{b,Rd} = V_{pl,Rd} \varrho_V, \quad \varrho_V \leq 1, \quad (52)$$

kde ϱ_V je redukční součinitel při smyku, který se určí v závislosti na návrhových podmínkách buď jednoduchou pokritickou metodou (6.7.3.1) nebo úplnou pokritickou metodou (6.7.3.2).

Minimální smyková únosnost pole stojiny se určí z výrazu

$$V_{bm,Rd} = V_{pl,Rd} \varrho_{V,m}, \quad (53)$$

kde $\varrho_{V,m} = \beta_{1,V} / \beta_w \leq 1$. (54)

Důsledky využívání pokritické únosnosti stojiny je třeba uvážit při návrhu a posouzení příčných výtuh podle 6.7.6.

6.7.3.1 Jednoduchá pokritická metoda

Při jednoduché pokritické metodě se s vlivem pásnic nepočítá. Možno ji použít všeobecně pro vyztužené i nevyztužené štíhlé stojiny prutů, vyžadují se však minimálně podporové příčné výtuhy.

Smyková únosnost pak je

$$V_{ba,Rd} = V_{pl,Rd} \varrho_{V,a}, \quad (55)$$

kde $\varrho_{V,a} = \beta_{1,V} / \beta_{r,V}$. (56)

Redukovaná štíhlost stojiny je

$$\beta_{r,V} = 0,8 \beta_w + 0,2 \beta_{1,V}. \quad (57)$$

6.7.3.2 Úplná pokritická metoda

Při úplné pokritické metodě se počítá i s vlivem pásnic. Efektivní uplatnění této metody vyžaduje příčné vyztužení stojiny se stranovým poměrem $1 \leq \alpha \leq 3$.

Smyková únosnost pak je

$$V_{bb,Rd} = V_{pl,Rd} \varrho_{V,b}, \quad (58)$$

kde $\varrho_{V,b} = \varrho_{V,a} + \varrho_{V,f}$.

Součinitel $\varrho_{V,a}$ se určí z rovnice (56), součinitel $\varrho_{V,f}$ zohledňuje vliv pásnic a určí se z výrazu

$$\varrho_{V,f} = \varphi_f \left(\sqrt{\frac{M_{N,fc}}{M_{pl,w}}} + \sqrt{\frac{M_{N,ft}}{M_{pl,w}}} \right), \quad (59)$$

kde $\varphi_f = 0,93 \sqrt{1 - \alpha/\sqrt{1 + \alpha^2}} \sqrt{\sqrt{3 + \varrho_{Va}^4 [2,25/(1 + \alpha^2) - 3]} - 1,5 \varrho_{Va}^2 / \sqrt{1 + \alpha^2}}$.

Hodnoty součinitele φ_f obsahuje informativní příloha J. Mezilehlé hodnoty je možné lineárně interpolovat podle poměrů α a štíhlosti β_w .

Veličiny $M_{N,fc}$ a $M_{N,ft}$ jsou plastické momenty tlačené a tažené pásnice, redukované v důsledku primárních účinků osové síly N_{Sd} a ohybového momentu M_{Sd} . Účinky síly N_{Sd} a momentu M_{Sd} se vyjadřují podélnou silou v pásnici $N_{f,Sd}$.

Redukovaný plastický ohybový moment tlačené nebo tažené pásnice je

$$M_{N,f} = 0,25 b t_f^2 f_{yf} \left(1 - [N_{f,Sd}/(b t_f f_{yf} / \gamma_{M0})]^2 \right) \quad (60)$$

a plastický ohybový moment stěny

$$M_{pl,w} = 0,25 t_w d^2 f_{yw}$$

V případě prostého smykového namáhání pole prutu, když $N_{Sd} = 0$ a $M_{Sd} = 0$, je plastický moment tlačené pásnice

$$M_{N,fc} = M_{fc} = 0,25 b_c t_{fc}^2 f_{yf} \quad (61a)$$

a plastický moment tažené pásnice

$$M_{N,ft} = M_{ft} = 0,25 b_t t_{ft}^2 f_{yf} \quad (61b)$$

Potom smyková únosnost pole prutu je maximální

$$V_{bb,Rd} = V_{b0,Rd}$$

Nejsou-li pásnice dosti tuhé, nebo když se s jejich vlivem nepočítá, je smyková únosnost

$$V_{bb,Rd} = V_{ba,Rd}$$

6.7.3.3 Koncové pole

V důsledku pokritického působení jsou podporové výztuhy ohýbané v rovině stojiny. Proto smyková únosnost koncových polí závisí na tuhosti podporových výztuh. Podporové výztuhy je proto třeba navrhnout dostatečně tuhé podle 6.7.6.

V závislosti na tuhosti podporových výztuh se pro výpočet smykové únosnosti koncových polí prutů může použít úplná pokritická metoda (smyková únosnost $V_{bb,Rd}$) nebo jednoduchá pokritická metoda (smyková únosnost $V_{ba,Rd}$) a předchozí vztahy pro vnitřní pole. Při nedostatečně tuhých podporových výztuhách není možné počítat s plným pokritickým působením stojiny a uvažuje se jen smyková únosnost $V_{bm,Rd}$ podle vztahu (53).

Smyková únosnost pole prutu s podélnými výztuhami se podle úplné pokritické metody určí tak, že se počítá s redukčním součinitelem $\rho_{V,ff}$, který odpovídá největší vzdálenosti mezi podélnými výztuhami nebo podélnou výztuhou a pásnicí. Součinitel $\rho_{V,ff}$ se určí jako pro pole bez podélných výztuh.

6.7.3.4 Požadavky na svary

Silové účinky pokritického působení stojiny na pásnice a výztuhy se přenášejí prostřednictvím jejich svarových přípojí. Proto je potřebné tyto účinky uvážit i při návrhu svarů.

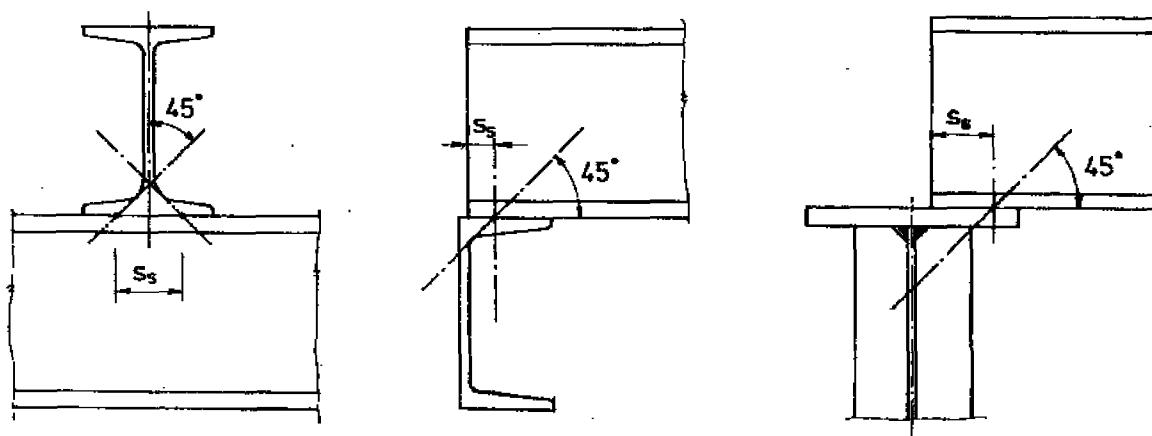
Připojovací svary stojiny k pásnicím musí být průběžné. Silové účinky pokritického působení stojiny se spolehlivě přenesou do pásnic, když účinná výška jejich svarového přípoje je rovna tloušťce stojiny. Svarové přípoje výztuh mají přenést účinky, na které byly výztuhy navrženy.

6.7.4 Namáhání příčným zatížením mimo výztuhy

Únosnost prutů namáhaných místním příčným zatížením působícím mezi výztuhami závisí na lokální pevnosti, borcení a stabilitě jejich stojin.

Vyztužení stojiny příčnými a podélnými výztuhami lokální pevnost a borcení stojiny podstatně neovlivní, kromě případu, když podélné výztuhy jsou dostatečně blízko od zatížené pásnice, tj. jestliže je $d_1 < d/4$.

Lokální vliv příčného zatížení na stojinu prutu závisí na roznášecí délce s_x , která se určí za předpokladu roznášení vyztuženými ocelovými částmi ve sklonu 45° podle obrázku 8. Roznášení prostřednictvím volně vložených vložek se neuvažuje.



Obrázek 8 – Roznášecí délka příčného zatížení

6.7.4.1 Lokální únosnost stojiny

Lokální únosnost stojiny se posuzuje podle podmínky

$$F_{Sd} \leq R_{y,Rd}$$

kde F_{Sd} je výpočtové příčné zatížení;

$R_{y,Rd}$ výpočtová lokální únosnost stojiny, která je určena plastifikací stojiny těsně pod pásnicí; vypočte se z výrazu

$$R_{y,Rd} = (s_s + s_y) t_w f_{yw} / \gamma_{M1}, \quad (62)$$

$$\text{kde } s_y = \sqrt{2} t_f (b_f / t_w) \sqrt{(f_{yf} / f_{yw})} \sqrt{1 - (\sigma_{f,Ed} \gamma_{M0} / f_{yf})^2}, \quad (63)$$

$\sigma_{f,Ed}$ je normálové napětí v pásnici, $b_f \leq 25 t_f$.

Pro konec prutu se s_y uvažuje poloviční hodnotou.

Výpočtová lokální únosnost stojiny nosníku jeřábové dráhy, jestliže kolejnice není přivařena k pásnici nosníku jeřábové dráhy, se vypočte z výrazu

$$R_{y,Rd} = s_y t_w f_{yw} / \gamma_{M1}, \quad (64)$$

$$\text{kde } s_y = k_R \sqrt[3]{(I_f + I_R) / t_w} \sqrt{1 - (\sigma_{f,Ed} \gamma_{M0} / f_{yf})^2}; \quad (65)$$

I_f je moment setrvačnosti pásnice k vlastní vodorovné těžiškové ose;

I_R moment setrvačnosti kolejnice k vlastní vodorovné těžiškové ose;

$k_R = 3,25$, když je kolejnice uložena přímo na pásnici;

$k_R = 4,0$, když je mezi kolejnicí a pásnicí alespoň 5 mm tlustá pružná podložka.

6.7.4.2 Lokální borcení stojiny

Lokální borcení stojiny se posuzuje podle podmínky

$$F_{Sd} \leq R_{s,Rd}$$

kde $R_{s,Rd}$ je výpočtová únosnost stojiny v lokálním borcení, která je dána plastifikací a vyboulením stojiny těsně pod pásnicí. Určí se z výrazu

$$R_{s,Rd} = 0,5 t_w^2 \sqrt{E f_{yw}} \left[\sqrt{t_f / t_w} + 3 (t_w / t_f) (s_s / d) \right] / \gamma_{M1}; \quad (66)$$

přitom se počítá

$$s_s / d \leq 0,2.$$

Pokud je prut namáhaný také ohybovým momentem M_{Sd} , musí být rovněž splněna následující podmínka:

$$\frac{F_{Sd}}{R_{s,Rd}} + \frac{M_{Sd}}{M_{c,Rd}} \leq 1,5. \quad (67)$$

Výpočtová únosnost stojiny v lokálním borcení prutu při pohyblivém místním tlaku (např. při tlaku kol jeřábu) se stanoví z výrazu

$$R_{s,Rd} = 10 f_{yw} t_w^2 \left(1 + 0,004 \frac{s_s}{t_w} \right) \left(\frac{I_f}{t_w^4 \sqrt{\frac{f_{yf}}{235}}} \right)^{0,132} / \gamma_{M1}, \quad (68)$$

kde $s_s/a \leq 0,2$;

I_f je moment setrvačnosti zatížené pásnice k vlastní vodorovné těžiškové ose;

f_{yf} mez kluzu zatížené pásnice;

a vzdálenost příčných výztuh.

Je-li stojina vyztužena také podélnou výztuhou a prut je namáhán pohyblivým místním tlakem, je optimální poloha podélné výztuky ve vzdálenosti ($d/5$) od zatížené pásnice. Potom je

$$R_{s,Rd} = 15 f_{yw} t_w^2 \left(1 + 0,004 \frac{s_s}{t_w} \right) \left(\frac{I_f}{t_w^4 \sqrt{\frac{f_{yf}}{235}}} \right)^{0,153} / \gamma_{M1}, \quad (69)$$

Pokud je prut namáhán i ohybovým momentem M_{Sd} , musí být při pohyblivém místním tlaku splněna podmínka

$$F_{Sd} \leq \frac{R_{s,Rd}}{\gamma_{M1}} \sqrt{1 - \left(\frac{\sigma_{we}}{f_{yw}} \right)^2}, \quad (70)$$

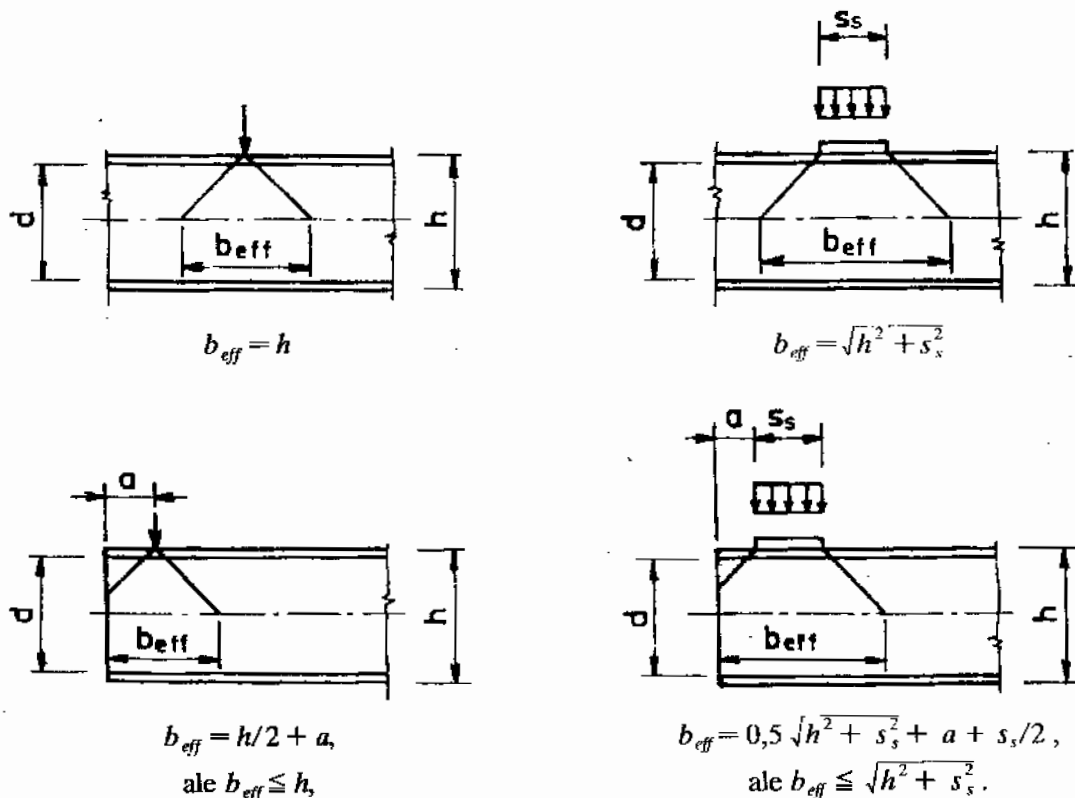
kde σ_{we} je napětí od ohybového momentu M_{Sd} v krajních vláknech stojiny u zatížené pásnice.

6.7.4.3 Lokální stabilita stojiny

Lokální stabilita stojiny je dána vyboulením stojiny na převážné části její výšky a posuzuje se podle podmínky

$$F_{Sd} \leq R_{b,Rd}. \quad (71)$$

Za stabilitní únosnost stojiny $R_{b,Rd}$ se považuje vzpěrná únosnost fiktivního prutu, který je vytvořen z části stojiny s efektivní šířkou b_{eff} podle obrázku 9.



Obrázek 9 – Efektivní šířka stojiny

Stabilitní únosnost stojiny $R_{b,Rd}$ se určí podle 6.8.1.1 a normativní přílohy E pro vzpěrnou křivku c a $\beta_A = 1$. Vzpěrná délka posuzovaného tlačného fiktivního prutu se určí podle podmínek pro příčný posun a pootočení konců stojiny v pásnicích. Přibližně lze uvažovat vzpěrnou délku v $0,75 d$.

Tuhé podélné výztuhy zkracují vzpěrnou délku tlačného fiktivního prutu. Pak se počítá s největší výškou dílčího pole stojiny.

6.7.5 Namáhání tlakem, ohybem a smykem

Únosnost kombinovaně namáhaných prutů se štíhlými průřezy a vyztuženými poli se posoudí pomocí interakčních závislostí normálových a smykových účinků namáhání. V závislosti na metodě výpočtu smykové únosnosti stěn se rozlišují dvě následující skupiny interakčních závislostí.

6.7.5.1 Jednoduchá pokritická metoda

Únosnost průřezu nebo pole stojiny vyhovuje, když jsou splněny následující podmínky:

- výpočtová příčná síla

$$V_{Sd} \leq V_{ba,Rd} ; \tag{72}$$

kde $V_{ba,Rd}$ je smyková únosnost podle 6.7.3.1;

- výpočtový ohybový moment

$$M_{Sd} \leq M_{cN,Rd} ; \tag{73}$$

pokud je $V_{Sd} \leq 0,5 V_{ba,Rd}$;

nebo

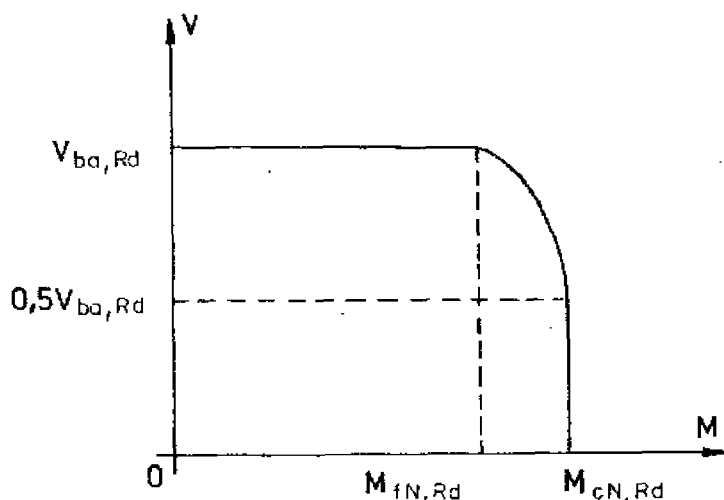
$$M_{Sd} \leq M_{fN,Rd} + (M_{cN,Rd} - M_{fN,Rd}) [1 - (2 V_{Sd}/V_{ba,Rd} - 1)^2] ; \tag{74}$$

pokud je $V_{Sd} > 0,5 V_{ba,Rd}$.

Přitom $M_{cN,Rd}$ je moment únosnosti efektivního průřezu redukováný v důsledku působení osové síly

$$M_{fN,Rd} = \begin{cases} N_{Sd} ; \\ \text{pro } N_{Sd} = 0 \text{ je } M_{cN,Rd} = M_{c,Rd} ; \\ \text{moment únosnosti průřezu, složeného pouze z pásnic, redukováný v důsledku působení osové síly } N_{Sd} ; \\ \text{pro } N_{Sd} = 0 \text{ je } M_{fN,Rd} = M_{f,Rd} . \end{cases}$$

Přitom se počítá pouze s efektivní částí tlačené pásnice. Tyto interakční závislosti jsou znázorněny na obrázku 10.



Obrázek 10 – Interakční závislost M, V při jednoduché pokritické metodě

6.7.5.2 Úplná pokritická metoda

Únosnost pole stojiny vyhovuje, když jsou splněny tyto podmínky:

– výpočtová příčná síla

$$V_{Sd} \leq V_{ba,Rd}, \quad (75)$$

kde $V_{ba,Rd}$ je smyková únosnost podle 6.7.3.1

a výpočtový ohybový moment

$$M_{Sd} \leq M_{cN,Rd}, \quad (76a)$$

pokud je $V_{Sd} \leq 0,5 V_{ba,Rd}$;

nebo

$$M_{Sd} \leq M_{fN,Rd} + (M_{cN,Rd} - M_{fN,Rd}) [1 - (2 V_{Sd}/V_{ba,Rd} - 1)^2], \quad (76b)$$

pokud je

$$0,5 V_{ba,Rd} \leq V_{Sd} \leq V_{ba,Rd};$$

– výpočtová příčná síla

$$V_{Sd} \leq V_{bb,Rd}, \quad (77)$$

a výpočtový ohybový moment

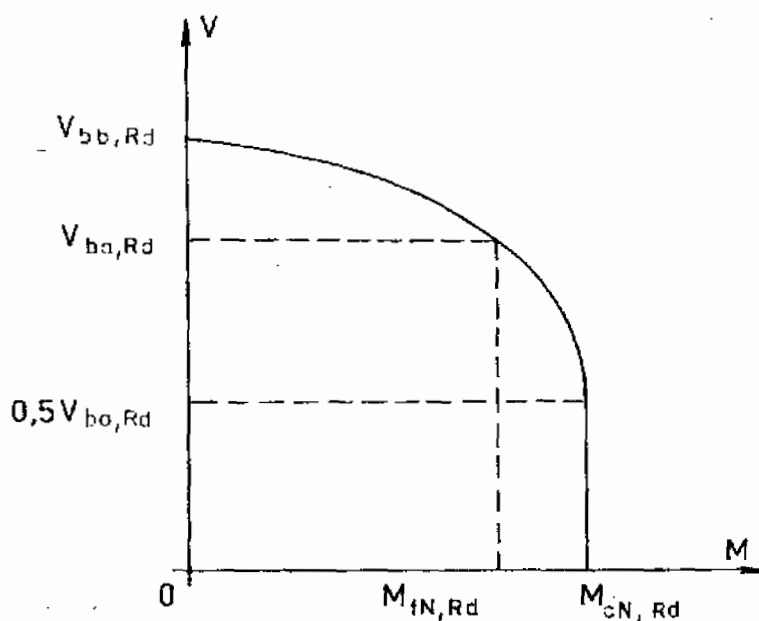
$$M_{Sd} \leq M_{fN,Rd}, \quad (78)$$

pokud je

$$V_{Sd} > V_{ba,Rd},$$

kde $V_{bb,Rd}$ je maximální smyková únosnost podle 6.7.3.2.

Pokud $M_{cN,Rd} = 0$, pak $V_{bb,Rd} = V_{b0,Rd}$. Tyto interakční závislosti jsou znázorněny na obrázku 11.



Obrázek 11 – Interakční závislosti M, V při úplné pokritické metodě

6.7.6 Výztuhy stojin prutů

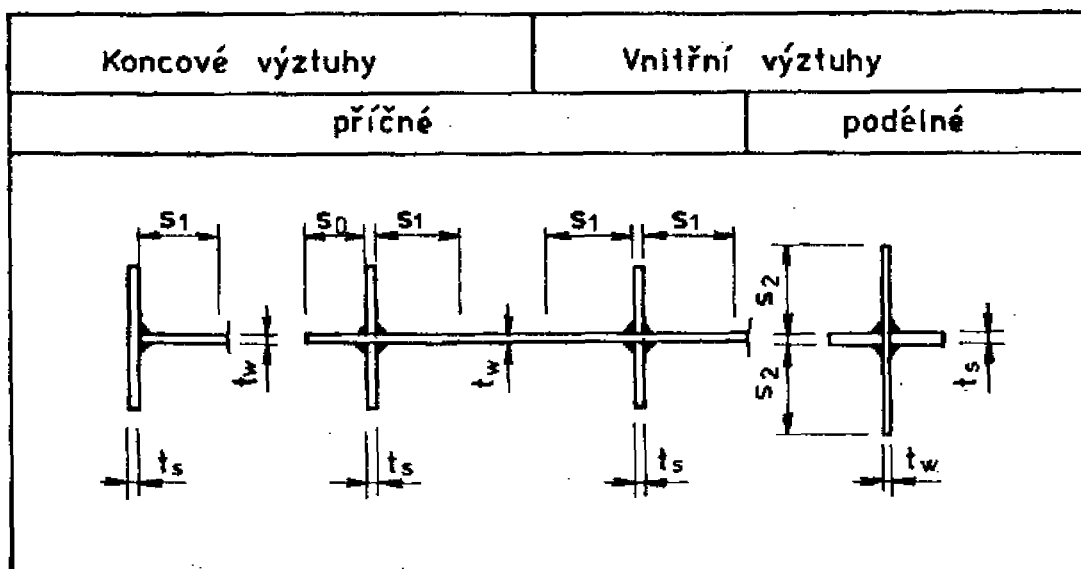
Štíhlé stojiny prutů se doporučuje vyztužit příčnými a případně i podélnými výztuhami. Stojiny prutů je nutné vyztužit alespoň příčnými výztuhami nad podporami a pod většími soustředěnými silami.

Výztuhy mají být dostatečně tuhé, aby se zabezpečilo nepoddajné podepření stojin v místech výztuh. Při navrhování výztuh je nutné respektovat alespoň požadavky na průřezy třídy 3 podle tabulky 13. Jinak se počítá pouze s efektivními částmi podle 6.7.2.

Výztuhy se posuzují z hlediska tuhosti a z hlediska pevnosti. Do jejich efektivního průřezu se započítávají i spolupůsobící části stojiny s_0, s_1, s_2 , znázorněné na obrázku 12.

$$s_0 = 10 t_w \sqrt{235/f_y}, \quad s_1 = 15 t_w \sqrt{235/f_y},$$

$$s_2 = 15 t_w \sqrt{235/f_y}, \quad \text{avšak nejvýše polovina vzdálenosti podélných výztuh.}$$



Obrázek 12 – Efektivní průřez výztuh

Doporučuje se navrhovat výztuhy symetrické vůči rovině stojiny. Jinak je potřebné uvážit vliv excentricity zatížení.

6.7.6.1 Příčné výztuhy

Tuhost příčných výztuh se posuzuje podle podmínky

$$I_s \geq 0,1 d t_w^3 \alpha_s \gamma_s, \tag{79}$$

kde I_s je nutný moment setrvačnosti výztuhy;

$$\alpha_s = 1 \quad \text{pro } d/t_w \leq 70;$$

$$\alpha_s = 3 \quad \text{pro } d/t_w \geq 130;$$

$$\gamma_s = 21 d/a - 15 a/d \quad \text{pro } a/d \leq 1;$$

$$\gamma_s = 6 \quad \text{pro } a/d > 1.$$

Pro hodnoty $70 < d/t_w < 130$ se hodnota α_s určí lineární interpolací.

Pokud je stojina vyztužena kromě příčných i podélnými výztuhami, počítá se v rovnici (79) místo skutečné tloušťky stojiny t_w s ekvivalentní tloušťkou stojiny t_{we} , určenou z podmínky stejné smykové únosnosti stojiny bez podélných výztuh podle 6.7.3.

Pevnost vnitřních příčných výztuh se posuzuje na vzpěrnou únosnost pro zatížení

- a) místní příčnou silou F_{Sd} , působící v místě výztuhy;
- b) tlakovou silou N_{Sd} , vyvolanou pokritickým působením stojiny, která se určí z výrazu

$$N_{Sd} = V_{Sd} - V_{bm,Rd}, \tag{80}$$

kde V_{Sd} je větší z posouvajících sil po obou stranách výztuhy;
 $V_{bm,Rd}$ minimální únosnost, určená podle vzorců (53) a (54).

Účinky sil F_{Sd} a N_{Sd} na výztuhu se posuzují samostatně. Přitom se počítá se vzpěrnou délkou výztuhy $l_{s,cr} = 0,75 d$ nebo případně i s menší, když je zkrácení vzpěrné délky výztuhy konstrukčně zabezpečeno, např. příčným ztužidlem.

Koncové a podporové příčné výztuhy se posuzují obdobně jako vnitřní příčné výztuhy na vzpěrnou únosnost pro zatížení:

- a) místní příčnou silou F_{Sd} .
- b) tlakovou silou N_{Sd} ; a navíc

c) na účinky ohybového momentu M_{sd} , vyvolaného pokritickým působením stojiny, který se vypočte z rovnice

$$M_{sd} = \frac{A_v (\tau - \tau_m)}{1 \sqrt{1 + \alpha^2} - \alpha} \tag{81}$$

kde τ je průměrné smykové napětí v koncovém poli stojiny a

$$\tau_m = f_{yv} \rho_{vm} / \sqrt{3} \tag{82}$$

kde $\rho_{v,m}$ se určí podle (54).

Účinky ohybového momentu M_{sd} se sečítají s větším z účinků sil F_{sd} a N_{sd} . Pokud je stojina vyztužena příčnými i podélnými výztuhami, počítá se s ekvivalentní tloušťkou stojiny t_{ve} .

6.7.6.2 Podélné výztuhy

Potřebný moment setrvačnosti podélné výztuhy se vypočte z rovnice (79), avšak součinitel α_s se bere z tabulky 15 a součinitel γ_s se vypočte z výrazu (83).

$$\gamma_s = \sqrt{\left(\gamma_N \frac{\sigma_{N,i}}{\rho_{N,i} f_{yv}} + \frac{\sigma_{M,i}}{\rho_{M,i} f_{yv}} \right)^2 + \left(\gamma_V \frac{\tau_{V,i}}{\rho_{V,i} f_{yv} / \sqrt{3}} \right)^2} \tag{83}$$

kde $\sigma_{N,i}$, $\sigma_{M,i}$ a $\tau_{V,i}$ jsou průměrná normálová a smyková napětí příslušného dílčího pole stojiny od tlakové síly, ohybového momentu a od příčné síly;

$\rho_{N,i}$, $\rho_{M,i}$ a $\rho_{V,i}$ redukční součinitelé tlakové, ohybové a smykové únosnosti příslušného dílčího pole stojiny podle 6.7.2 a 6.7.3;

γ_N , γ_M a γ_V se určí podle vyztužení a namáhání celého pole stojiny podle tabulky 16.

Tabulka 15 – Hodnoty součinitele α_s

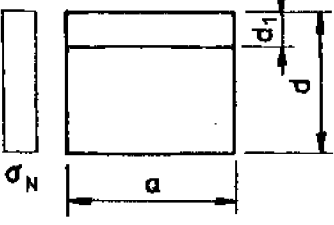
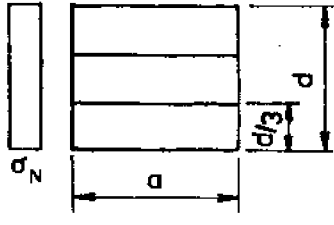
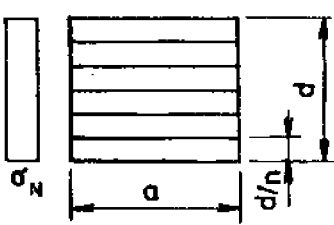
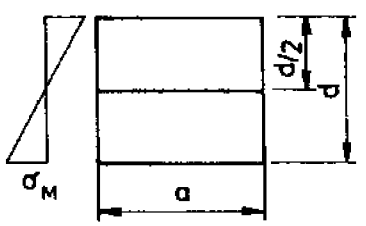
Vyztužení		$d/t_w \leq 120^1)$	$d/t_w \geq 240^1)$
Výztuhy otevřeného průřezu	jedna výztuha	1,25	4,0
	více výztuh	1,0	3,2
Výztuhy uzavřeného průřezu	jedna výztuha	1,25	2,5
	více výztuh	1,0	2,0

¹⁾ Pro šiklosti $120 < d/t_w < 240$ se lineárně interpoluje.

Hodnoty γ_s se určí pro obě dílčí pole přiléhající k posuzované výztuze. Uvažuje se větší z takto vypočítaných hodnot součinitele γ_s .

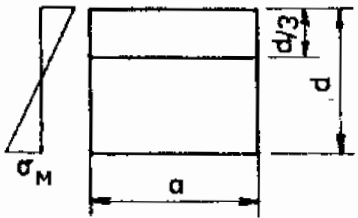
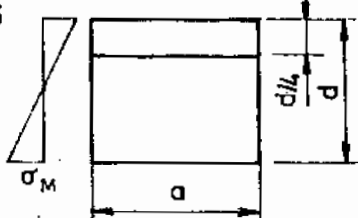
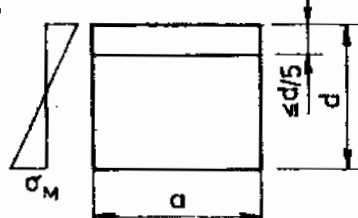
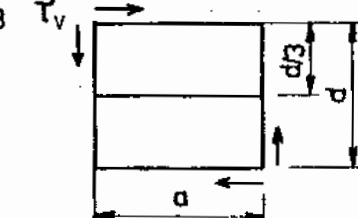
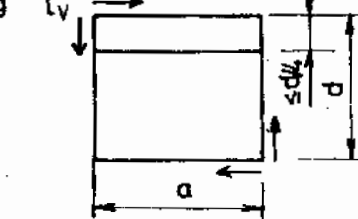
Z hlediska pevnosti se podélné výztuhy posuzují pouze v případě, když jejich tlakové namáhání přesahuje 2/3 namáhání v tlacenné pásnici. Posuzuje se jejich vzpěrná únosnost s uvážením vzpěrné délky, rovné vzdálenosti příčných výztuh a účinného průřezu podle 6.7.6.

Tabulka 16 – Součinitelé γ_N , γ_M , γ_V pro podélné výtuby

Namáhání a vyztužení	$\frac{a}{d}$	$\gamma_N \gamma_M \gamma_V$
<p>1</p>  <p>σ_N</p> <p>platí pro $0,1 \leq \frac{d_1}{d} \leq 0,5$</p>	<p>$< K_1$</p>	$\gamma_N = \frac{1}{\delta_1} [4\delta_1^2(1 + 2\delta) - 2] \frac{a^2}{d^2} - \frac{1}{\delta_1} \cdot \frac{a^4}{d^4} + \frac{1 + \delta\delta_1}{\delta_1} + 2 \left(\frac{a}{d} - 1,1 \right)^2 \left(1 - \frac{16}{\delta_1^2} \right) - \frac{1}{2} + \frac{8}{\delta_1^4}, \text{ nejméně } 2,5$
<p>2</p>  <p>σ_N</p>	<p>$< K_2$</p>	$\gamma_N = \frac{1}{3} \left\{ 2[18(1 + 3\delta) - 1] \frac{a^2}{d^2} - \frac{a^4}{d^4} + 1 + 3\delta \right\}$
<p>3</p>  <p>σ_N</p>	<p>$< K_3$</p>	$\gamma_N = \frac{1}{n} \left[4n^2(1 + n\delta) \frac{a^2}{d^2} - \frac{a^4}{d^4} \right]$
<p>$\delta = \frac{A_{st}}{d t_v}$,</p> <p>$\delta_1 = \frac{d}{d - d_1}$,</p>		$K_1 = \sqrt{(1,25 - 1,17\delta_1 + 0,935\delta_1^2)^2 + 2\delta_1^3\delta}$ $K_2 = \sqrt{18(1 + 3\delta) - 1}$ $K_3 = n\sqrt{2(1 + n\delta)}$
<p>4</p>  <p>σ_M</p>	<p>> 0</p>	<p>$\gamma_M = 1,3$</p>

(Pokračování)

Tabulka 16 (dokončení)

Namáhání a vyztužení	$\frac{a}{d}$	$\gamma_N \gamma_M \gamma_V$
<p>5</p> 	$\leq 0,7$ $> 0,7$	$\gamma_M = 2,4 + 18,4\delta$ menší z hodnot $\gamma_M = (4 + 20\delta) \left(\frac{a}{d} - 0,1 \right)$ anebo $\gamma_M = 3,5 + 35\delta$
<p>6</p> 	$\leq 0,5$ $> 0,5$	$\gamma_M = 2,4 + 18,4\delta$ menší z hodnot $\gamma_M = (12 + 92\delta) \left(\frac{a}{d} - 0,3 \right)$ anebo $\gamma_M = 16 + 200\delta$
<p>7</p> 	$> 0,5$	menší z hodnot $\gamma_M = 3,87 + 5,1 \frac{a}{d} + (8,82 + 77,6\delta) \frac{a^2}{d^2}$ anebo $\gamma_M = 50 + 200\delta$
<p>8</p> 	$> 0,5$ $\leq 2,0$	$\gamma_V = 5,4 \frac{a^2}{d^2} \left(2 \frac{a}{d} + 2,5 \frac{a^2}{d^2} - \frac{a^3}{d^3} - 1 \right)$
<p>9</p> 	$> 0,5$ $\leq 2,0$	$\gamma_V = 7,2 \frac{a^2}{d^2} \left(-3,3 \frac{a}{d} + 3,9 \frac{a^2}{d^2} - 1,1 \frac{a^3}{d^3} \right)$

6.8 Vzpěrná únosnost celistvých prutů

6.8.1 Centricky tlačené pruty

6.8.1.1 Rovinný vzpěr

Výpočtová tlaková síla N_{sd} centricky tlačěného prutu při rovinném vybočení musí splňovat podmínku

$$N_{sd} \leq N_{b,Rd} \tag{84a}$$

kde $N_{b,Rd}$ je výpočtová vzpěrná únosnost centricky tlačěného prutu, která se určí z výrazu

$$N_{b,Rd} = \chi \beta_A A f_y / \gamma_{M1} \tag{84b}$$

kde $\beta_A = 1$ pro průřezy třídy 1, 2 a 3;
 $\beta_A = \frac{A_{eff}}{A}$ pro průřezy třídy 4;
 χ je součinitel vzpěrnosti pro příslušný směr vybočení.

Pro pruty s konstantním průřezem a konstantní osovou silou po jejich délce se součinitel vzpěrnosti χ vypočítá podle vzorce

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1,0, \quad (85)$$

kde $\phi = 0,5 [1 + \alpha_1 (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$,
 α_1 je míra imperfekcí, která se určuje podle tabulek 17 a 18;
 $\bar{\lambda}$ poměrná štíhlost prutu, která se vypočítá ze vzorce

$$\bar{\lambda} = (\lambda/\lambda_1) \sqrt{\beta_A}, \quad (86)$$

kde λ je štíhlost prutu pro příslušný směr vybočení, která se vypočítá ze vzorce

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i};$$

λ_1 srovnávací štíhlost, která se vypočítá ze vzorce

$$\lambda_1 = 93,9 \sqrt{235/f_y};$$

L_{cr} vzpěrná délka pro příslušný směr vybočení.

Hodnoty součinitelů vzpěrnosti χ podle vzorce (85) jsou v normativní příloze E.

Tabulka 17 – Míra imperfekcí α_1

Křivka vzpěrné pevnosti	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
α_1	0,21	0,34	0,49	0,76

Pro průřezy neuvedené v tabulce 18 se přiřadí křivka vzpěrné pevnosti podle analogie s průřezy v tabulce uvedenými.

Vzpěrná délka L_{cr} závisí na okrajových podmínkách. Pro základní případy prutů s konstantním průřezem a konstantní osovou silou jsou vzpěrné délky uvedeny v normativní příloze C.

Pruty s proměnnou tlakovou silou nebo s proměnným průřezem se s použitím součinitelů vzpěrnosti posuzují rovněž podle normativní přílohy C.

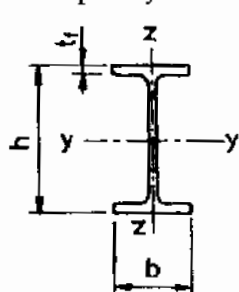
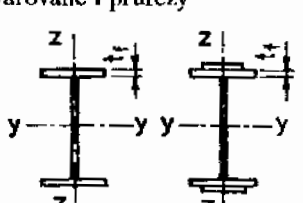
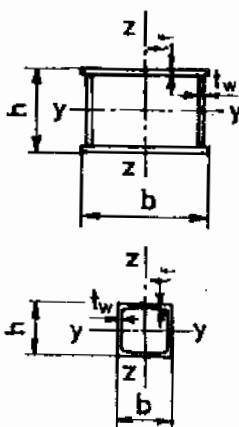
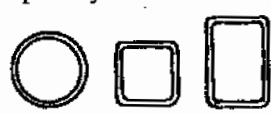

Únosnost centricky tlacených prutů při rovinném vybočení je možné určit alternativně výpočtem podle teorie 2. řádu s uvážení imperfekcí podle normativní přílohy B.

Při tlacených prutech z průřezů tvarovaných za studena je možné počítat:

- s průměrnou mezí kluzu materiálu průřezů tvarovaných za studena f_{yb} a s křivkou vzpěrné pevnosti *c* nebo
- s mezí kluzu základního materiálu f_{yb} a s křivkou vzpěrné pevnosti *b*.

Průměrnou mez kluzu materiálu průřezů tvarovaných za studena f_{yb} je možné určit pomocí zkoušek průřezů skutečných rozměrů nebo podle ČSN P ENV 1993-1-1. Zvýšení meze kluzu, získané tvarováním za studena, se nesmí využívat pro prvky, které se po tvarování svařují, žíhají, galvanizují nebo tepelně zpracovávají.

Tabulka 18 – Přirazení křivek vzpěrné pevnosti k průřezům

Průřez	Meze		Vybočení kolmo k ose	Křivka vzpěrné pevnosti
<p>Válcované I průřezy</p> 	$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y - y z - z	a b
		$t_f > 40 \text{ mm}$ $< 100 \text{ mm}$	y - y z - z	b c
	$h/b \leq 1,2$	$t_f \leq 100 \text{ mm}$	y - y z - z	b c
		$t_f > 100 \text{ mm}$	y - y z - z	d d
<p>Svařované I průřezy</p> 	$t_f \leq 40 \text{ mm}$		y - y z - z	b c
	$t_f > 40 \text{ mm}$		y - y z - z	c d
<p>Svařované truhlíkové průřezy</p> 	všechny, kromě následujících výjimek		libovolné	b
	$b/t_w < 30$ $h/t_w < 30$		y - y z - z	c c
<p>Duté průřezy</p> 	válcované za tepla		libovolné	a
	tvarované za studena – s použitím f_{yb} – s použitím f_{yd}		libovolné libovolné	b c
U, L, T profily a plné průřezy			libovolné	c

6.8.1.2 Prostorový vzpěr

Výpočtová vzpěrná únosnost centricky tlačených prutů při prostorovém vzpěru se určí podle rovnice (84). Při určování součinitelů vzpěrnosti χ se však štíhlost λ nahradí štíhlostí λ_{ox} , λ_{oz} nebo λ_{yzo} . Pro štíhlosti prostorového vzpěru λ_{ox} , λ_{oz} nebo λ_{yzo} se berou součinitelé vzpěrnosti podle křivky vzpěrnosti b.

Základní štíhlosti pro pruty stálého průřezu jsou:

- pro vybočení ohybem kolmo k hlavní ose y - y

$$\lambda_y = L_{xy} \sqrt{\frac{A}{I_y}} \tag{87a}$$

– pro vybočení ohybem kolmo k hlavní ose $z - z$

$$\lambda_z = L_{cr,z} \sqrt{\frac{A}{I_z}}; \quad (87b)$$

– pro vybočení zkroucením kolem podélné osy prutu $x - x$

$$\lambda_\omega = \sqrt{\frac{I_p}{\frac{I_\omega}{I_{cr,\omega}^2} + \frac{I_t}{25}}}, \quad (87c)$$

kde L_{cr} jsou vzpěrné délky prutu pro vybočení ohybem v hlavních rovinách setrvačnosti a při vybočení zkroucením;

I_y, I_z momenty setrvačnosti průřezu k hlavním osám $y - y, z - z$;

I_ω výsečový moment setrvačnosti ke středu smyku C_s ;

I_t moment tuhosti v prostém kroucení;

$I_p = I_y + I_z + A a^2$ polární moment setrvačnosti průřezu ke středu smyku;

$$a = \sqrt{a_y^2 + a_z^2},$$

kde a_y, a_z jsou souřadnice středu smyku k hlavním osám $y - y, z - z$.

Základní štíhlosti λ_y, λ_z a λ_ω podle (87a) až (87c) jsou kritické štíhlosti prutu s průřezem dvouose nebo středově souměrným.

Kritická štíhlost prutu s průřezem souměrným k jedné ose $z - z$ je:

$$\lambda_{z\omega} = \alpha_z \sqrt{\lambda_\omega^2 + \lambda_z^2} \geq \lambda_\omega \text{ nebo } \lambda_z, \quad (88)$$

kde α_z je součinitel nesouměrnosti, který se vypočítá z výrazu

$$\alpha_z = \sqrt{\frac{1 + (a_z/i_p)}{2}}, \quad (89)$$

i_p je polární poloměr setrvačnosti průřezu ke středu smyku, který se vypočítá z výrazu

$$i_p = \sqrt{I_p/A}.$$

Kritická štíhlost prutu s nesouměrným průřezem je přibližně:

– převládá-li jedna ze štíhlostí $\lambda_\omega, \lambda_y$ nebo λ_z :

$$\lambda_{yz\omega} = \sqrt{\lambda_1^2 + \alpha_1 \lambda_2^2 + \alpha_2 \lambda_3^2}, \quad (90)$$

kde $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3$ jsou štíhlosti $\lambda_y, \lambda_z, \lambda_\omega$, seřazené podle velikosti;

$\alpha_1 > \alpha_2$ parametry $\alpha_y = (a_y/i_p)^2, \alpha_z = (a_z/i_p)^2$, seřazené podle velikosti;

– neliší-li se příliš štíhlosti $\lambda_y, \lambda_z, \lambda_\omega$:

$$\lambda_{yz\omega} = \alpha \sqrt{\lambda_\omega^2 + \lambda_y^2 + \lambda_z^2} \geq \lambda_\omega, \lambda_y \text{ nebo } \lambda_z, \quad (91)$$

kde α je součinitel nesouměrnosti, který je možné určit z rovnice

$$\alpha = \sqrt{\frac{1 + (a_s/i_p)}{3}}, \quad (92)$$

kde a_s je vzdálenost středu smyku od těžiště průřezu.

6.8.2 Pruty namáhané ohybem

6.8.2.1 Ohýbaný prut nemusí být posuzován na ztrátu stability při ohybu (na klopení) v těchto případech:

- průřez prutu je tuhý v kroucení, např. uzavřený průřez;
- při ohybu v hlavní rovině menší tuhosti průřezu prutu;
- je-li tlačení pás zabezpečen proti vybočení z roviny ohybu nebo je-li průřez prutu zabezpečen proti pootočení, a to spojitě nebo ve vzdálenostech menších než 40ti násobek poloměru setrvačnosti konvenčního tlačení pásu nosníku. Přitom se uvažuje poloměr setrvačnosti z roviny ohybu pro konvenční tlačení pásu nosníku, který je tvořen pásnicí (popř. přírubou) nosníku a přilehlou částí stojiny, zahrnující 1/5 její plochy.

Je-li prut zajištěn proti vybočení v tažené oblasti (např. při zatížení vaznice sáním větru), lze uvažovat klopení s vnucenou osou otáčení – vázané klopení.

6.8.2.2 Stabilita prutu při ohybu se posuzuje podle podmínky

$$M_{Sd} \leq M_{b,Rd}, \tag{93}$$

kde $M_{b,Rd}$ je výpočtový moment únosnosti prutu při ohybu, který se určí z výrazu

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \beta_w W_{pl,y} f_y / \gamma_{M1}, \tag{94}$$

kde χ_{LT} je součinitel vzpěrnosti při klopení;

$$\begin{aligned} \beta_w &= 1 && \text{pro průřezy třídy 1 a 2;} \\ \beta_w &= W_{el,y} / W_{pl,y} && \text{pro průřez třídy 3;} \\ \beta_w &= W_{eff,y} / W_{pl,y} && \text{pro průřez třídy 4.} \end{aligned}$$

Štíhlost při klopení

$$\lambda_{LT} = \lambda / \sqrt{\beta_w}, \tag{95a}$$

kde λ je kritická štíhlost při klopení, kterou je možné určit podle normativní přílohy H.

Poměrná štíhlost při klopení $\bar{\lambda}_{LT}$ se určí podle výrazu:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\beta_w W_{pl,y} f_y / M_{cr}} = (\lambda_{LT} / \lambda_1) \sqrt{\beta_w}, \tag{95b}$$

kde $\lambda_1 = \pi \sqrt{E / f_y}$.

Součinitel vzpěrnosti při klopení χ_{LT} se určí pro poměrnou štíhlost $\bar{\lambda}_{LT}$ podle normativní přílohy E pro křivku vzpěrné pevnosti b, nebo vypočítá z výrazu

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq 1,0, \tag{96a}$$

kde $\phi = 0,5 [1 + 0,34 (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2]$. \tag{96b}

6.8.3 Pruty namáhané ohybem a osovým tahem

Pruty namáhané kombinací ohybu a osového tahu musí být posouzeny na klopení při uvážení vektorového účinku osově síly a ohybového momentu.

Stabilita prutu při namáhání ohybem a osovým tahem se posuzuje podle podmínky

$$M_{eff,Sd} \leq M_{b,Rd}, \tag{98}$$

kde $M_{eff,Sd}$ je účinný výpočtový ohybový moment, který se vypočítá z výrazu

$$M_{eff,Sd} = W_{com} \sigma_{com,Ed}, \tag{99a}$$

kde $\sigma_{com,Ed}$ je napětí pro oslabený průřez (které může přesáhnout f_y), odpovídající vlivu vektorových účinků ohybového momentu a osově síly v krajním tlačném vláknu, které se vypočítá z výrazu

$$\sigma_{com,Ed} = M_{Sd} / W_{com} - \psi_{vec} N_{t,Sd} / A, \tag{99b}$$

kde M_{Sd} je výpočtová hodnota ohybového momentu,

$N_{t,Sd}$ výpočtová hodnota tahové osově síly,
 W_{com} pružný modul průřezu pro krajní tlačené vlákno,
 ψ_{vec} redukční součinitel, odpovídající vektorovému efektu, který je
 $\psi_{vec} = 0,8$ pokud se M_{Sd} a $N_{t,Sd}$ mohou měnit nezávisle,
 $\psi_{vec} = 1,0$ pokud se M_{Sd} a $N_{t,Sd}$ mění současně.

Výpočtový moment únosnosti prutu při ohybu $M_{b,Rd}$ se určí z rovnice (94).

6.8.4 Pruty namáhané ohybem a osovým tlakem

6.8.4.1 Pruty s průřezy třídy 1 a třídy 2, namáhané kombinací ohybu a osového tlaku, musí vyhovět podmínce

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{min} Af_y/\gamma_{M1}} + \frac{k_y M_{y,Sd}}{W_{pl,y} f_y/\gamma_{M1}} + \frac{k_z M_{z,Sd}}{W_{pl,z} f_y/\gamma_{M1}} \leq 1, \quad (100)$$

kde $k_y = 1 - \frac{\mu_y N_{Sd}}{\chi_y Af_y} \leq 1,5$;

$$\mu_y = \bar{\lambda}_y (2 \beta_{My} - 4) + \left[\frac{W_{pl,y} - W_{el,y}}{W_{el,y}} \right] \leq 0,90;$$

$k_z = 1 - \frac{\mu_z N_{Sd}}{\chi_z Af_y} \leq 1,5$;

$$\mu_z = \bar{\lambda}_z (1 \beta_{Mz} - 4) + \left[\frac{W_{pl,z} - W_{el,z}}{W_{el,z}} \right] \leq 0,90;$$

χ_{min} je menší z hodnot součinitelů vzpěrnosti χ_y a χ_z pro osy $y - y$, $z - z$;
 β_{My} β_{Mz} součinitelce ekvivalentního konstantního momentu při vybočení ohybem podle tabulky 19.

Pruty, u kterých je klopení možnou formou vybočení, musí vyhovět také podmínce

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_z Af_y/\gamma_{M1}} + \frac{k_{LT} M_{y,Sd}}{\chi_{LT} W_{pl,y} f_y/\gamma_{M1}} + \frac{k_z M_{z,Sd}}{W_{pl,z} f_y/\gamma_{M1}} \leq 1, \quad (101)$$

kde $k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} N_{Sd}}{\chi_z Af_y} \leq 1$;

$$\mu_{LT} = 0,15 \bar{\lambda}_z \beta_{M,LT} - 0,15 \leq 0,90;$$

$\beta_{M,LT}$ je součinitel ekvivalentního konstantního momentu pro klopení podle tabulky 19.

6.8.4.2 Pruty s průřezy třídy 3, namáhané kombinací ohybu a osového tlaku, musí splňovat podmínku

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{min} Af_y/\gamma_{M1}} + \frac{k_y M_{y,Sd}}{W_{el,y} f_y/\gamma_{M1}} + \frac{k_z M_{z,Sd}}{W_{el,z} f_y/\gamma_{M1}} \leq 1, \quad (102)$$

kde k_y , k_z a χ_{min} jsou jako u vzorce (100) a (101);

$$\mu_y = \bar{\lambda}_y (2 \beta_{My} - 4) \leq 0,90;$$

$$\mu_z = \bar{\lambda}_z (2 \beta_{Mz} - 4) \leq 0,90.$$

Pruty, u kterých je klopení možno formou vybočení, musí zároveň vyhovět podmínce

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_z A f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_{LT} M_{y,Sd}}{\chi_{LT} W_{el,y} f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_z M_{z,Sd}}{W_{el,z} f_y / \gamma_{M1}} \leq 1. \quad (103)$$

6.8.4.3 Pruty s průřezy třídy 4, namáhané kombinací ohybu a osové síly, musí splňovat podmínku

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{min} A_{eff} f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_y M_{y,Sd} + N_{Sd} e_{Ny}}{W_{eff,y} f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_z M_{z,Sd} + N_{Sd} e_{Nz}}{W_{eff,z} f_y / \gamma_{M1}} \leq 1, \quad (104)$$

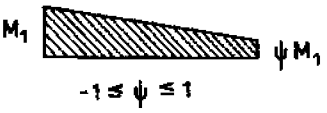
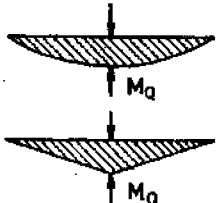
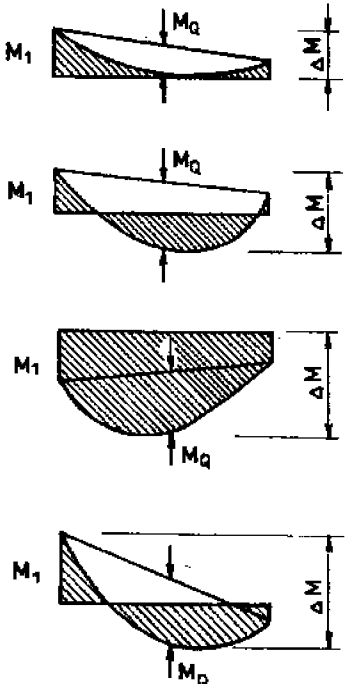
kde k_y , k_z a χ_{min} jsou veličiny jako v (100);
 μ_y a μ_z veličiny jako v (102);
 A_{eff} , $W_{eff,y}$, $W_{eff,z}$, c_{Ny} a e_{Nz} veličiny jako v 6.7.2.

Pruty, u kterých je klopení možnou formou vybočení, musí zároveň vyhovět podmínce

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_z A_{eff} f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_{LT} M_{y,Sd} + N_{Sd} e_{Ny}}{\chi_{LT} W_{eff,y} f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_z M_{z,Sd} + N_{Sd} e_{Nz}}{W_{eff,z} f_y / \gamma_{M1}} \leq 1, \quad (105)$$

6.8.4.4 Součinitelé ekvivalentního konstantního momentu β_{My} , β_{Mz} a $\beta_{M,LT}$ se určí podle tabulky 19 v závislosti na průběhu ohybového momentu mezi příslušnými body vyztužení.

Tabulka 19 – Součinitelé ekvivalentního konstantního momentu

Průběh momentu	Součinitelé ekvivalentního konstantního momentu (β_m^1)	
<p>Koncové momenty</p>  <p>$\beta_{M,\psi} = 1,8 - 0,7 \psi$</p>		
<p>Momenty od klopících zatížení působících v rovině ohybu</p>  <p>$\beta_{M,Q} = 1,3$ $\beta_{M,Q} = 1,4$</p>		
<p>Momenty od klopících zatížení působících v rovině ohybu a od koncových momentů</p>  <p>$\beta_M = \beta_{M,\psi} + \frac{M_Q}{\Delta M} (\beta_{M,Q} - \beta_{M,\psi})$</p> <p>$M_Q = \begin{cases} \max M & \text{— pouze od klopícího zatížení} \\ \max M & \text{— pro momentový průběh bez změny znaménka} \end{cases}$</p> <p>$\Delta M = \begin{cases} \max M + \min M & \text{— při změně znaménka průběhu momentu} \end{cases}$</p>		
<p>¹⁾ Označení β_M</p>	<p>Moment působící okolo osy</p>	<p>Body vyztužené ve směru</p>
<p>β_{My} β_{Mz} $\beta_{M.LT}$</p>	<p>y – y z – z y – y</p>	<p>z – z y – y y – y</p>

6.9 Vzpěrná únosnost členěných prutů

6.9.1 Všeobecně

Členěné pruty jsou sestaveny z dílčích prutů (větví) celistvého průřezu, jež jsou neprůběžně spojeny vložkami, rámovými spojkami nebo příhradovinou.

Při návrhu tlacených členěných prutů se uvažuje ekvivalentní geometrická imperfekce ve tvaru počátečního zakřivení prutu s amplitudou e_0 , která není menší než $L_0/500$.

Členěný centricky tlačný prut se posuzuje pro vybočení kolmo ke hmotné ose (která protíná průřezy dílčích prutů) jako prut celistvý podle ustanovení uvedených v 6.8.

6.9.2 Členěné pruty s příhradovým spojením

6.9.2.1 Vzpěrná únosnost členěného prutu s příhradovým spojením podle obrázku 13 se posuzuje podle podmínky:

$$N_{f,Sd} \leq N_{b,Rd}, \quad (106)$$

kde $N_{f,Sd}$ je výpočtová osová síla dílčího prutu uprostřed délky členěného prutu, která se stanoví z výrazu

$$N_{f,Sd} = 0,5 N_{Sd} + M_s/h_0, \quad (107)$$

kde N_{Sd} je výpočtová osová síla, působící na členěný prut;

$$M_s = N_{Sd} e_0 / (1 - N_{Sd}/N_{cr} - N_{Sd}/S_v); \quad (108)$$

$$e_0 = L_{cr}/500;$$

$$N_{cr} = \pi^2 E I_{eff}/L_{cr}^2; \quad (109)$$

S_v je smyková tuhost příhradového spojení znázorněného na obrázku 13;

I_{eff} efektivní moment setrvačnosti celého členěného prutu, který se stanoví z výrazu

$$I_{eff} = \frac{1}{2} A_f h_0^2; \quad (110)$$

A_f plocha průřezu jednoho dílčího prutu;

h_0 vzdálenost těžištních os dílčích prutů;

$N_{b,Rd}$ únosnost dílčího prutu pro vybočení kolmo k nehmotné ose členěného prutu; přitom se za jeho vzpěrnou délku v rovině příhradového spojení uvažuje vzdálenost styčniců.

6.9.2.2 Vzpěrná únosnost členěného prutu se čtyřmi dílčími větvemi z rovnoramenných úhelníků podle obrázku 14 s oběma hlavními nehmotnými osami se posoudí porovnáním vzpěrné únosnosti dílčího prutu s osovou silou $N_{f,Sd}$. Štíhlost dílčího prutu se počítá pro vzpěrnou délku $L_{cr,f} = L_1$ podle obrázku 14 a nejmenší poloměr setrvačnosti jeho průřezu.

6.9.2.3 Namáhání spojek na konci členěného prutu s příhradovým spojením se odvodí z posouvající síly

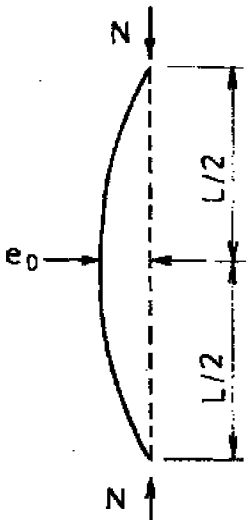
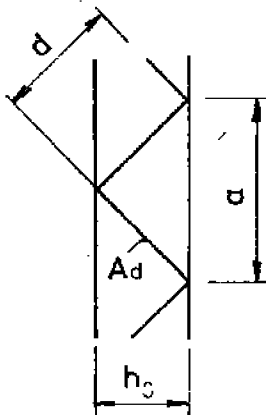
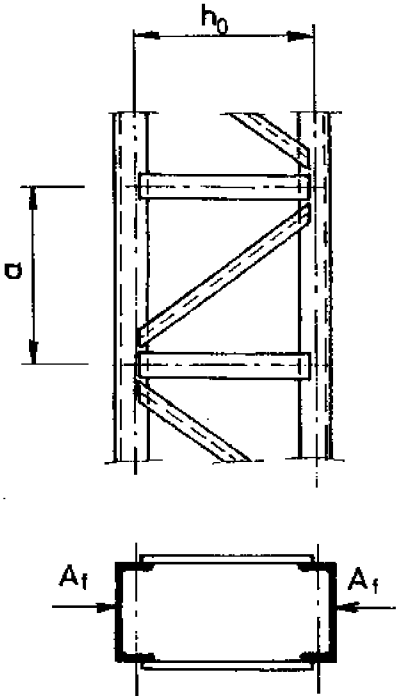
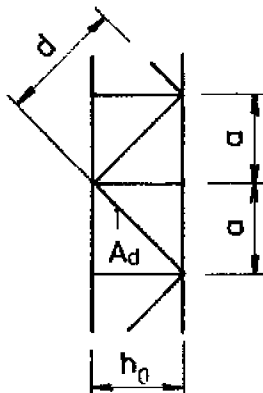
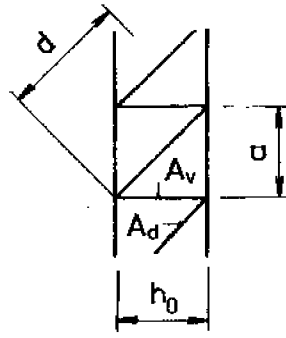
$$V_s = \pi M_s/L_{cr}, \quad (111)$$

kde M_s se určí podle 6.9.2.1.

Osová síla v diagonálách příhradového spojení je

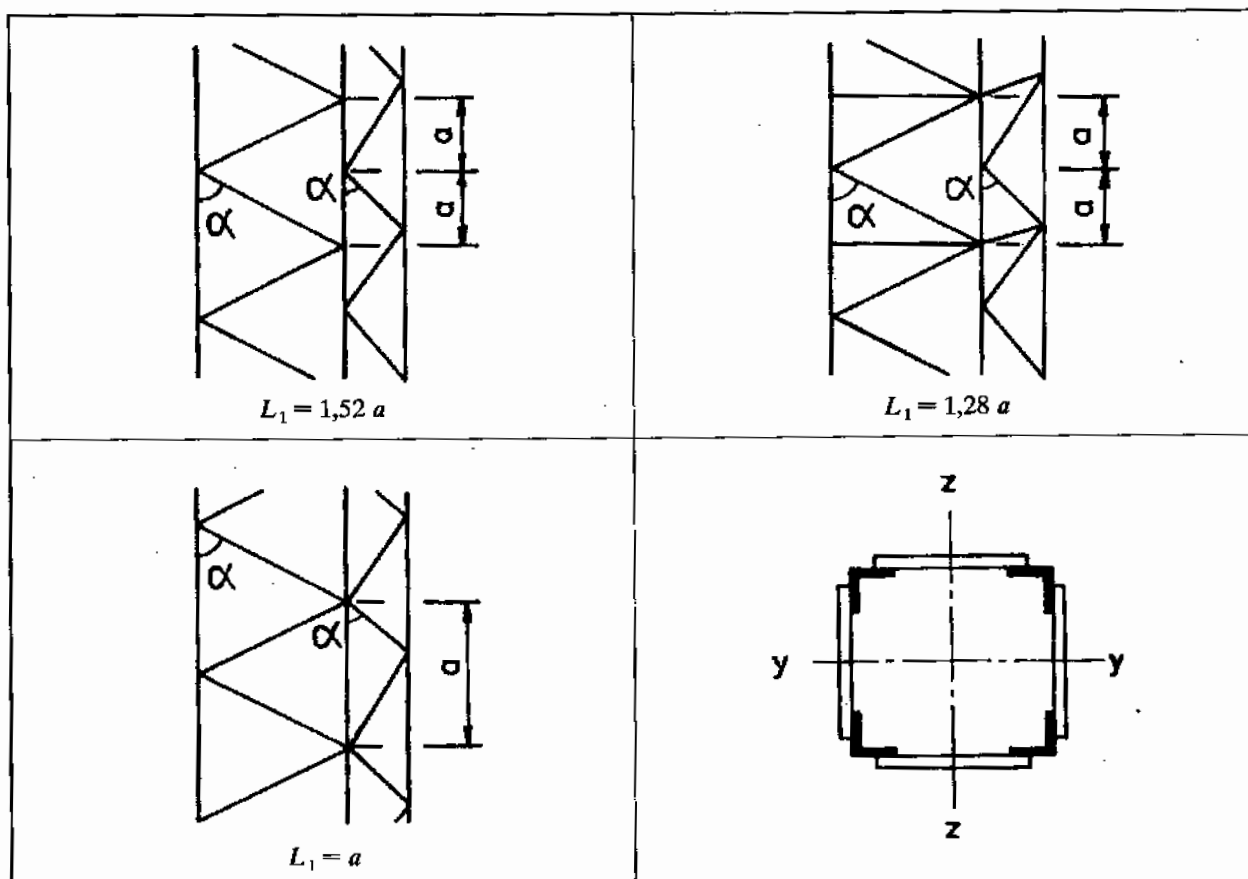
$$N_d = V_s d/(n h_0), \quad (112)$$

kde d , n , h_0 jsou veličiny podle obrázku 13.

	Systém	S_v
 <p>$e_0 = L/500$</p>		$\frac{n E A_d a h_0^2}{2 d^3}$
		$\frac{n E A_d a h_0^2}{d^3}$
		$\frac{n E A_d a h_0^2}{d^3 \left[1 + \frac{A_d h_0^3}{A_v d^3} \right]}$

n je počet rovin příhradového spojení
 A_d, A_v odpovídá jedné rovině

Obrázek 13 – Členěný tláčený prut s příhradovým spojením



Obrázek 14 – Vzpěrné délky pásů z úbelníků v členěných prutech s příhradovým spojením

6.9.3 Členěné pruty s rámovým spojením

6.9.3.1 Vzpěrná únosnost členěného prutu s rámovým spojením dílčích prutů podle obrázku 15 se pro vybočení kolmo k nehmotné ose prokáže posouzením vzpěrné únosnosti dílčího prutu uprostřed délky členěného prutu na osovou sílu $N_{f,sd}$, která se určí z výrazu:

$$N_{f,sd} = 0,5 (N_{sd} + M_s h_0 A_f / I_{eff}), \quad (113)$$

kde N_{sd} je osová síla členěného prutu;

M_s se určí podle výrazu (108), ve kterém se však S_v bere podle (115) nebo (117);

$$I_{eff} = 0,5 h_0^2 A_f + 2 \mu I_f, \quad (114)$$

kde A_f je průřezová plocha dílčího prutu;

I_f moment setrvačnosti dílčího prutu;

h_0 vzdálenost těžištních os dílčích prutů;

$\mu = 1$ pro $\lambda \leq 75$;

$\mu = 2 - \lambda/75$ pro $75 < \lambda < 150$;

$\mu = 0$ pro $\lambda > 150$;

$\lambda = L_{cr,f} / i_0$;

$i_0 = \sqrt{0,5 I_1 / A_f}$;

I_1 je hodnota I_{eff} pro $\mu = 1$.

Smyková tuhost rámového spojení S_v se určí:

– neuvažuje-li se vliv poddajnosti spojek je

$$S_v = 2 \pi^2 E I_f / a^2. \quad (115)$$

Výška koncových spojek má být alespoň h_0 a výška mezilehlých spojek alespoň $0,5 h_0$. Rovněž má být splněna podmínka

$$(n I_b) / h_0 \geq 10 I_f / a, \quad (116)$$

kde I_b je moment setrvačnosti průřezu spojky;

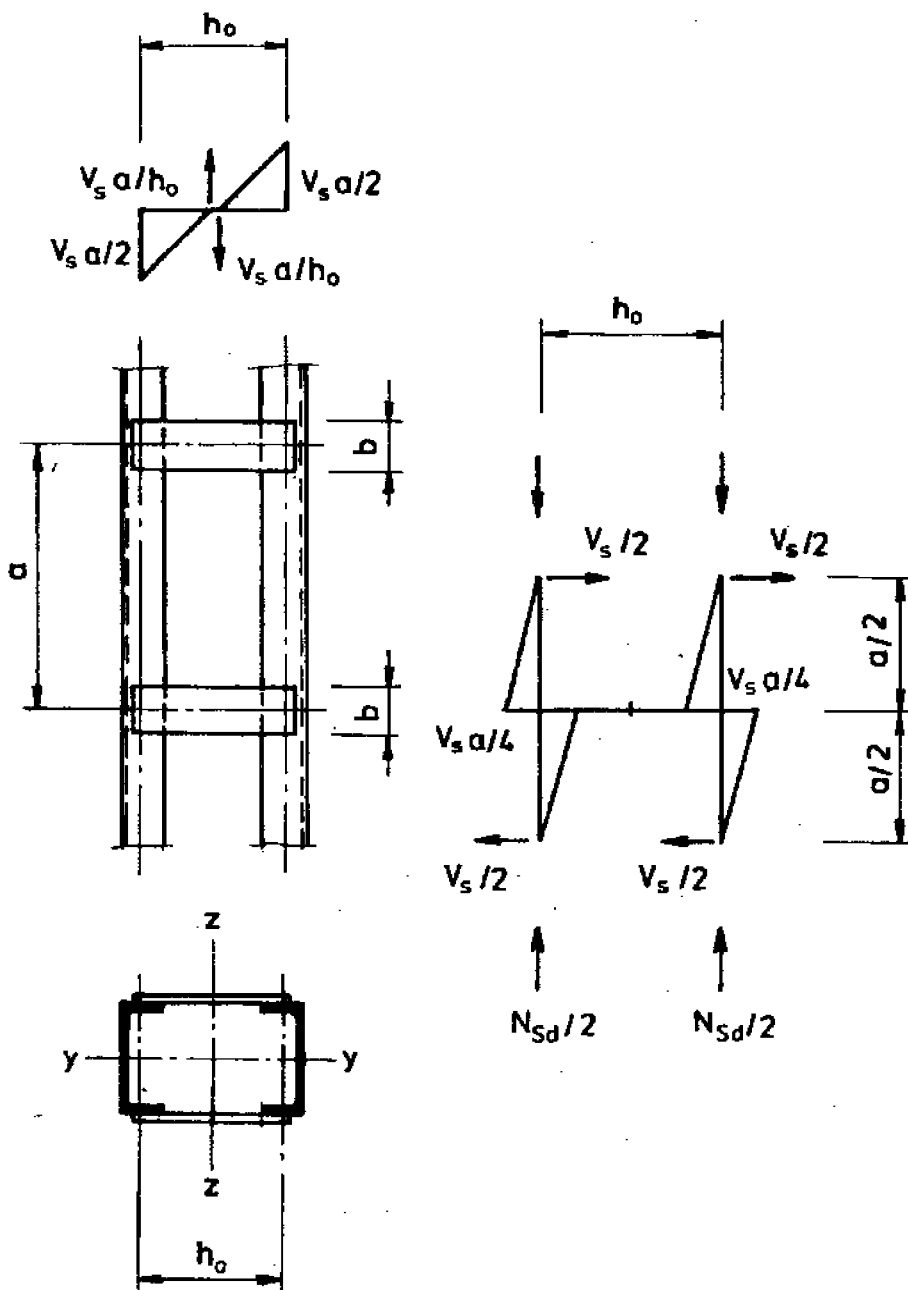
- I_f moment setrvačnosti dílčího prutu;
- h_0 vzdálenost těžištních os dílčích prutů;
- a osová vzdálenost spojek;
- n počet rovin spojek;

– není-li splněna podmínka (116), uvažuje se vliv poddajnosti spojek a smyková tuhost S_e se určí z výrazu:

$$S_e = \frac{24 E I_f}{a^2 \left(1 + \frac{2 I_f h_0}{n I_b a} \right)} \leq \frac{2 \pi^2 E I_f}{a^2} \quad (117)$$

6.9.3.2 Na koncích členěného prutu s rámovým spojení je dílčí prut namáhán podle obrázku 15 osovou silou $0,5 N_{sd}$ a momentem vyplývajícím z posouvající síly V_s , která se určí z výrazu (111).

Spojky a jejich připojení se posoudí na vnitřní síly, vyplývající z účinku posouvající síly V_s podle obrázku 15.



Obrázek 15 – Členěný prut s rámovými spojkami

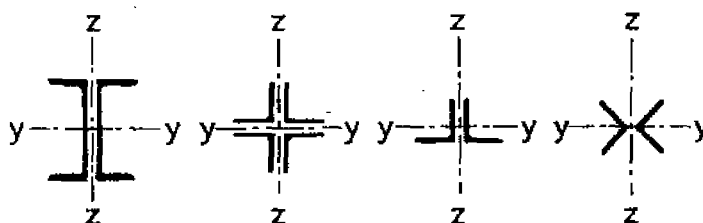
6.9.4 Složené členěné pruty

6.9.4.1 Vzpěrná únosnost složených členěných prutů podle obrázku 16 se i pro vybočení k nehmotné ose posuzuje jako u celistvých prutů, pokud vzdálenost spojovacích vložek

$$a_{max} \leq 15 i_{min},$$

kde i_{min} je nejmenší poloměr setrvačnosti dílčího prutu.

Pokud tato podmínka není splněna, posuzuje se vzpěrná únosnost dílčího prutu na odpovídající část výpočtové osové síly N_{sd} . Vzpěrná délka $L_{cr,l}$ se rovná osové vzdálenosti spojovacích vložek.



Obrázek 16 – Složené členěné pruty

6.9.4.2 Spojovací šrouby nebo svary vložek se navrhnou na podélnou smykovou sílu N_p mezi dílčími pruty, která se odvodí z vnitřní smykové síly V_s , která se uvažuje jako 2,5 % osové síly členěného prutu nebo alternativně podle 6.9.2.3.

Podélná smyková síla se určí z rovnice

$$N_p = 0,25 V_s a / i_{min}, \tag{118}$$

kde a je osová vzdálenost spojovacích vložek.

6.9.5 Křížové členěné pruty

Vzpěrná únosnost křížových členěných prutů, složených ze dvou stejných úhelníků a spojených dvojicemi kolmých spojovacích vložek podle obrázku 17, se při vybočení kolmo k ose $y - y$ určuje jako pro prut celistvý, pokud jsou vzpěrné délky v rovinách $y - y$, $z - z$ stejné a pokud vzdálenost spojovacích vložek

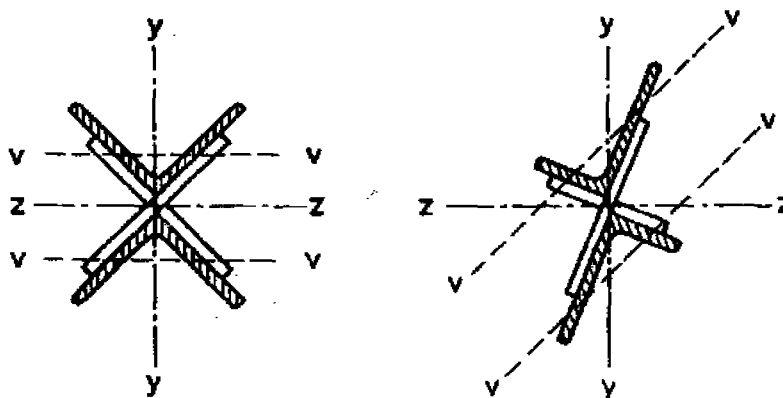
$$a_{max} \leq 70 i_{min},$$

kde i_{min} je nejmenší poloměr setrvačnosti jednoho úhelníku.

V případě nerovnoramenných úhelníků lze počítat

$$i_y = i_0 / 1,15,$$

kde i_0 je nejmenší poloměr setrvačnosti členěného prutu.



Obrázek 17 – Křížové členěné pruty z úhelníků

7 Spoje

7.1 Všeobecně

7.1.1 Spoje mají mít takové konstrukční uspořádání a výpočtovou únosnost, aby konstrukce splňovala požadavky, uvedené v kapitole 3.

7.1.2 Výpočtová únosnost spojů se stanoví s uvážením parciálních součinitelů spolehlivosti spojů γ_M uvedených v této kapitole a v kapitole 4 a 6.

7.1.3 Příslušné výpočtové vnitřní síly a momenty se určí pružnostním nebo plasticitním výpočtem, přičemž je třeba uvážit deformační charakteristiky všech částí spoje. Ve spoji je potřebné zabezpečit plynulost silového toku s ohledem na relativní tuhosti spojovaných prvků. Naopak není potřebné ve spojovaných prvcích a svařech uvažovat reziduální síly od svařování, utahování šroubů nebo montáže s běžnou přesností.

7.1.4 Při volbě typu spoje je nutné respektovat funkci spoje a způsob jeho namáhání. Pro prvky namáhané nárazy nebo vibracemi se používají svary nebo šrouby, které jsou účinně zabezpečeny proti uvolnění. Pro spoje, ve kterých nejsou přípustné prokluzu, se používají svary, třecí spoje s VP šrouby nebo nýty.

7.2 Klasifikace spojů podle tuhosti a únosnosti

7.2.1 Podle tuhosti se rozeznávají:

- nominálně kloubové spoje, jejichž deformace nemá podstatný vliv na rozdělení vnitřních sil a momentů v konstrukci;
- tuhé spoje, jejichž deformace má podstatný vliv na rozdělení vnitřních sil v konstrukci;
- spoje, která nesplňují kritéria pro nominálně kloubové spoje nebo pro tuhé spoje se klasifikují jako polotuhé.

7.2.2 Podle únosnosti se rozeznávají:

- spoje s plnou únosností, která se minimálně rovná výpočtové únosnosti připojeného prvku;
- spoje s částečnou únosností, které zaručují přenos všech výpočtových momentů a sil, avšak jejich únosnost může být menší než je únosnost připojeného prvku.

Pro výpočet charakteristik tuhosti a únosnosti spoje je možné použít přílohu J k ČSN P ENV 1993-1-1.

7.3 Šroubové, nýtové a čepové spoje

7.3.1 Vrtání pro šrouby a nýty

Průměry děr pro šrouby nebo nýty, vzdálenosti děr od konců a okrajů připojovaných částí a rozteče mezi dírami jsou limitované konstrukčními a výrobními hledisky. Uvažují se při výpočtu únosnosti spoje.

Pro rozteče a vzdálenosti děr, znázorněné na obrázku 18, jsou jejich extrémní hodnoty uvedeny v tabulce 20. Závisí rovněž na způsobu namáhání a vlivu prostředí. Doporučené vzdálenosti jsou nejmenší vzdálenosti, které už výrazně neovlivňují únosnost spoje a současně zajišťují jeho potřebnou těsnost.

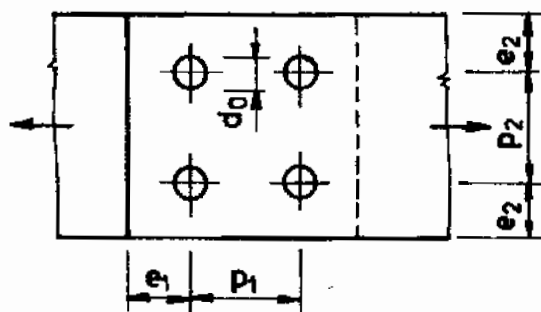
7.3.2 Oslabení dírami pro spojovací prostředky

Oslabení dírami pro spojovací prostředky se uvažuje podle kapitoly 6. S oslabením se nemusí počítat, pokud poměr průřezových ploch A/A_{net} je:

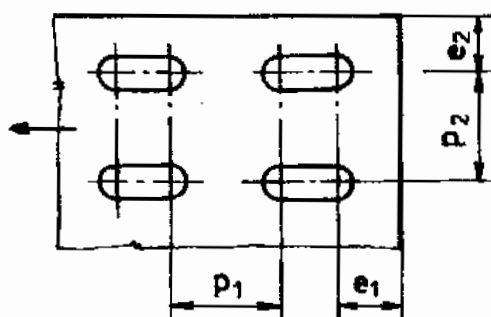
- pro oceli Fe 360 menší než 1,2;
- pro oceli Fe 510 menší než 1,1.

V tlačných průřezích se oslabení neuvažuje, když vůle mezi dírou a spojovacím prvkem $\Delta d \leq 0,3$ mm.

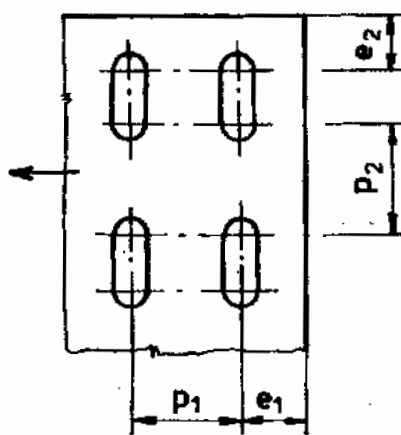
a) Kruhové díry



b) Prodloužené díry s osou rovnoběžnou se směrem síly



c) Prodloužené díry s osou kolmou na směr síly



Obrázek 18 — Označení roztečí a vzdáleností děr od konců a okrajů

Tabulka 20 – Rozteče a vzdálenosti děr od konců a okrajů

Vzdálenosti od konců a okrajů		Rozteče	
Minimální	Ve směru síly $e_1 = 1,2 d_0$ Kolmo ke směru síly $e_2 = 1,2 d_0^{1)}$	Minimální	Ve směru síly $p_1 = 2,2 d_0$ Kolmo ke směru síly $p_2 = 2,4 d_0^{1)}$
Doporučené	Ve směru síly $e_1 = 2,0 d_0$ Kolmo ke směru síly $e_2 = 1,5 d_0$	Doporučené	Ve směru síly $p_1 = 3,5 d_0$ Kolmo ke směru síly $p_2 = 3,5 d_0$
Maximální	Ve směru i kolmo ke směru síly – v bezkorozním prostředí menší z hodnot $e_1 = e_2 = 12 t$ nebo 150 mm – v korozním prostředí nejvýše $e_1 = e_2 = 4 t + 40$ mm	Maximální	Tlačené prvky a tažené prvky vnější řady nejmenší z hodnot $p_1 = p_2 = 6 d_0$ nebo 14 t nebo 200 mm Tažené prvky vnitřní řady nejmenší z hodnot $p_1 = p_2 = 10 d_0$ nebo 28 t nebo 400 mm
1) Platí za předpokladu, že únosnost v otláčení je redukována podle 7.3.4.5 nebo 7.3.5.2.			

7.3.3 Kategorie šroubových spojů

Na šroubové spoje se používají spojovací prostředky (šrouby, matice, podložky) podle tabulky 6. Podle způsobu namáhání, konstrukčního a technologického provedení a druhu použitých šroubů se rozlišují následující kategorie šroubových spojů.

7.3.3.1 Spoje namáhané smykem

Kategorie A – namáhané na stříh a na otláčení se šrouby všech pevnostních tříd.

Kategorie B – třecí spoje s vysokopevnostními šrouby tříd 8.8 a 10.9 v mezním stavu použitelnosti, s kontrolovaným utažením. Smykové zatížení nesmí způsobit prokluz spoj. V mezním stavu únosnosti se spoj posuzuje na stříh a na otláčení.

Kategorie C – třecí spoje s vysokopevnostními šrouby tříd 8.8 a 10.9 v mezním stavu únosnosti, se speciálně upravenými stykovými plochami a s kontrolovaným utažením šroubů. Jsou posuzovány na prokluz a na otláčení v mezním stavu únosnosti. Současně se musí posoudit únosnost oslabeného spojovaného průřezu v tahu, která se určí z výrazu (10).

7.3.3.2 Spoje namáhané tahem

Kategorie D – spoje se šrouby obvyklých pevnostních tříd bez kontrolovaného utažení. Nemají se používat pro spoje vystavené proměnlivému tahovému zatížení, kromě zatížení větrem.

Kategorie E – spoje s vysokopevnostními šrouby tříd 8.8 a 10.9, se speciálně upravenými stykovými plochami a s kontrolovaným utažením šroubů. Jsou vhodné pro detaily namáhané na únavu.

7.3.3.3 Úpravu stykových ploch v třecích spojkách kategorie B, C nebo E, vyvození předpětí vysokopevnostních šroubů a vůli šroubů v dírách předepisuje ČSN 73 1495.

7.3.4 Výpočtová únosnost šroubových spojů

7.3.4.1 Výpočtová únosnost šroubových spojů kategorie A, B a D se vypočítá podle vzorců z tabulky 21. Příslušný parciální součinitel spolehlivosti šroubového spoje $\gamma_{Mb} = 1,45$. Jmenovité hodnoty pevnosti materiálu šroubů f_{ub} jsou v tabulce 8.

7.3.4.2 Šrouby namáhané tahovou silou je rovněž potřebné ověřit též na výpočtovou únosnost $B_{p,Rd}$ při protržení hlavy šroubu nebo matice kotevní deskou podle vzorce

$$B_{p,Rd} = 0,6 \pi d_m t_p f_u / \gamma_{Mb}, \quad (119)$$

kde t_p je tloušťka desky pod hlavou šroubu nebo matice;

d_m střední průměr kružnice opsané a vepsané do šestihranu hlavy šroubu nebo matice.

Tabulka 21 – Výpočtové únosnosti šroubových spojů

Únosnost ve stříhu pro jednu stříhovou rovinu: – když rovina stříhu prochází závitem šroubu: a) pro pevnostní třídy 4.6 a 5.6	
$F_{v,Rd} = \frac{0,6 f_{ub} A_s}{\gamma_{Mb}};$	(120)
b) pro pevnostní třídy 8.8 a 10.9	
$F_{v,Rd} = \frac{0,5 f_{ub} A_s}{\gamma_{Mb}};$	(121)
– když rovina stříhu prochází přes plný dřík šroubu:	
$F_{v,Rd} = \frac{0,6 f_{ub} A}{\gamma_{Mb}}.$	(122)
Únosnost v otláčení	
$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{Mb}},$	(123)
kde α je nejmenší hodnota z výrazů	
$\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0.$	
Únosnost v tahu	
$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{Mb}}$	(124)
V rovnicích (120) až (124) je A – plná průřezová plocha dříku šroubu; A _s – plocha jádra šroubu; d – průměr šroubu; d ₀ – průměr dýry; f _{ub} – mez pevnosti šroubu.	

7.3.4.3 Šrouby současně namáhané smykovou silou $F_{v,Sd}$ a tahovou silou $F_{t,Sd}$ musí rovněž splňovat podmínku:

$$\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Sd}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1,0. \quad (125)$$

7.3.4.4 Výpočtové únosnosti šroubů v tahu $F_{t,Rd}$ a ve stříhu v závitové části šroubu $F_{v,Rd}$ podle vzorců uvedených v tabulce 21 platí jen pro šrouby vyrobené v souladu s normami uvedenými v tabulce 6. Pro řezané závity se tyto hodnoty redukuje vynásobením součinitelem 0,85.

7.3.4.5 Při extrémně malých příčných vzdálenostech $e_2 = 1,2 d_0$, nebo $p_2 = 2,4 d_0$, nebo při obou současně, je potřebné výpočtovou únosnost v otláčení $F_{b,Rd}$ redukovat na 2/3 hodnot určených v tabulce 21. Pro mezilehlé hodnoty $1,2 d_0 < e_2 \leq 1,5 d_0$, nebo $2,4 d_0 < p_2 \leq 3,5 d_0$ se únosnost v otláčení určí lineární interpolací.

7.3.5 Výpočtová únosnost nýtových spojů

7.3.5.1 Pro nýtované konstrukce se používají nýty podle 4.8.4. Výpočtové únosnosti nýtových spojů se počítají podle vzorců uvedených v tabulce 22. Přitom parciální součinitel spolehlivosti nýtového spoje $\gamma_{Mn} = 1,45$.

7.3.5.2 Pro extrémně malé příčné vzdálenosti nýtů je nutné jejich výpočtové únosnosti v otláčení $F_{b,Rd}$ redukovat analogicky jako u šroubů podle 7.3.4.5.

7.3.5.3 Nýtové spoje mají být navrženy tak, aby přenášely jen zatížení smykem. Při současném namáhání smykem a tahem musí být splněna podmínka (125).

7.3.5.4 Maximální svěrná délka nýtu nesmí překročit 4,5 d při nýtování kladivem a 6,5 d při nýtování lišcem.

Tabulka 22 – Výpočtové únosnosti nýtových spojů

<p>Únosnost ve stříhu na jednu stříhovou rovinu</p> $F_{v,Rd} = \frac{0,6 f_{ur} A_0}{\gamma_{Mv}} \quad (126)$
<p>Únosnost v otláčení</p> $F_{b,Rd} = \frac{2,5 a f_u d_0 t}{\gamma_{Mb}},$ <p>kde a je nejmenší z hodnot</p> $\frac{e_1}{3d_0}; \quad \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \quad \frac{f_{ur}}{f_u}; \quad 1,0.$
<p>Únosnost v tahu</p> $F_{t,Rd} = \frac{0,6 f_{ur} A_0}{\gamma_{Mt}} \quad (128)$
<p>V rovnicích (126) až (128) je</p> <p>A_0 – plocha díry pro nýt;</p> <p>d_0 – průměr díry pro nýt;</p> <p>f_{ur} – jmenovitá pevnost nýtu v tahu podle 4.8.4.</p>

7.3.6 Zapuštěné šrouby a nýty

Výpočtová únosnost v tahu $F_{t,Rd}$ zapuštěných šroubů a nýtů je 0,7násobek výpočtové únosnosti v tahu podle tabulek 21 a 22.

Při výpočtu únosnosti zapuštěných šroubů a nýtů v otláčení $F_{b,Rd}$ se od tloušťky t spojovaných prvků odečte polovina hloubky zapuštění.

7.3.7 Spoje s jedním šroubem

U spojů plochých ocelí s jedním šroubem je potřebné dát pod hlavu šroubu i pod matici podložku, aby se zamezilo vytržení šroubu. Výpočtová únosnost šroubu v otláčení $F_{b,Rd}$ je v tomto případě nejvýše

$$F_{b,Rd} \leq 1,5 f_u d t / \gamma_{Mb} \quad (129)$$

7.3.8 Spoje s vložkami

7.3.8.1 Šroubový spoj kategorie A nebo B se počítá jako spoj bez vložky, pokud je vložka připojena alespoň jednou řadou šroubů navíc. Pokud vložka není připojena, snižuje se únosnost spoje ve stříhu $F_{v,Rd}$ a v otláčení $F_{b,Rd}$ součinitelem

$$\beta_r = \frac{9 d}{8 d + 3 t_p} \leq 1,0, \quad (130)$$

kde t_p je tloušťka vložky. Pokud jsou ve dvoustřížném spoji použity vložky z obou stran, počítá se s větší tloušťkou vložky.

7.3.8.2 Šroubové spoje kategorie C s vložkami se počítají jako spoje bez vložek, pokud je povrch vložek upraven stejně jako spojované prvky. Nejmenší tloušťka vložky je 1,5 mm.

7.3.9 Třecí spoje s vysokopevnostními šrouby

7.3.9.1 Výpočtová únosnost třecího spoje s vysokopevnostními šrouby $F_{s,Rd}$ se určí z výrazu

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{Ms}} F_{p,Cd}, \quad (131)$$

$$F_{p,Cd} = 0,7 f_{ub} A_s, \quad (132)$$

kde $F_{p,Cd}$ je výpočtová předpínací síla podle tabulky 23;

μ součinitel tření;

n počet třecích ploch;

$k_s = 1,0$ pro díry se standardní vůlí;

$= 0,85$ pro nadměrné díry, nebo krátké prodloužené díry;

$= 0,7$ pro dlouhé prodloužené díry.

Parciální součinitel spolehlivosti γ_{Ms} se bere:

$\gamma_{Ms,ser} = 1,30$ pro mezní stav použitelnosti;

$\gamma_{Ms,ult} = 1,30$ pro mezní stav únosnosti pro díry se standardní vůlí, nebo prodloužené díry s osou kolmou ke směru zatížení;

$\gamma_{Ms,ult} = 1,50$ pro mezní stav únosnosti pro šrouby v nadměrných nebo prodloužených dírách s osou rovnoběžnou se směrem zatížení.

7.3.9.2 Kromě přesných šroubů, nebo jsou-li předepsány menší nebo větší vůle, musí být jmenovitá vůle standardních děr:

- 1 mm pro šrouby M 12 a M 14;
- 2 mm pro šrouby M 16 a M 24;
- 3 mm pro šrouby M 27 a větší.

Jmenovité vůle v nadměrných dírách pro spoje odolné proti prokluzu jsou:

- 3 mm pro šrouby M 12;
- 4 mm pro šrouby M 14 až M 22;
- 6 mm pro šrouby M 24;
- 8 mm pro šrouby M 27 a větší.

Jmenovité rozměry krátkých prodloužených děr pro spoje odolné proti prokluzu nesmí být větší než:

- $(d + 1)$ mm až $(d + 4)$ mm pro šrouby M 12 až M 14;
- $(d + 2)$ mm až $(d + 6)$ mm pro šrouby M 16 až M 22;
- $(d + 2)$ mm až $(d + 8)$ mm pro šrouby M 24;
- $(d + 3)$ mm až $(d + 10)$ mm pro šrouby M 27 a větší,

kde d je jmenovitý průměr šroubu v mm.

7.3.9.3 Výpočtová hodnota součinitele tření μ závisí na způsobu úpravy třecích ploch spoje a určí se podle ČSN P ENV 1993-1-1:

$\mu = 0,50$ pro třídu povrchu A – tryskaný povrch s dokonale odstraněnou rzi, nebo tryskaný povrch pokovený nástřikem hliníku nebo zinkovým povlakem;

$\mu = 0,40$ pro třídu povrchu B – tryskaný povrch s alkalicko-zinkovým silikátovým nátěrem;

$\mu = 0,30$ pro třídu povrchu C – povrch čištěný kartáčem nebo plamenem, bez jakékoliv rzi;

$\mu = 0,20$ pro třídu povrchu D – bez úpravy ploch.

Tabulka 23 – Výpočtové předpínací síly vysokopevnostních šroubů $F_{p,Cd}$

Hodnoty v kN

Průměr šroubu	Pevnostní třída šroubů ¹⁾	
	8.8	10.9
	$F_{p,Cd}$	
M 12	47	59
M 16	88	109
M 20	137	171
M 24	198	247
M 30	314	392
M 36	484	605

¹⁾ Při jiných pevnostních třídách vysokopevnostních šroubů je potřebné stanovit výpočtovou předpínací sílu $F_{p,Cd}$ podle zkoušek nebo zvláštních podkladů.

7.3.9.4 Pokud je třecí spoj namáhán smykovou silou $F_{v,Sd}$ a současně tahovou silou $F_{t,Sd}$, vypočte se odolnost proti prokluzu pro jeden šroub:

- pro mezní stav použitelnosti – kategorie spoje B:

$$\dot{F}_{s,Rd,ser} = \frac{k_s n \mu (F_{p,Cd} - 0,8 F_{t,Sd})}{\gamma_{Ms,ser}}, \quad (133a)$$

- pro mezní stav únosnosti – kategorie spoje C:

$$F_{s,Rd,ult} = \frac{k_s n \mu (F_{p,Cd} - 0,8 F_{t,Sd})}{\gamma_{Ms,ult}}. \quad (133b)$$

7.3.9.5 Požadavky na provádění a kontrolu třecích spojů určuje ČSN 73 1495.

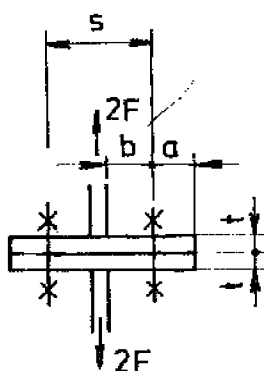
7.3.10 Páčení spojovacích prvků

7.3.10.1 Spojovací prvky, které přenášejí tahovou sílu, musí být tak dimenzované, aby přenesly i přídatné namáhání od páčení, které závisí na tuhostech částí spoje a určí se na podkladě vhodného modelu.

7.3.10.2 S vlivem páčení se nepočítá, pokud tloušťka t připojované příruby vyhovuje podmínce

$$t \geq t_c = 4,3 \sqrt[3]{\frac{b d^2}{a}}, \quad (134)$$

kde d je jmenovitý průměr dířku šroubu;
 a, b rozměry podle obrázku 19 v mm.



Obrázek 19 – Páčení spojovacích prvků

Pokud podmínka (134) není splněna, zvyšuje se výpočtová tahová síla ve šroubu součinitelem γ_p

$$\gamma_p = 1 + 0,005 \frac{t_c^3 - t^3}{d^2} \tag{135}$$

7.3.10.3 Při přenášení tahové síly se spolupůsobení šroubů nebo nýtů v dalších bočních řadách neuvažuje.

7.3.11 Dlouhé spoje

U spojů, kde vzdálenosti L_j mezi středy koncových spojovacích prvků ve směru přenášené síly je větší než $15d$, je potřebné výpočtovou únosnost ve střihu všech spojovacích prvků redukovat součinitelem β_{Lj}

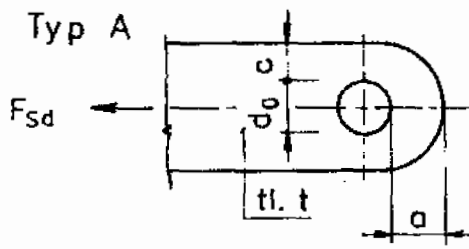
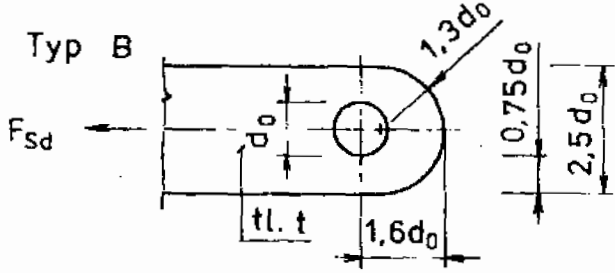
$$\beta_{Lj} = 1 - \frac{L_j - 15d}{200d} \geq 0,75 \tag{136}$$

7.3.12 Čepové spoje

7.3.12.1 Čepové spoje, u kterých se nepožaduje volné pootáčení, se navrhují jako spoje s jedním šroubem.

7.3.12.2 Čepové spoje, u kterých se vyžaduje volné pootáčení, musí být ověřeny podle podmínek uvedených v tabulkách 24 a 25. Přitom se počítá s parciálním součinitelem spolehlivosti $\gamma_{Mp} = 1,45$.

Tabulka 24 – Návrh desek čepového spoje

<p>Typ A – daná tloušťka t:</p> $a \geq \frac{F_{Sd} \gamma_{Mp}}{2 t f_y} + \frac{2 d_0}{3}$ $c \geq \frac{F_{Sd} \gamma_{Mp}}{2 t f_y} + \frac{d_0}{3}$	<p>Typ A</p>  <p>(137a)</p>
<p>Typ B – daná geometrie:</p> $t \geq \sqrt{\frac{F_{Sd} \gamma_{Mp}}{f_y}}$ $d_0 \geq 2,5 t$	<p>Typ B</p>  <p>(137b)</p>

Tabulka 25 – Výpočet čepu

Únosnost čepu ve smyku:

$$F_{v,Rd} = 0,6 A f_{up} / \gamma_{Mp}$$

Únosnost čepu v ohybu:

$$M_{Rd} = 0,8 W_{el} f_{yp} / \gamma_{Mp}$$

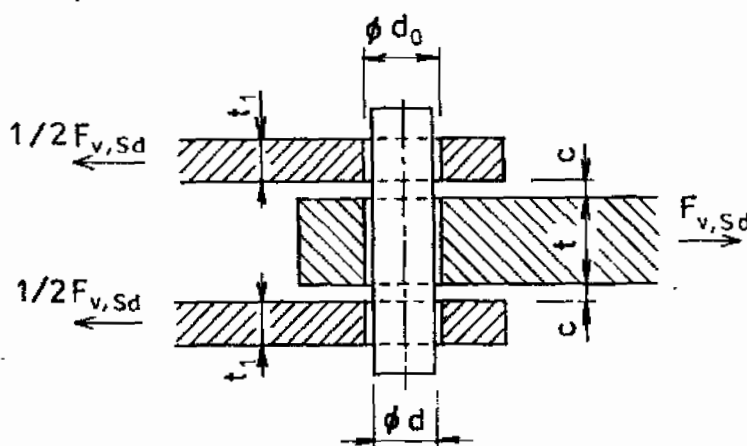
Namáhání čepu ohybem a smykem:

$$\left[\frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[\frac{F_{Sd}}{F_{v,Rd}} \right]^2 \leq 1$$

$$M_{Sd} = \frac{F_{v,Sd}}{8} (t + 4c + 2t_1)$$

Otlačení desky a čepu:

$$F_{b,Rd} = 1,5 t d f_y / \gamma_{Mp}$$



7.4 Svarové spoje

7.4.1 Všeobecně

7.4.1.1 Ustanovení této části platí za předpokladu, že:

- jsou použity oceli vhodné ke svařování;
- přídatné materiály jsou vhodné z hlediska mechanických vlastností základního materiálu a pracovních podmínek konstrukce;
- spoje jsou zhotoveny obloukovým svařováním podle předepsaných technologických podmínek svařování a v souladu s ČSN 73 2601;
- je zajištěna přístupnost svarů pro kontrolu.

7.4.1.2 Stupně jakosti svarových spojů se určují podle ISO 5817. Pokud není určeno jinak, platí výpočtové hodnoty podle této normy za předpokladu, že stupeň jakosti svarových spojů:

- u prvků posuzovaných na únavu podle kapitoly 8 je alespoň C;
- v ostatních případech je alespoň D.

7.4.2 Tvary a rozměry

7.4.2.1 Koutové svary

Koutové svary jsou provedeny do návarových ploch, tvořených prvky svírajícími úhel v rozmezí 60° až 120°.

Přerušované koutové svary je možné použít na staticky zatížené a méně namáhané prvky, přičemž:

- nesmějí mít mezeru (při oboustranných i vystřídáných svarech) větší než 200 mm, nebo 12 t v tlačných částech a 16 t v tažených částech;
- na začátku a na konci spojovaných částí musí být oboustranné svary na délku alespoň 3/4 šířky užšího spojovaného prvku;
- nesmějí se používat v korozním prostředí.

Jednostranné koutové svary nesmějí být namáhané momentem v rovině kolmé k ose svaru, pokud se kořen svaru nachází na tažené straně svaru.

Koutové svary v kruhových nebo prodloužených dířích je možné navrhovat pouze k přenosu smyku nebo na přípoje zamezující vyboulení nebo odtržení přeplátovaných částí. Průměr těchto kruhových nebo šířka prodloužených děr nesmí být menší než čtyřnásobek tloušťky připojovaných částí. Prodloužené díry mají mít půlkruhové konce.

7.4.2.2 Tupé svary

Tupé svary s plným průvarem mají přctavený základní materiál a nanesený svarový kov v celé tloušťce spojovaných prvků, tupé svary s částečným průvarem jen na části tloušťky spojovaných prvků.

Jednostranný tupý svar s částečným průvarem nesmí být namáhan momentem v rovině kolmé k podélné ose svaru, pokud se tím vyvozuje tah na straně kořene svaru. Jednostranný tupý svar s částečným průvarem, namáhaný tahovou osovou silou, je možné navrhovat jen v případech staticky zatížených a málo namáhaných svarů.

Přerušované tupé svary nelze používat.

7.4.2.3 Děrové svary

Děrové svary, které vyplňují kruhovou nebo prodlouženou díru, je možné použít pouze pro méně důležité konstrukce na přenos smykové síly, na zamezení vyboulení nebo na vzájemné konstrukční spojení prvků.

Průměr kruhové díry nebo šířka prodloužené díry pro děrový svar mají být nejméně o 8 mm větší než je tloušťka připojované části.

Při tloušťce připojované části větší než 16 mm má být výška děrového svaru rovna alespoň poloviční tloušťce připojované části, nejméně však 16 mm.

Konce prodloužených děr mají být půlkruhové nebo se zaoblenými rohy, přičemž poloměr zaoblení má být roven nejméně polovině tloušťky připojované části.

7.4.3 Lamelární praskavost

Je potřebné vyhýbat se detailům a spojům, které způsobují namáhání ve směru kolmém k povrchu materiálu. V těchto případech je nutné navrhnout potřebná konstrukční, materiálová a technologická opatření na minimalizaci účinku lamelární praskavosti. Odolnost oceli proti lamelární praskavosti se zpravidla hodnotí podle obsahu síry a hodnoty kontrakce ve směru tloušťky materiálu podle ČSN 05 1314.

7.4.4 Únosnost koutových svarů

7.4.4.1 Účinná délka svaru

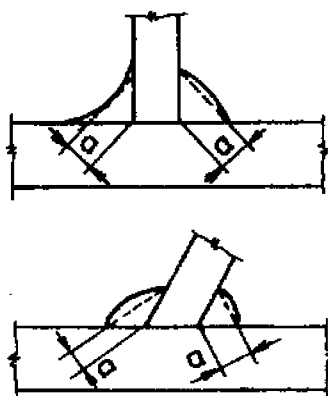
Účinná délka koutového svaru je délka, ve které má svar plný průřez. Minimální délka nosného svaru má být alespoň 6ti násobek jeho účinné výšky, nejméně však 40 mm.

Jestliže je rozdělení napětí v koutovém svaru ovlivněno rozdílnou tuhostí podkladu připojených částí podle 7.4.8, nebo je nerovnoměrně rozložené po délce svaru podle 7.4.9, je nutné účinnou délku svaru redukovat.

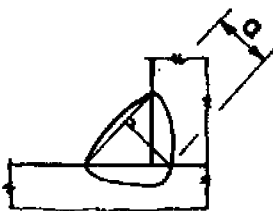
7.4.4.2 Účinná výška svaru a

Účinná výška koutového svaru a je výška trojúhelníka, který je možné vepsat mezi natavené plochy a povrch svaru, kolmá ke straně trojúhelníka při povrchu svaru podle obrázku 20. Nejmenší výšky koutových svarů v závislosti na tloušťkách spojovaných prvků jsou uvedeny v tabulce 39.

Hlubší závar je možné započítat do účinného průřezu koutového svaru podle obrázku 21 pouze za předpokladu, že byl dokumentován výrobcem konstrukce a bylo prokázáno jeho soustavné dodržování pro příslušné technologie svařování. Při svařování automaticky pod tavidlem je možné uvažovat účinnou výšku svaru větší až o 20 % (avšak maximálně o 2 mm) i bez uvedených průkazů.



Obrázek 20 – Účinná výška koutového svaru



Obrázek 21 – Účinná výška koutového svaru s hlubokým závarem

7.4.4.3 Výpočtová únosnost koutového svaru

Výpočtovou únosnost koutového svaru je možné určit na základě průměrného napětí nebo srovnávacího napětí.

Podle průměrného napětí je únosnost koutového svaru vyhovující, jestliže část výslednice všech sil připadající na jednotku délky svaru $F_{w,Sl}$ je menší než výpočtová únosnost jednotkové délky svaru $F_{w,Rd}$, která se vypočítá z výrazu

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} a, \quad (138)$$

kde $f_{vw,d}$ je výpočtová pevnost svaru ve smyku

$$f_{vw,d} = \frac{f_w \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{Mw}}, \quad (139)$$

kde β_w je součinitel pro příslušnou pevnostní třídu oceli podle tabulky 26;
 $\gamma_{Mw} = 1,50$ je parciální součinitel spolehlivosti svarových spojů.

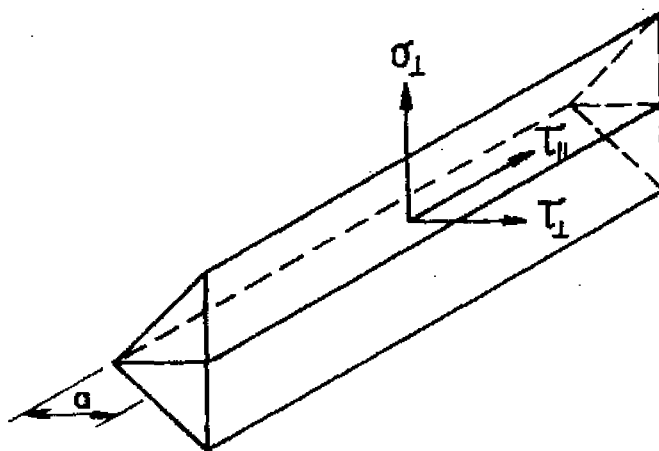
Tabulka 26 – Součinitel β_w

Pevnostní třída oceli	β_w
Fe 360	0,8
Fe 430	0,85
Fe 510	0,9

Podle srovnávacího napětí se posuzuje únosnost koutového svaru pro napětí σ_{\perp} , τ_{\perp} a τ_{\parallel} podle obrázku 22, která musí vyhovět podmínkám

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \tau_{\perp}^2 + 3 \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{Mw}}, \quad (140)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{Mw}}$$



Obrázek 22 – Napětí v koutovém svaru

7.4.5 Výpočtová únosnost tupých svarů

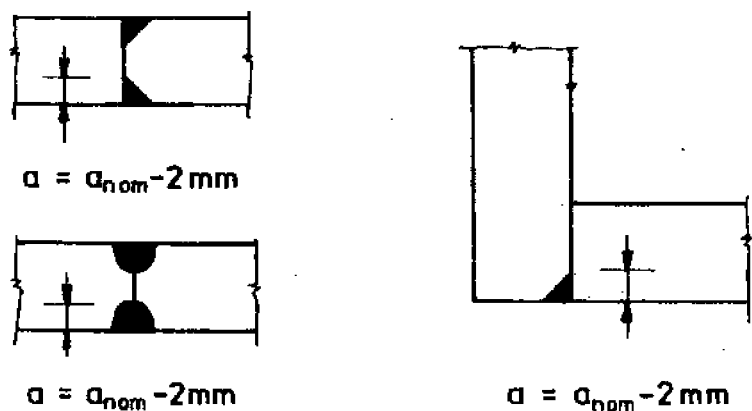
7.4.5.1 Tupé svary s plným průvarem

Výpočtová únosnost tupého svaru s plným průvarem se uvažuje stejná jako výpočtová únosnost slabšího ze spojovaných prvků, jestliže mez kluzu a mez pevnosti svarového kovu se alespoň rovná hodnotám základního materiálu.

Přitom se uvažují převodní součinitelé pevnosti svaru v závislosti na namáhání a způsobu kontroly svaru uvedené v 4.9.6.

7.4.5.2 Tupé svary s částečným průvarem

Výpočtová únosnost tupých svarů s částečným průvarem se určí obdobně jako pro koutové svary s plným průvarem, přičemž nosný rozměr tupého svaru s částečným závarem se rovná tloušťce spolehlivě dosaženého závaru, což je potřebné prokázat zkouškami. Při svarových plochách tvaru U, V nebo 1/2 V podle obrázku 23 je možné nosný rozměr svaru určit podle nominální hloubky úkosu zmenšené o 2 mm, pokud se zkouškami neprokáže větší hodnota. Přitom se počítá s excentricitou neúplného průvaru.



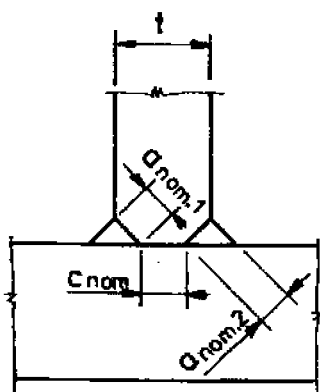
Obrázek 23 – Částečně provařené tupé svary

7.4.6 Svarové spoje tvaru T

Výpočtová únosnost svarového spoje tvaru T, který je vytvořen dvojicí tupých svarů s částečným průvarem, zesílených koutovými svary (viz obrázek 24), se stanoví jako při tupých svařech s plným průvarem, pokud celkový nominální nosný rozměr (po odečtení neprůvaru v kořeni svaru) není menší než tloušťka t připojované části. Neprůvar c_{nom} v kořenu nesmí překročit hodnotu $t/5$ a maximálně 3 mm.

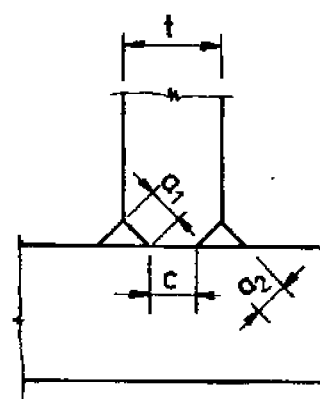
Svarový spoj T, který nesplňuje předcházející požadavky, se považuje za dvojici koutových svarů s hlubokým závarem.

a) Plný průvar



$$\begin{aligned} a_{nom,1} + a_{nom,2} &\geq t \\ c_{nom} &\leq t/5 \\ c_{nom} &\leq 3 \text{ mm} \end{aligned}$$

b) Částečný průvar



$$\begin{aligned} a_{nom,1} + a_{nom,2} &< t \\ a_1 &= a_{nom,1} - 2 \text{ mm} \\ a_2 &= a_{nom,2} - 2 \text{ mm} \end{aligned}$$

Obrázek 24 – Svarové spoje tvaru T

7.4.7 Výpočtová únosnost děrových svarů

Výpočtová únosnost $F_{w,Rd}$ děrových svarů se vypočte z výrazu

$$F_{w,Rd} = f_{w,d} A_w, \tag{141}$$

kde $f_{w,d}$ je výpočtová pevnost svaru ve smyku podle (139);

A_w plocha děrového svaru s kruhovou nebo prodlouženou dírou.

7.4.8 Přípoje plechu k nevytluženým pásnicím

Výpočtovou únosnost přípoje plechu k nevytlužené pásnici je v důsledku nerovnoměrné tuhosti svarového podkladu potřebné vypočítat z redukované délky svaru a šířky připojeného plechu b_{eff} . Podle typu pásnice (jednotěnného nebo skříňového průřezu, viz obrázek 24) se redukované délky vypočítají:

– pro jednotěnný průřez I

$$b_{eff} = t_w + 2r + 7t_f, \text{ ale}$$

$$b_{eff} \leq t_w + 2r + 7(t_f^2/t_p)(f_{yf}/f_{yp}); \quad (142)$$

– pro skříňový průřez

$$b_{eff} = 2t_w + 5t_f, \text{ ale}$$

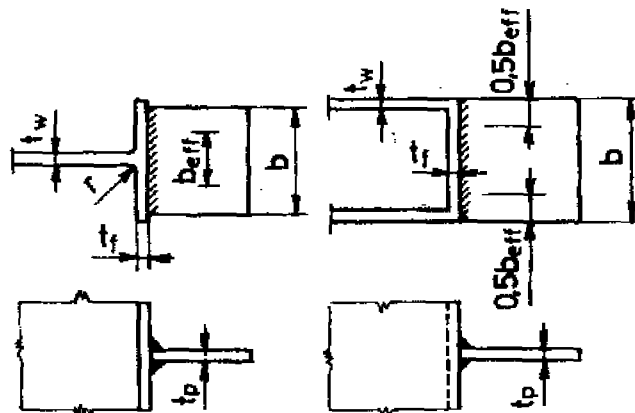
$$b_{eff} \leq 2t_w + 5(t_f^2/t_p)(f_{yf}/f_{yp}), \quad (143)$$

kde f_{yf} je mez kluzu materiálu pásnice;
 f_{yp} mez kluzu materiálu připojovaného plechu.

Pásnici je potřebné vyztužit, pokud je

$$b_{eff} \leq 0,7b.$$

Výpočtová únosnost svarů na jednotku délky připojovaného plechu k pásnici se má rovnat alespoň výpočtové únosnosti připojovaného plechu.



Obrázek 25 – Účinná délka svaru b_{eff} nevytlužených přípojů

7.4.9 Dlouhé spoje

Výpočtová únosnost koutových svarů délky L_j v přeplátovaných přípojích delších než 150 a se redukuje součinitelem

$$\beta_{Lw} = 1,2 - 0,2 L_j / (150 a) \leq 1,0. \quad (144)$$

7.5 Hybridní spoje

Sečítat únosnosti spojovacích prostředků rozdílné tuhosti v jednom spoji není přípustné. Při použití kombinovaného spoje je potřebné zajistit, aby jeden druh spojů přenesl celé zatížení.

Je přípustné sečítat únosnosti svarů a třecích spojů kategorie C za předpokladu, že třecí spoje budou taženy na plnou sílu předpětí až po dokončení svarů.

8 Únava

8.1 Všeobecně

8.1.1 Účelem navrhování konstrukcí na mezní stav únavy je zajistit s přijatelnou pravděpodobností, že v návrhové době života se konstrukce neporuší nebo nepoškodí v důsledku únavy.

Požadovanou úroveň spolehlivosti lze zajistit při použití parciálních součinitelů spolehlivosti podle této normy.

8.1.2 Tento výpočet lze použít pro nosné konstrukce staveb a zařízení, které jsou:

- odborně konstruovány, vyrobeny a udržovány z hlediska podmínek pro konstrukce namáhané na únavu;
- vyrobeny s použitím základních, spojovacích a přídavných materiálů, odpovídajících kapitolám 4 a 7 této normy a ČSN 73 2601;
- opatřeny vhodným systémem protikoroze ochrany.

8.1.3 Speciální terminologie a značky při navrhování konstrukcí na mezní stav únavy se používají v souladu s kapitolou 9 ČSN P ENV 1993-1-1.

8.2 Případy nevyžadující posouzení na únavu

8.2.1 U konstrukcí pozemních staveb se posouzení na únavu obvykle nevyžaduje, kromě prvků:

- podpírajících zdvihací zařízení nebo přenášejších pohyblivá zatížení;
- přenášejších opakovaná namáhání od nevyváženosti strojů;
- kmitajících účinkem větru;
- kmitajících účinkem pohyblivého zatížení.

8.2.2 Posouzení na únavu nemusí být provedeno, když se prokáže splnění alespoň jedné z podmínek:

- největší rozkmit napětí v návrhovém spektru

$$\gamma_{FF} \Delta \sigma \leq 26 \varphi_r \varphi_i / \gamma_{MF} \quad (145)$$

- celkový počet cyklů v návrhovém spektru

$$N < 2 \cdot 10^6 \left[(36 \varphi_r \varphi_i / \gamma_{MF}) / \Delta \sigma_{E,2} \gamma_{FF} \right]^3, \quad (146)$$

kde γ_{FF} je parciální součinitel spolehlivosti únavového zatížení;

γ_{MF} parciální součinitel spolehlivosti únavové pevnosti;

φ_r součinitel asymetrie cyklu;

φ_i součinitel vlivu tloušťky materiálu;

$\Delta \sigma_{E,2}$ ekvivalentní konstantní rozkmit normálového napětí při 2 milionech cyklů.

8.3 Předpoklady výpočtu na únavu

Při výpočtu na únavu se předpokládá, že:

- jmenovitá napětí jsou v pružné oblasti působení materiálu;
- největší rozkmit napětí není větší než $1,5 f_y$ při normálovém nebo $1,5 f_y / \sqrt{3}$ při smykovém namáhání.

8.4 Parciální součinitelé spolehlivosti při výpočtu na únavu

8.4.1 Parciální součinitel spolehlivosti únavového zatížení γ_{FF} zahrnuje nepřesnosti, plynoucí z

- uvažovaných úrovní zatížení;
- převodu těchto zatížení na napětí a rozkmity napětí;
- určení návrhové doby života konstrukce;
- vývoje únavového zatížení v průběhu návrhové doby života konstrukce.

Pokud se zatížení určí podle ČSN 73 0035, je $\gamma_{FF} = 1,0$.

8.4.2 Při posudku únavy na základě měřené historie napětí se musí uvážit podmínky při měření a očekávané podmínky při provozu konstrukce volbou vhodné velikosti γ_{FF} .

8.4.3 Dynamické účinky je možné zahrnout pomocí dynamického součinitele pro statický stav nebo pomocí dynamického výpočtu.

8.4.4 Parciální součinitel spolehlivosti únavové pevnosti γ_{Mf} zahrnuje nejistoty od vlivu:

- velikosti konstrukce;
- určení typu, velikosti a rozmístění vad;
- proměnlivosti vlastností materiálu a procesů svařování;
- koncentrace napětí od geometrie povrchu svaru, zbytkových napětí a dodatečných úprav pro svařování.

Pro konstrukce pozemních staveb se parciální součinitelé spolehlivosti únavové pevnosti γ_{Mf} volí podle tabulky 27.

Tabulka 27 – Parciální součinitelé spolehlivosti únavové pevnosti γ_{Mf}

Přístupnost ke kontrole	Zajištěnost údržby	Důsledky únavového lomu	
		mírné	závažné
		γ_{Mf}	
dobrá	periodická	1,00	1,15
obtížná	občasná	1,10	1,20

8.5 Výpočet napětí při namáhání na únavu

8.5.1 Konstrukce se na únavu posuzují z hlediska rozkmitu napětí. Pro výpočet rozkmitů napětí se podle uspořádání konstrukčního detailu použije buď výpočet jmenovitého napětí nebo upraveného jmenovitého napětí nebo tvarového napětí podle teorie pružnosti.

8.5.2 V koutových svarech se posuzují smyková napětí rovnoběžná s osou svaru a normálová napětí kolmá na osu svaru.

8.5.3 Pro konstrukční detaily neobsažené v klasifikačních tabulkách v normativní příloze K je nutné vypočítat tvarové napětí. Maximální velikost rozkmitu tvarových napětí se určí vyšetřením více různých míst v oblasti svaru nebo v oblasti koncentrace napětí.

8.5.4 Konstrukční detaily příhradových nosníků s pruty uzavřeného průřezu lze na únavu posuzovat podle ČSN P ENV 1993-1-1.

8.6 Výpočet únavové pevnosti

8.6.1 Únavová pevnost při normálovém napětí nebo smykovém napětí je určena křivkami únavové pevnosti, z nichž každá platí pro příslušnou kategorii detailu. Kategorie detailu se označuje číslem, které vyjadřuje referenční hodnotu únavové pevnosti pro 2 miliony cyklů.

Tvar křivek únavové pevnosti a hodnoty pro jejich výpočet jsou na obrázcích 26 až 29. Klasifikace konstrukčních detailů a přiřazení odpovídající kategorie detailu pro výpočet únavové pevnosti je v normativní příloze K.

8.6.2 Křivky únavové pevnosti pro jmenovitá normálová napětí podle obrázku 26 jsou definovány vztahem

$$\log N = \log a - m \log \Delta \sigma_R, \quad (147)$$

kde $\Delta \sigma_R$ je únavová pevnost;

N počet cyklů rozkmitů napětí;

m konstanta sklonu křivky únavové pevnosti s hodnotami 3 nebo 5;

$\log a$ konstanta, platná v určené oblasti N (viz tabulka 28).

8.6.3 Konzervativně lze únavovou pevnost při normálovém namáhání počítat podle křivek únavové pevnosti s jednotným sklonem $m = 3$, jejichž tvar je na obrázku 27. Zjednodušený tvar křivek únavové pevnosti při normálovém namáhání je na obrázku 29.

8.6.4 Tvar křivek únavové pevnosti při smykovém namáhání s jednotným sklonem $m = 5$ je na obrázku 28.

8.6.5 Redukci únavové pevnosti v důsledku tloušťky je potřebné uvažovat pro tloušťky materiálu větší než 25 mm součinitelem tloušťky materiálu

$$\varphi_r = \sqrt[4]{\frac{25}{t}} \leq 1,0. \quad (148)$$

Korekce se použije pouze pro konstrukční detaily obsahující svary napříč ke směru namáhání, pokud již není v klasifikačních tabulkách tloušťka zohledněna.

8.6.6 Jestliže se pro určení únavové pevnosti použijí výsledky únavových zkoušek příslušného detailu, lze při stanovení kategorie detailu postupovat podle informativní přílohy L.

8.6.7 Únavové posouzení všech konstrukčních detailů, které nejsou obsaženy v klasifikačních tabulkách v příloze K, je třeba provést postupem založeným na rozkmitu tvarových napětí. Příslušná křivka únavové pevnosti se určí podle svaru v posuzovaném detailu:

- pro tupé svary napříč směru namáhání s plným průvarem se podle kvality povrchu svaru a rozsahu vnitřních vad použijí křivky únavové pevnosti pro kategorii detailu 90 nebo 71;
 - a) kategorie 90 se použije, když svar vyhovuje všem požadavkům na svar kategorie 90;
 - b) kategorie 71 se použije, když pouze vnitřní kvalita svaru odpovídá kategorii 90;
- pro tupé svary napříč směru namáhání s částečným průvarem a pro koutové svary se použijí křivky únavové pevnosti kategorie 36.

8.6.8 Při posuzování nesvařovaných detailů nebo detailů žháných na odstranění vnitřních pnutí se může únavová pevnost zvýšit pomocí součinitele asymetrie cyklu

$$\varphi_r = \frac{1 - r}{1 - 0,6 r} \leq 1,66, \quad (149)$$

kde $r = \sigma_{min} / \sigma_{max}$.

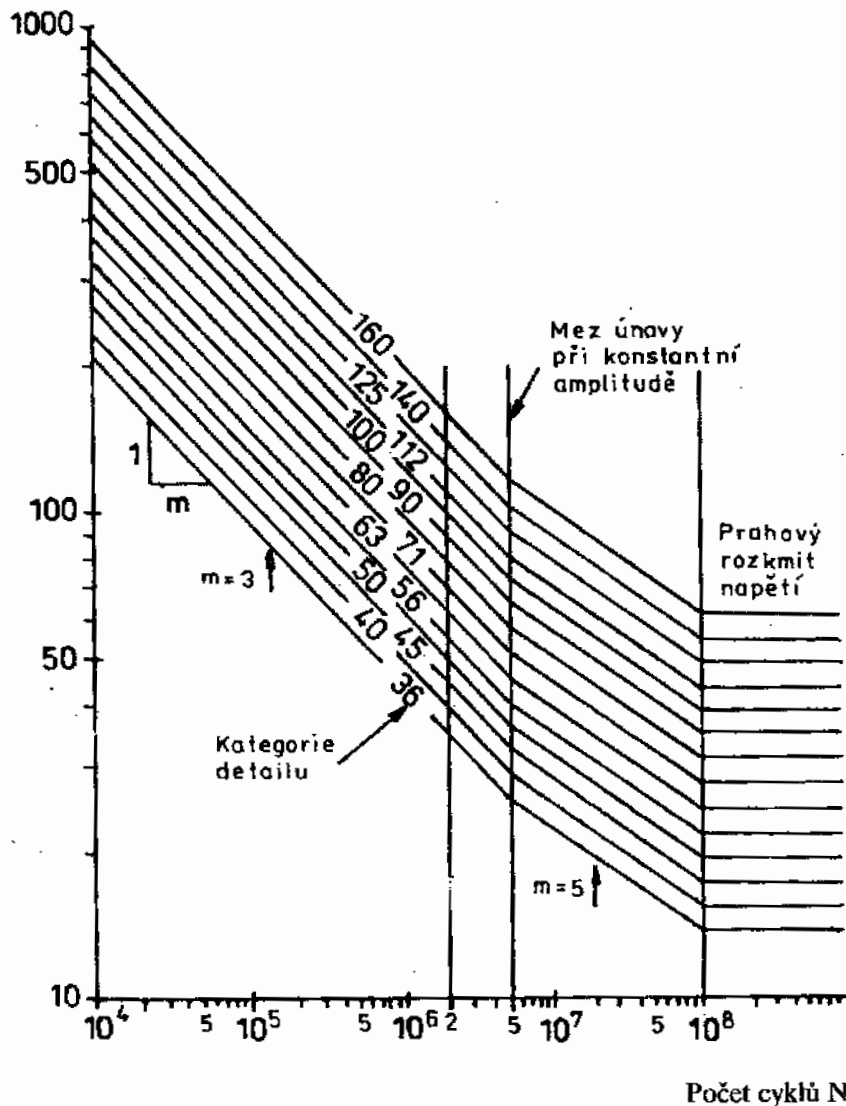
8.7 Výpočet poškození únavou

8.7.1 Pro výpočet poškození nebo ekvivalentního rozkmitu se použijí křivky únavové pevnosti podle obrázků 26 až 29. Rozkmit napětí se podle potřeby uvažuje jako rozkmit jmenovitého, upraveného jmenovitého nebo tvarového napětí.

8.7.2 Obvykle se při normálovém namáhání vypočítá únavová pevnost podle křivky únavové pevnosti podle obrázku 26 a vzorců (150):

$$\begin{aligned}
 & - \text{pro } \gamma_{Ff} \Delta\sigma_i \geq \Delta\sigma_D \varphi_t \varphi_r / \gamma_{Mf} \\
 \text{je } N_i &= N_D [(\Delta\sigma_D \varphi_t \varphi_r / \gamma_{Mf}) / (\gamma_{Ff} \Delta\sigma_i)]^3; \\
 & - \text{pro } \Delta\sigma_D \varphi_t \varphi_r / \gamma_{Mf} > \gamma_{Ff} \Delta\sigma_i > \Delta\sigma_L \varphi_t \varphi_r / \gamma_{Mf} \\
 \text{je } N_i &= N_D [(\Delta\sigma_D \varphi_t \varphi_r / \gamma_{Mf}) / (\gamma_{Ff} \Delta\sigma_i)]^5; \\
 & - \text{pro } \gamma_{Ff} \Delta\sigma_i \leq \Delta\sigma_L \varphi_t \varphi_r / \gamma_{Mf} \\
 \text{je } N_i &\rightarrow \infty
 \end{aligned}
 \tag{150}$$

Rozkmit napětí $\Delta\sigma$ (MPa)



Obrázek 26 – Křivky únavové pevnosti pro jmenovitá normálová namáhání

Velikost dílčího poškození únavou se určí z výrazu

$$D_d = \frac{n_i}{N_i} \quad (151)$$

kde n_i je počet cyklů o rozkmitu napětí $\Delta\sigma_i$ za návrhovou dobu života;

N_i počet cyklů o rozkmitu napětí $\gamma_{Ff} \gamma_{Mf} \Delta\sigma_i$ do porušení pro příslušnou kategorii detailu.

Tabulka 28 – Číselné hodnoty křivek únavové pevnosti pro rozkmit normálových napětí

Kategorie detailu $\Delta\sigma_C$ MPa	log a pro $N < 10^8$		Rozkmit napětí na mezi únavy při konstantní amplitudě $N = 5 \cdot 10^6$ $\Delta\sigma_D$ MPa	Prahový rozkmit napětí $N = 10^8$ $\Delta\sigma_L$ MPa
	$N \leq 5 \cdot 10^6$ ($m = 3$)	$N \geq 5 \cdot 10^6$ ($m = 5$)		
160	12,901	17,036	117	64
140	12,751	16,786	104	57
125	12,601	16,536	93	51
112	12,451	16,286	83	45
100	12,301	16,036	74	40
90	12,151	15,786	66	36
80	12,001	15,536	59	32
71	11,851	15,286	52	29
63	11,701	15,036	46	26
56	11,551	14,786	41	23
50	11,401	14,536	37	20
45	11,251	14,286	33	18
40	11,101	14,036	29	16
36	10,951	13,786	26	14

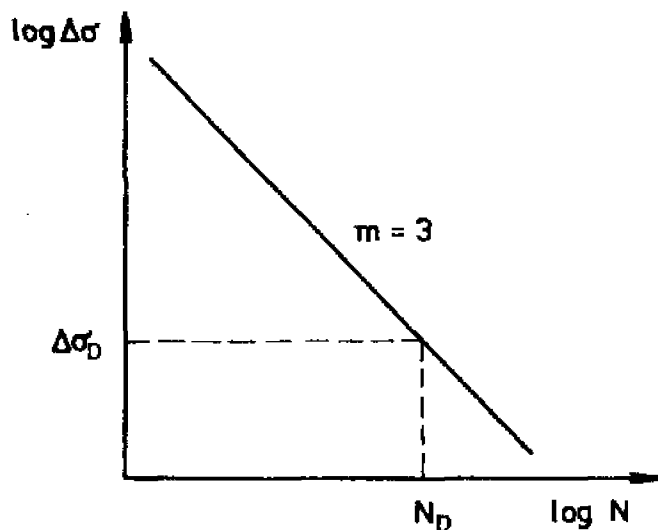
8.7.3 Konzervativně je možné při normálovém namáhání počítat únavovou pevnost podle křivky únavové pevnosti s jednotným sklonem $m = 3$ a vzorců (152). Tvar této křivky je na obrázku 27 a pro výpočet platí hodnoty N_D , $\Delta\sigma_D$ z tabulky 28. Tento postup je vhodný pro výpočet ekvivalentního rozkmitu napětí.

$$N_i = N_D [(\Delta\sigma_D \varphi_i \varphi_r / \gamma_{Mf}) / (\gamma_{Ff} \Delta\sigma_i)]^3,$$

$$\Delta\sigma_E = \sqrt[3]{(\sum n_i \Delta\sigma_i^3) / N_{vzt}};$$

– pro vztažný počet cyklů $N_{vzt} = 2 \cdot 10^6$

$$N_E = N_C [(\Delta\sigma_C \varphi_i \varphi_r / \gamma_{Mf}) / (\gamma_{Ff} \Delta\sigma_E)]^3. \quad (152)$$

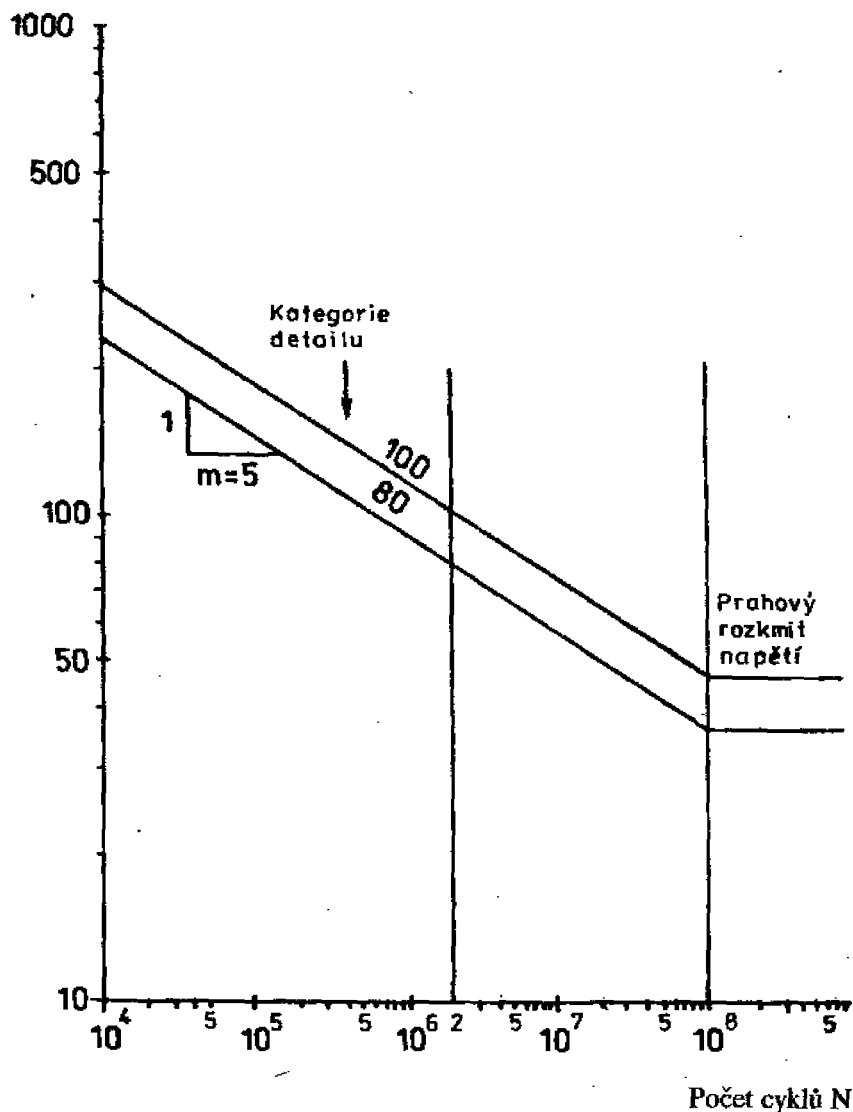


Obrázek 27 – Konzervativní tvar křivky únavové pevnosti při normálovém namáhání

Velikost poškození únavou se určí podle vztahu (151) nebo se vypočte jako poměr ekvivalentního rozkmitu napětí $\Delta\sigma_E$ a únavové pevnosti $\Delta\sigma$ pro daný počet cyklů napětí.

8.7.4 Při namáhání smykem se únavová pevnost určí podle křivky únavové pevnosti s jednotným sklonem $m = 5$ podle obrázku 28 a podle vzorců (153), popř. (154).

Rozkmit napětí $\Delta\tau$ (MPa)



Obrázek 28 – Křivky únavové pevnosti při namáhání smykem

Tabulka 29 – Číselné hodnoty křivek únavové pevnosti pro rozkmit smykových napětí

Kategorie detailu	$\log a$ pro $N < 10^8$ ($m = 5$)	Prahový rozkmit napětí $N = 10^8$ $\Delta\tau_L$ MPa
100	16,301	46
80	15,801	36

Při namáhání smykem se únavová pevnost pro $\gamma_{EF} \Delta \tau_i > \Delta \tau_L \varphi_i \varphi_r / \gamma_{MF}$ určí ze vztahů:

$$\left. \begin{aligned} N_i &= N_C [(\Delta \tau_C \varphi_i \varphi_r / \gamma_{MF}) / (\gamma_{EF} \Delta \tau_i)]^5, \\ \Delta \tau_E &= \sqrt[3]{\sum (n_i \Delta \tau_i^3) / N_{rel}}, \\ N_E &= N_C [(\Delta \tau_C \varphi_i \varphi_r / \gamma_{MF}) / (\gamma_{EF} \Delta \tau_E)]^5. \end{aligned} \right\} \quad (153)$$

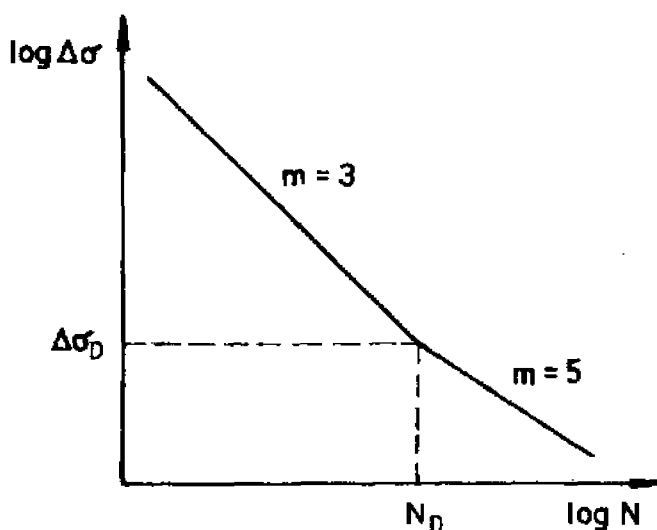
Rozkmit $\gamma_{EF} \Delta \tau_i \leq \Delta \tau_L \varphi_i \varphi_r / \gamma_{MF}$ se zanedbávají.

Velikost dílčího poškození únavou se určí obdobně jako v 8.7.3.

8.7.5 Při normálovém namáhání je možné místo obecného postupu podle 8.7.2 počítat zjednodušeně pro bilineární křivku únavové pevnosti se sklonem větví $m = 3$ a $m = 5$ podle vzorců (154). Tvar této křivky je na obrázku 29 a pro výpočet platí hodnoty $N_D, \Delta \sigma_D$ z tabulky 28.

$$\left. \begin{aligned} - \text{Pro } \gamma_{EF} \Delta \sigma_i \geq \Delta \sigma_D \varphi_i \varphi_r / \gamma_{MF} \\ N_i &= N_D [(\Delta \sigma_D \varphi_i \varphi_r / \gamma_{MF}) / (\gamma_{EF} \Delta \sigma_i)]^3; \\ - \text{pro } \gamma_{EF} \Delta \sigma_i < \Delta \sigma_D \varphi_i \varphi_r / \gamma_{MF} \\ N_i &= N_D [(\Delta \sigma_D \varphi_i \varphi_r / \gamma_{MF}) / (\gamma_{EF} \Delta \sigma_i)]^5. \end{aligned} \right\} \quad (154)$$

Velikost dílčího poškození únavou se určí podle vzorce (151).



Obrázek 29 – Zjednodušený tvar křivky únavové pevnosti při normálovém namáhání

8.8 Posouzení na únavu

8.8.1 Posouzení spolehlivosti konstrukčního detailu na únavu se provede porovnáním hodnoty celkového poškození únavou D_d , vyvozeného návrhovým spektrem zatížení, s přípustnou mezní hodnotou poškození únavou. Podmínka spolehlivosti je

$$D_d = \sum D_i = \sum \frac{n_i}{N_i} \leq 1,0. \quad (155)$$

Při výpočtu s použitím ekvivalentního rozkmitu napětí je možné provést posouzení na základě porovnání ekvivalentního rozkmitu napětí a únavové pevnosti pro daný počet cyklů.

8.8.2 Při současném působení normálových a smykových napětí se má uvažovat jejich kombinovaný účinek:

– účinek smykových napětí je možné zanedbat, když

$$\Delta \tau_E < 0,15 \Delta \sigma_E; \quad (156)$$

– když se směr hlavního napětí v průběhu zatěžování mění málo, provede se posouzení pro rozkmit hlavních napětí;

– v ostatních případech se vypočítá nezávisle poškození únavou od normálových napětí D_o , a od smykových napětí D_τ , a za předpokladu, že obě napětí přispívají k šíření téže trhliny, musí být splněna podmínka

$$D_d = D_o + D_\tau \leq 1,0. \quad (157)$$

8.8.3 Jestliže konstrukce po dokončení výroby a v průběhu její doby života vykazujc defekty, které jsou větší než přípustné vady podle ČSN 73 2611 a ISO 5817, je možné posoudit přípustnost těchto defektů z hlediska únavové pevnosti metodou vhodnosti pro daný účel.

Pokud konstrukce při posouzení metodou vhodnosti pro daný účel vyhoví, není nutné ji opravovat. U důležitých konstrukcí však je potřebné předepsat řádnou údržbu a defektoskopickou kontrolu prvků se zjištěnými defekty.

9 Křehký lom

9.1 Všeobecně

9.1.1 Křehký lom je charakterizován náhlým porušením konstrukční části bez plastické deformace. Závisí především na:

- pevnostní třídě oceli;
- tloušťce materiálu;
- provozních podmínkách (teplota, rychlost zatěžování);
- typu konstrukční části.

9.1.2 Výpočtový postup pro ověření odolnosti konstrukce proti křehkému lomu podle této normy lze použít pro konstrukční oceli určené v kapitole 4.2.

Výpočet je možné případně použít i pro jiné typy konstrukčních ocelí, jsou-li k dispozici věrohodně určené charakteristiky materiálu, konstrukce a zatížení, potřebné pro výpočet. V důležitých nebo složitých případech se doporučuje vycházet z posudku odborného pracoviště.

Tento výpočtový postup není použitelný pro provozní teploty konstrukce T_{min} nižší než $-40\text{ }^\circ\text{C}$.

9.1.3 Návrh ocelové konstrukce proti křehkému lomu se provede:

- podle přechodových teplot materiálu – viz 9.2;
- podle lomové houževnatosti materiálu – viz 9.3.

9.2 Návrh podle přechodových teplot materiálu

9.2.1 Spolehlivost ocelové konstrukce vůči meznímu stavu křehkého lomu je vyhovující, je-li

$$T_{min} \geq TT, \quad (158)$$

kde T_{min} je nejnižší provozní teplota ocelové konstrukce;

TT přechodová teplota mezi houževnatým a křehkým porušením konstrukční části.

9.2.2 Nejnižší provozní teplota ocelové konstrukce T_{min} se určí:

- jako výpočtová teplota podle kapitoly 3, případně podle norem pro navrhování jiných typů ocelových konstrukcí nebo
- podle ČSN 73 0035 nebo
- podle věrohodných podkladů nebo výsledků měření teplot.

9.2.3 Přechodová teplota mezi houževnatým a křehkým porušením TT se určí:

- zkouškou vzorku materiálu skutečné tloušťky podle ČSN 42 0346 nebo
- přibližně podle výrazu (159) nebo (160).

$$TT = T(50\%) + \Delta T(t), \quad (159)$$

kde $T(50\%)$ je přechodová teplota materiálu pro 50 % plastického vzhledu lomové plochy při zkoušce vrubové houževnatosti KCV;

$\Delta T(t)$ zvýšení přechodové teploty v závislosti na tloušťce materiálu podle tabulky 30.

$$TT = T_K + 30\text{ °C} + \Delta T(t), \quad (160)$$

kde T_K je přechodová teplota materiálu stanovená podle kritériové hodnoty KCV_{pk} podle tabulky 31.

Tabulka 30 – Zvýšení přechodové teploty v závislosti na tloušťce materiálu

Typ oceli	Tloušťka materiálu t v mm			
	do 16	17 – 25	26 – 35	36 – 50
	$\Delta T(t)$ v °C			
feriticko-perlitický	20	35	45	55
bainitický	30	45	55	65

Tabulka 31 – Kritériové hodnoty vrubové houževnatosti KCV_{pk}

Mez kluzu f_y MPa	do 300	300 – 400	400 – 550	550 – 700
KCV_{pk} $J \cdot mm^{-2} \cdot 10^{-2}$	37	50	62	75

9.3 Návrh podle lomové houževnatosti materiálu

9.3.1 Pokud není splněna podmínka podle vzorce (158), posoudí se spolehlivost ocelové konstrukce vůči meznímu stavu křehkého lomu postupem podle 9.3.6 až 9.3.8 při uvážení:

- úrovně namáhání podle 9.3.2;
- způsobu namáhání podle 9.3.3;
- důsledků porušení konstrukce křehkým lomem podle 9.3.4;

a za předpokladu existence fiktivních trhlin podle 9.3.5.

9.3.2 Rozlišují se tři úrovně namáhání:

- úroveň S 1 pro prvky:
 - a) nesvařované nebo žíhané na odstranění pnutí od svařování s maximálním tahovým napětím od zatížení do $0,7 f_y$ nebo
 - b) ve stavu po svařování (nežíhané) o tloušťce do 50 mm s maximálním tahovým napětím od zatížení do $0,2 f_y$;
- úroveň S 2 pro prvky:
 - a) ve stavu po svařování (nežíhané) o tloušťce do 50 mm s maximálním tahovým napětím od zatížení v rozmezí $(0,2 \text{ až } 0,7) f_y$ nebo
 - b) se svařovými spoji v oblasti koncentrací napětí, žíhanými na odstranění pnutí od svařování, s lokálním tahovým napětím do $2,0 f_y$;
- úroveň S 3 pro oblasti složitých tvarových koncentrací napětí, které jsou:
 - a) ve stavu po svařování (nežíhané), s maximálním lokálním tahovým napětím v rozmezí $(0,7 \text{ do } 2,0) f_y$ nebo
 - b) se žíhanými svary, s maximálním lokálním tahovým napětím v rozmezí $(2,0 \text{ až } 3,0) f_y$.

Ve výpočtu se úroveň namáhání vyjádří součinitelem k_s podle tabulky 32.

Tabulka 32 – Hodnoty součinitele k_s

Úroveň namáhání	S 1	S 2	S 3
k_s	1,2	2,0	3,0

9.3.3 Rozlišují se dva způsoby namáhání konstrukčního prvku:

- statické namáhání F 1, jestliže:
 - a) prvek není nutné počítat na únavu nebo
 - b) počet cyklů zatížení za dobu života konstrukce je menší než 10 % výpočtové doby života posuzovaného prvku;
- únavové namáhání F 2, jestliže:
 - a) počet cyklů zatížení za dobu života konstrukce je vyšší než 10 % výpočtové doby života posuzovaného prvku nebo
 - b) jestliže se jedná o náhlé rázové nebo explozivní zatížení, které vyvolá vysokou rychlost deformace.

Ve výpočtu se způsob namáhání nebo rychlost zatěžování vyjádří součinitelem k_F podle tabulky 33.

Tabulka 33 – Hodnoty součinitele k_F

Způsob namáhání	F 1	F 2
k_F	1,0	2,5

9.3.4 Rozlišují se dva stupně důsledků porušení konstrukce křehkým lomem:

- stupeň C 1, kdy porušení konstrukční části neohrožuje životy lidí nebo nemá závažné ekonomické důsledky nebo podstatně neohrožuje životní prostředí;
- stupeň C 2, kdy porušení hlavních konstrukčních částí ohrožuje životy lidí anebo vede k velkým ekonomickým ztrátám anebo značnému poškození životního prostředí.

Ve výpočtu se stupeň důsledků porušení konstrukce vyjádří součinitelem k_C podle tabulky 34.

Tabulka 34 – Hodnoty součinitele k_C

Stupeň důsledků porušení konstrukce	C 1	C 2
k_C	1,0	1,5

9.3.5 Délka fiktivní trhliny a_F je největší charakteristický rozměr plošného defektu, jehož existence se uvažuje při návrhu konstrukce z hlediska křehkého lomu. Ve výpočtu se určuje v závislosti na tloušťce materiálu t podle tabulky 35. Musí být zajištěno, že v konstrukci se po celou dobu jejího života trhliny této velikosti (včetně příslušného faktoru bezpečnosti) nevyskytují.

Tabulka 35 – Délka fiktivní trhliny

Rozměry v mm

Tloušťka materiálu t	Délka fiktivní trhliny a_F
do 25	5,0 mm
25 < t < 100	0,2 t
více než 100	20,0 mm

9.3.6 Počítá se s minimální hodnotou dolní meze kluzu oceli f_{y1} , která se určí v závislosti na tloušťce materiálu t v mm podle vztahu

$$f_{y1} = f_{y0} (1 - 0,25 t/235), \quad (161)$$

kde f_{y0} je základní charakteristická hodnota meze kluzu oceli podle tabulky 4.

9.3.7 Spolehlivost ocelové konstrukce proti křehkému lomu je postačující, jestliže lomová houževnatost K_{IC} použité oceli, určená podle ČSN 42 0347, při nejnižší provozní teplotě T_{min} vyhovuje podmínce

$$K_{IC} \geq K_I, \quad K_I = f_{y1} \sqrt{\pi} k_c k_t (2 k_s - 1) a_T. \quad (162)$$

9.3.8 Nejnižší provozní teplota konstrukce T_{min} vyhovující z hlediska křehkého lomu, se určí pro oceli pevnostních tříd Fe 360 a Fe 430 z rovnice (163), pro oceli pevnostní třídy Fe 510 z rovnice (164):

$$T_{min,360} = 1,4 T(27J) + 25 + 100 (\ln K_I - 8,06), \quad (163)$$

$$T_{min,510} = 1,4 T(40J) + 25 + 100 (\ln K_I - 8,465), \quad (164)$$

kde je:

- $T(27J)$ nejnižší teplota, při které nárazová práce KV při zkoušce KCV je nejméně 27 J;
- $T(40J)$ nejnižší teplota, při které nárazová práce KV při zkoušce KCV je nejméně 40 J;
- K_I minimální hodnota lomové houževnatosti podle (162) vyjádřená v jednotkách $Nmm^{-1,5}$.

9.3.9 V normativní příloze F jsou uvedeny

- maximální tloušťky materiálu vyhovující z hlediska křehkého lomu při prokázání kritériové hodnoty nárazové práce KV při zkušební teplotě t_S ;
- hodnoty lomové houževnatosti K_I v závislosti na pevnostní třídě oceli, tloušťce materiálu a parametrech S, F a C.

10 Navrhování pomocí zkoušek

10.1 Všeobecně

10.1.1 Pokud dostupné výpočtové modely pro určitou konstrukci nejsou přiměřeně výstižné nebo vedou k neekonomickým důsledkům, je možné místo návrhu založeném na výpočtu použít experimentální ověření, nebo tímto způsobem výpočet doplnit. Přitom však je nutné respektovat konzervativní předpoklady stanovených výpočtových modelů.

10.1.2 Rozdělení typů zkoušek určuje ČSN 73 2031. Ve smyslu ČSN 73 2039 se experimentálním ověřením rozumí provedení náhradní zatěžovací zkoušky jako zkoušky prototypové. Podle jejich výsledků se určí nosná způsobilost konstrukcí a prvků.

POZNÁMKA – Protože okolnosti zkoušek a experimentální zařízení mohou být značně rozdílné, má být zkušební program odsouhlasen předem všemi zúčastněnými.

10.2 Příprava zkoušek

10.2.1 Experimentální ověření se připravují, provádějí a vyhodnocují jako zatěžovací zkoušky stavebních konstrukcí podle ČSN 73 2030 (je-li zkušebním vzorkem ocelová konstrukce) nebo jako zatěžovací zkoušky kovových stavebních dílců podle ČSN 73 2037 (je-li zkušebním vzorkem dílec nebo prvek ocelové konstrukce), s doplňky a odchylkami podle ČSN 73 2039.

10.2.2 Experimentální ověření má vycházet z předběžných výpočtových modelů, které mají vystihovat jednu nebo několik proměnných, závažně ovlivňujících chování sledované konstrukce. Experimentální ověření se pak zaměřuje na vyhodnocení opravných vztahů na tomto výpočtovém modelu.

10.2.3 Před realizací zkoušky se musí vypracovat její plán. Ten obsahuje cíl zkoušky a všechny návody a upřesnění, nutné pro výběr nebo výrobu zkušebních vzorků a pro provádění a vyhodnocení zkoušek.

10.2.4 Plán zkoušky musí obsahovat zejména:

- přehled informací požadovaných od zkoušek, tj. požadované parametry a rozsah platnosti, na jejichž základě se stanoví typ náhradní zatěžovací zkoušky podle ČSN 73 2039;
- popis všech vlastností prvků, které mohou mít vliv na jejich chování v mezním stavu, jako je tvar prvku, jeho tuhost, třída oceli a závažné vlastnosti materiálu, geometrické a konstrukční parametry a jejich tolerance, nebo parametry ovlivněné výrobními a montážními postupy;
- specifikaci vlastností zkušebních vzorků a jejich kontrolu podle ČSN 73 2039, např. způsob odebrání vzorků, specifikace rozměrů, materiál a výroba prototypů, počet vzorků a jejich částí, jejich upnutí apod.

10.2.5 Počet zkušebních vzorků se stanoví dohodou mezi projektantem a zkušebnou.

10.2.6 Nevyhovují-li skutečné odchylky zkušebního vzorku požadavkům ČSN 73 2611, je nutné rozhodnout o dalším průběhu zatěžovací zkoušky, případně takový vzorek ze zkoušek vyloučit.

10.2.7 Charakteristické hodnoty vlastností materiálu, ze kterého jsou zkušební vzorky vyrobeny, se stanoví z norem nebo jiných předpisů, platných v době výroby zkušebních vzorků, z dokumentace zkušebních vzorků nebo vyšetřováním na místě podle podmínek stanovených v ČSN 73 0038.

10.2.8 Popis zatížení, kterým budou prvky a dílce vystaveny při zkoušce, obsahuje:

- hodnoty zkušebního zatížení a zatěžovacích stupňů, které se stanoví podle ČSN 73 2039;
- popis zatěžování a okolního prostředí při zkoušce (např. působiště zatížení, metody zatěžování, rozložení zatížení v čase a prostoru, teploty);
- předpokládané způsoby porušení a výpočet předpokládané únosnosti zkušebního vzorku s odpovídajícími proměnnými;
- uspořádání zkoušek včetně podpěrných přípravků dostatečné tuhosti a pevnosti s dostatečnou vůlí pro deformace modelů atd.;
- stanovení pozorovacích bodů a metod sledování a zaznamenávání (např. časový průběh poměrných deformací, sil, průhybů);
- stanovení druhu kontroly velikosti zatížení (kontrola napětím, poměrnými deformacemi);
- požadovanou přesnost měření a měřicích zařízení, přičemž měření přetvoření a osazování měřicích přístrojů musí odpovídat ustanovením ČSN 73 2030 a ČSN 73 2037.

10.2.9 Před započítáním zkoušek je nutné změřit a zaznamenat veškeré detaily zkušebních vzorků při jejich odebrání a výrobě.

10.3 Provádění zkoušek

10.3.1 Postup zkoušení má být v souladu s požadavky ČSN 70 2031, ČSN 73 2037 a ČSN 73 2039.

10.3.2 Provádění experimentálních ověření je možné svěřit pouze organizaci s personálem dostatečně kvalifikovaným a zkušeným pro plánování, provádění a vyhodnocování zkoušek.

10.3.3 Zkušební organizace musí mít potřebné vybavení a musí zajistit pečlivé vedení a dokumentaci všech zkoušek.

10.4 Vyhodnocení zkoušek

10.4.1 Při vyhodnocování zkoušek je nutné brát v úvahu nahodilý charakter všech údajů.

10.4.2 Vyhodnocování zkoušek se provádí podle postupů a kritérií uvedených v ČSN 73 2037 a ČSN 73 2039.

10.5 Dokumentace o zkouškách

Zpráva o přípravě, průběhu a vyhodnocení zkoušky musí obsahovat příslušnou dokumentaci podle ČSN 73 2031, a to zejména

- zkušební plán, včetně všech změn;
- zápis o výběru vzorků objektů, dílců nebo konstrukcí s údaji podle ČSN 73 2031;
- zápis o odběru vzorků dílců, surovin a materiálů s údaji podle ČSN 73 2031;
- zkušební protokoly s údaji podle ČSN 73 2031;
- zpracování výsledků zkoušek podle postupů a kritérií uvedených v ČSN 73 2037 a ČSN 73 2039.

11 Pokyny pro konstruování

11.1 Všeobecně

Konstrukční řešení ocelové konstrukce musí zajistit:

- splnění funkčních a výkonových parametrů za přiměřených pořizovacích a udržovacích nákladů;
- návaznost ocelové konstrukce na další stavební části a technologická zařízení;
- vyrobitelnost a bezdefektnost ocelové konstrukce;
- splnění podmínek pro transport konstrukce na místo stavby a pro montáž;
- provozní udržovatelnost a kontrolovatelnost;
- bezpečný přístup pracovníků obsluhy a kontroly.

11.2 Konstrukční řešení ocelových konstrukcí pozemních staveb

11.2.1 Plnostěnné nosníky

Výztuhy stojiny nosníku mají být oboustranné. Podélné výztuhy, jsou-li považovány za součást průřezu, mají být z oceli alespoň stejné pevnosti jako stojina a musí být vhodně stykovány.

11.2.2 Příhradové konstrukce

11.2.2.1 Těžištové osy hlavních prutů příhradových konstrukcí se mají protínat v jediném bodu – styčnicku. Přípoje a styky prutů je potřebné navrhnout tak, aby výslednice sil v nich působících ležela v ose prutu. Pokud tyto podmínky nejsou splněny, je potřebné vliv excentricit uvážit při posouzení únosnosti prutů, styků i přípojů.

11.2.2.2 Při výpočtu převážně staticky namáhaných prutových soustav (nosníků, ztužidel) je možné předpokládat kloubové spojení prutů ve styčnicích.

11.2.3 Šroubové a nýtové spoje

11.2.3.1 Při návrhu je potřebné dbát na dobrou přístupnost ke šroubům a nýtům. V dynamicky namáhaných spojích a v přípojih zábradlí lávek na jeřábových drahách mají být matice zajištěny proti uvolnění.

11.2.3.2 Každý prvek má být připojen nejméně dvěma šrouby nebo dvěma nýty. Jen v kloubech, ztužidelch zajišťujících tvar konstrukce, v zábradlích nebo jiných vedlejších prvcích konstrukce se dovolu je připoj jedním šroubem nebo nýtem.

Vložka tlustší než 6 mm přenášející sílu mezi dvěma prvky má být připojena k jednomu prvku větším počtem nýtů nebo šroubů než k druhému. Jinak se únosnost přípoje snižuje zavedením součinitele podle kapi toly 7. Toto ustanovení neplatí pro třecí spoje.

11.2.3.3 Pásnice nosníku má být připojena alespoň dvěma řadami nýtů před místem požadovaného půso bení. Šířka pásnice má být alespoň o 10 mm větší než je šířka pásu z úhelníků.

11.2.3.4 Stykové příložky mají tvarem a plochou nahrazovat stykovaný průřez nebo jeho části. Není-li styková příložka položena přímo na stykované části, je nutné počet šroubových nebo nýtových řad zvětšit o tolik řad, kolik je vložek mezi stykem a příložkou.

11.2.3.5 Spoj s hrubými šrouby vykazuje při namáhání prokluz, proto nesmí být použit pro styky namá hané střídavě tahem a tlakem, nebo v konstrukcích, ve kterých by prokluz vedl k nepřipustné změně jejich tvaru.

11.2.4 Spoje svařované

11.2.4.1 Svary musí být přístupné ke svařování a ke kontrole při výrobě, montáži nebo provozu.

11.2.4.2 Koutové svary se označují výpočtovou délkou podle ČSN 01 3155. Výška nosných koutových svarů má odpovídat tloušťce spojovaného materiálu. Nejmenší výšky jednovrstvých ručních svarů jsou v ta bulce 39.

Tabulka 39 – Nejmenší výšky koutových svarů

Rozměry v mm

Největší tloušťka spojovaných prvků <i>t</i>	Nejmenší výška jednovrstvého ručního svaru <i>a</i>
do 10	3
11 až 20	4
21 až 30	5
31 a více	6

11.2.4.3 Dílenské krční svary mají končit před tupým montážním stykem stojiny a pásnice, aby se tyto prvky mohly při svařování volně deformovat. Krční svary se dokončí jako poslední operace. Aby se tupý svar pásnic mohl dobře provařit, doporučuje se v těchto místech provést krční svar jako tupý K svar pro připojení stojiny.

11.2.4.4 Přidaná pásnice nosníku se vede aspoň o polovinu své šířky přes požadovaný začátek působení.

11.2.4.5 Přerušované svary mohou být navrhovány jen v konstrukcích staticky zatížených, umístěných v neagresivním prostředí.

11.2.5 Kontaktní styk

Kontaktní styk, který přenáší tlak přímým dotykem stykovaného průřezu, smí být navrhován u sloupů nebo jiných tlačných prutů se stíhlostí menší než $80 \sqrt{235/f_y}$, a to jen ve vnějších čtvrtinách vzpěrné délky pru tů:

- centricky tlačných;
- tlačných a ohýbaných, pokud excentricita síly v místě styku je menší než polovina jádrové úsečky průřezu;
- střídavě tlačných a tažených, pokud spojení přenese maximální výpočtovou tahovou sílu.

Spojovací prostředky přitom musí přenést případnou posouvající sílu, přičemž se s příznivým vlivem tření nepočítá. Kontaktní styk musí být při montáži zajištěn proti posunutí.

11.2.6 Ložiska

Ložiska hlavních nosníků a jiných důležitých nosných prvků musí být upravena tak, aby přenášela podporové tlaky dostředně a nebránila posunutí a pootočení podle předpokladů výpočtu.

Pro nosníky uložené na zděných nebo betonových stěnách a pilířích je možné navrhovat kluzná posuvná ložiska do rozpětí 30 m a do tlaku 150 kN. Pro větší rozpětí a tlaky se doporučují ložiska válečková, kyvné sloupy nebo stěny apod.

11.3 Ochrana proti korozi

11.3.1 Pro ochranu ocelové konstrukce proti korozi má být navržen vhodný systém protikorozi ochrany podle ČSN 03 8260, který je přiměřený agresivnosti prostředí.

V technicky a ekonomicky odůvodněných případech je možné použít ocelovou konstrukci bez protikorozi ochrany. Pro konstrukce do vnějších prostředí je zpravidla vhodné použít patinující oceli se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi. Přitom je potřebné dodržet zvláštní požadavky výrobce.

11.3.2 Ocelové konstrukce do agresivního nebo nečistého prostředí mají být navrhovány z profilů s malým povrchem tak, aby se nikde nehromadila voda a nečistota. Konstrukce mají být přístupné pro čištění, kontrolu a udržování protikorozi ochrany. Nepřístupné prostory v konstrukci mají být těsně uzavřeny – viz ČSN 03 8260. Složené průřezy se mají navrhovat tak, aby mezi jejich dílčími profily byly mezery:

- $a \geq \frac{h}{3}$ v prostředí s korozi agresivitou stupně 5, v nečistém prostředí nebo v chemickém průmyslu;
- $a \geq \frac{h}{10} \geq 10$ mm v ostatních případech,

kde a je velikost mezery;

h výška dílčího profilu.

12 Zabezpečování a prokazování jakosti

12.1 Jakost ocelové konstrukce je podmínkou pro zajištění její potřebné spolehlivosti. Jakost konstrukce se zajišťuje ve všech fázích technické přípravy, realizace a provozního využívání stavby řádným plněním požadavků příslušných technických norem pro navrhování, výrobu a údržbu ocelových konstrukcí a přiměřenou kontrolou v projektu předepsaných postupů a opatření.

12.2 Navrhovat ocelovou konstrukci smějí pouze osoby a organizace, jejichž způsobilost k této činnosti byla prokázána v souladu s platnými předpisy. Pokud tato způsobilost není prokázána, předpokládá se, že projekty vypracované nepověřenými osobami a organizacemi nejsou v souladu s normami pro navrhování ocelových konstrukcí.

12.3 Způsobilost k projektování ocelových konstrukcí se prokazuje certifikátem, který bude vydán certifikačním orgánem po prověření systému řízení jakosti, způsobilosti pracovníků a úrovně projektů, vypracovaných příslušnou osobou nebo organizací.

POZNÁMKA – Pro zajištění souladu ocelové konstrukce s návrhovými předpoklady je nutné, aby její výrobu a montáž prováděly organizace, které pro tuto činnost mají potřebnou odbornou způsobilost. Rozsah požadavků a způsob prokazování způsobilosti k provádění ocelových konstrukcí určuje ČSN 73 2601, včetně kategorizace konstrukcí podle skupin výrobní náročnosti.

12.4 Jakost návrhů ocelových konstrukcí, dodávaných do České republiky zahraničními výrobci nebo dodavateli, musí být rovněž zajištěna a prokázána v souladu s požadavky příslušných českých technických norem pro navrhování ocelových konstrukcí. Soulad návrhu ocelové konstrukce s požadavky ČSN se obvykle prokazuje certifikátem, který vydal certifikační orgán akreditovaný podle ČSN EN 45012.

Příloha A (informativní)

Základní pravidla pro zajištění spolehlivosti ocelových konstrukcí

A.1 Všeobecně

Ocelová konstrukce má dosahovat požadovanou úroveň spolehlivosti, tj. bezporuchovosti, dobu života, udržitelnosti a bezpečnosti při dodržení hospodárnosti při výrobě, montáži a provozním využívání. Bezpečnost je vlastnost objektu neohrožovat lidské zdraví, životy a životní prostředí.

A.2 Mezní stavy ocelových konstrukcí

A.2.1 Ověření spolehlivosti nosné ocelové konstrukce v souladu s ČSN 73 0031 spočívá v průkazu splnění příslušných podmínek spolehlivosti mezních stavů, které se rozdělují do dvou skupin:

- skupiny mezních stavů únosnosti;
- skupiny mezních stavů použitelnosti.

Všechny podmínky spolehlivosti v obou skupinách mezních stavů jsou stejně závažné.

A.2.2 Podmínky spolehlivosti ve skupině mezních stavů únosnosti odpovídající různým typům vyčerpání únosnosti musí být splněny po celou dobu realizace a provozního užívání ocelové konstrukce.

Podmínky spolehlivosti ve skupině mezních stavů použitelnosti zajišťující schopnost konstrukce plnit svou funkci při obvyklém užívání musí být splněny ve vymezeném úseku návrhové doby života konstrukce a za definovaných podmínek.

A.2.3 Ověřením dodržení podmínek mezních stavů únosnosti ocelové konstrukce se zajišťuje její bezporuchovost, požadovaná doba života a bezpečnost při krátkodobém přetížení a při opakovaném zatěžování s přihlédnutím k historii zatížení. Z hlediska bezpečnosti se hlavně jedná o zabezpečení lidí proti nečekanému a náhlému ohrožení.

A.2.4 Ověřením dodržení podmínek mezních stavů použitelnosti ocelové konstrukce se zajišťuje pohoda člověka a jeho životní prostředí, dále pak bezporuchovost, požadovaná doba života a udržitelnost stavebního, technologického a strojního vybavení.

A.2.5 Dodržení podmínek mezních stavů ocelové konstrukce se prokazuje výpočtem nebo zkouškami a zajišťuje se volbou vhodného materiálu, konstrukčním řešením detailů, ochranou proti korozi, požáru nebo jiným negativním vlivům. Důležitou složkou pro zabránění vzniku mezních stavů je kontrola při projektování, výrobě, montáži a používání ocelové konstrukce. Uvedené faktory, včetně způsobu kontroly, se určují v projektové dokumentaci.

A.2.6 Podmínky spolehlivosti ocelové konstrukce vyžadují, aby hodnoty účinků zatížení a dalších vlivů na konstrukci byly s přípustnou pravděpodobnostní zárukou menší než mezní hodnoty příslušných veličin odporu konstrukce.

A.3 Pravděpodobnost poruchy a index spolehlivosti

A.3.1 Ocelová konstrukce má být navržena tak, aby se s dostatečnou zárukou zabránilo dosažení všech mezních stavů. Návrhové riziko se rovná hodnotě návrhové pravděpodobnosti poruchy P_f .

A.3.2 Návrhová pravděpodobnost poruchy P_f se určuje diferencovaně pro mezní stavy únosnosti a mezní stavy použitelnosti v závislosti na:

- účelu a významu, tj. společenské důležitosti ocelové konstrukce;
- možných následcích při dosažení mezního stavu z hlediska ohrožení životů a zdraví lidí a rozsahu možných ekonomických a ekologických škod;
- návrhové době života ocelové konstrukce;
- úrovni kontroly kvality při přípravě, realizaci a používání konstrukce;
- kvalitativních požadavcích na výpočet ocelové konstrukce (návrhová koncepce, kategorie výpočetního modelu, přesnost výpočtu).

A.3.3 Návrhový index spolehlivosti β_d se určí jako kvantil vhodného typu rozdělení pro návrhovou pravděpodobnost poruchy P_f .

A.3.4 Místo návrhového indexu spolehlivosti β_d je možné počítat s dílčím návrhovým indexem spolehlivosti účinků zatížení β_{sd} a dílčím návrhovým indexem spolehlivosti materiálu β_{Rd} . Určí se z hodnoty β_d takto:

$$\begin{aligned} \beta_{Rd} &= \alpha_{R(S)} \beta_d, \\ \beta_{sd} &= \alpha_{S(R)} \beta_d, \end{aligned} \tag{A.1}$$

kde $\alpha_{R(S)}$, $\alpha_{S(R)}$ jsou separační součinitele. Pokud nejsou k dispozici přesnější podklady pro jejich určení, dovoluje se počítat s hodnotou

$$\begin{aligned} \alpha_{R(S)} &= 0,80, \\ \alpha_{S(R)} &= 0,70. \end{aligned} \tag{A.2}$$

A.3.5 Hodnoty návrhové pravděpodobnosti poruchy P_f jsou v tabulce A.1. Při normálním nebo alespoň přibližně normálním rozdělení pravděpodobnosti poruchy jsou v tabulce A.1 rovněž uvedeny odpovídající hodnoty návrhového indexu spolehlivosti β_d , dílčích návrhových indexů spolehlivosti účinků zatížení β_{sd} a spolehlivosti materiálu β_{Rd} a jim odpovídající hodnoty pravděpodobnosti dosažení výpočtové hodnoty účinků zatížení P_{fs} a výpočtové hodnoty pevnosti materiálu P_{fr} pro návrhovou dobu života ocelové konstrukce 80 let.

Tabulka A.1 – Návrhové pravděpodobnosti poruchy a indexy spolehlivosti ocelové konstrukce

Mezní stavy únosnosti $T_d = 80$ let						
Úroveň spolehlivosti	Pravděpodobnost poruchy			Index spolehlivosti		
	P_f	P_{fs}	P_{fr}	β_d	β_{sd}	β_{Rd}
snížená	$5 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$7 \cdot 10^{-3}$	3,29	2,30	2,63
obvyklá	$7 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	3,81	2,67	3,05
zvýšená	$8 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-1}$	4,30	3,01	3,44
Mezní stavy použitelnosti $T_d = 80$ let						
Úroveň spolehlivosti	Pravděpodobnost poruchy			Index spolehlivosti		
	P_f	P_{fs}	P_{fr}	β_d	β_{sd}	β_{Rd}
snížená	$16 \cdot 10^{-2}$	$25 \cdot 10^{-2}$	$21 \cdot 10^{-2}$	0,99	0,69	0,79
obvyklá	$7 \cdot 10^{-2}$	$15 \cdot 10^{-2}$	$12 \cdot 10^{-2}$	1,48	1,04	1,18
zvýšená	$23 \cdot 10^{-3}$	$81 \cdot 10^{-3}$	$55 \cdot 10^{-3}$	2,00	1,40	1,60

A.3.6 Pro jinou návrhovou dobu života T_d se určí příslušný návrhový index spolehlivosti $\beta_{d,T}$ (pro pravděpodobnost poruchy P_f nebo pravděpodobnost nedodržení hodnot zatížení a pevnosti P_{FS} a P_{FR} podle tabulky A.1 pro referenční dobu života $T_1 = 80$ let) jako kvantil normálního rozdělení, odpovídající pravděpodobnosti přežití

$$P_{f,T} = (1 - P_{f,1})^{T/T_1}, \quad (\text{A.3})$$

kde $P_{f,1}$ jsou hodnoty P_f , P_{FS} , P_{FR} z tabulky A.1.

A.4 Hlavní faktory spolehlivosti ocelových konstrukcí

A.4.1 Materiály

A.4.1.1 Ocelové konstrukce se navrhují a vyrábějí z materiálů, jejichž základní hodnoty mechanických vlastností, chemické složení, tvar a rozměry jsou zaručeny podle příslušných norem a dodacích podmínek. Stav oceli se volí podle norem materiálu nebo podle doporučení hutě.

A.4.1.2 Pro ocelové konstrukce se přednostně používají materiály, jejichž vlastnosti a technické parametry odpovídají požadavkům ČSN EN 10025. Konstrukční materiály se člení do tříd podle charakteristik pevnosti a houževnatosti.

Pevnostní třída materiálu se určí podle funkčních, konstrukčních, výrobních a cenových podmínek ocelové konstrukce. Třída houževnatosti materiálu se určí podle typu a účelu konstrukce, podle provozních podmínek, teploty a podle způsobu spojování prvků a dílců.

A.4.1.3 V konstrukci i v jednotlivých průřezích je možné vzájemně kombinovat materiály rozdílných pevnostních tříd. Důsledky kombinace pro únosnost ocelové konstrukce je nutné posoudit podle zvláštních předpisů výrobce, popř. podle přidružených norem. Pro výrobu těchto konstrukcí je nutné předepsat odpovídající výrobní opatření.

A.4.2 Zatížení

A.4.2.1 Zatížení ocelové konstrukce a jejich kombinace se určují podle normy pro zatížení stavebních konstrukcí ČSN 73 0035. Další zatížení, specifická pro jednotlivé druhy konstrukcí, mohou být stanovena v přidružených normách.

A.4.2.2 Ocelová konstrukce má být řešena tak, aby její všechny části byly plně využity. Při tom se berou do úvahy reálné materiálové možnosti a výrobní požadavky.

A.4.2.3 Pokud je potřebné ocelovou konstrukci navrhnout s odůvodněnou rezervou (např. pro předpokládanou rekonstrukci nebo změnu provozních podmínek), vyjadřuje se tato rezerva vždy v hodnotách zatížení.

A.4.2.4 Kombinace účinků nahodilých zatížení se obvykle určuje podle ČSN 73 0035. Pokud jsou v postačující míře známy údaje o skutečné vclikosti, časovém rozložení a vzájemných souvislostech jednotlivých zatížení, je možné určovat extrémní hodnoty zatížení přímo pro požadovanou úroveň spolehlivosti podle kapitoly A.3 s využitím numerických metod (metody Monte Carlo apod.).

A.4.3 Geometrické veličiny

A.4.3.1 Pro určení výpočtových hodnot pevnosti materiálu a únosnosti konstrukce je nutné uvažovat možné nepříznivé odchylky geometrických veličin skutečné konstrukce od návrhových hodnot dle projektu. Návrhové úchylné rozměry a tvaru ocelových konstrukcí nemají být menší než přípustné hodnoty podle ČSN 73 2611.

A.4.3.2 Délkové rozměry ocelové konstrukce (rozpětí, výšky apod.) se ve výpočtu uvažují podle nominálních hodnot, určených projektem. Odchylky rozměrů a dimenzí prvků příčného řezu nosných prvků se uplatní jako faktor při stanovení parciálního součinitele spolehlivosti materiálu, resp. výpočtové pevnosti materiálu.

A.4.3.3 Materiálové defekty a nečistosti, jejichž druh, četnost a velikost jsou menší než přípustná úroveň podle norem pro hodnocení kvality materiálu nebo výroby, se při posuzování spolehlivosti ocelové konstrukce explicitně nevyjadřují. Jejich účinek je zahrnut do výpočetního modelu pro hodnocení mezního stavu únavy, popř. mezního stavu křehkého lomu.

A.4.3.4 Při posuzování spolehlivosti ocelové konstrukce z hlediska vzpěrné pevnosti tlačných prvků, stability štíhlých stěn, únavové pevnosti a křehkého lomu lze uplatnit přímé výpočetní postupy pro posouzení spolehlivosti, obsahující fiktivní návrhové imperfekce. Velikost, polohu a orientaci návrhových imperfekcí je nutné určit tak, aby byla dodržena potřebná úroveň spolehlivosti ocelové konstrukce podle kapitoly A.3.

A.4.4 Negativní vlivy na ocelovou konstrukci

A.4.4.1 Nepříznivé účinky koroze materiálu je nutné přednostně eliminovat řádnou protikorozní ochranou, jejíž systém se určí podle korozní agresivity prostředí, možností realizace a obnovy systému ochrany a s ohledem na požadovanou dobu života ocelové konstrukce. Přitom je nutné respektovat ekologické požadavky při provádění a obnově protikorozní ochrany.

A.4.4.2 V technicky a ekonomicky zdůvodněných případech je možné navrhnout ocelovou konstrukci bez protikorozní ochrany. Při posuzování jednotlivých mezních stavů je nutné počítat s negativními vlivy koroze na dimenze nosných prvků a na změnu materiálových charakteristik.

Pro ocelové konstrukce do vnějších prostředí je vhodné použít patinující konstrukční oceli se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi bez ochrany.

A.4.4.3 Negativní působení zvýšených nebo vysokých provozních teplot nebo účinků požáru je nutné omezit tepelnou ochranou nosných prvků ocelové konstrukce. Při posuzování spolehlivosti se přitom uvažují příslušné změny materiálových charakteristik v důsledku teplot.

A.4.4.4 Negativní působení nízkých atmosférických nebo provozních teplot na ocelovou konstrukci je nutné eliminovat:

- použitím materiálu s postačující houževnatostí;
- konstrukčním řešením omezujícím konstrukční vruby a svarová pnutí;
- zvýšenými nároky na technologii výroby ocelové konstrukce a její defektoskopickou kontrolu.

Je nutné omezit výskyt a působení konstrukčních a výrobních koncentrátorů napětí a vznik výrobních defektů, zejména trhlin. V důležitých případech je potřebné ocelovou konstrukci posoudit z hlediska mezního stavu křehkého lomu.

Příloha B (normativní)

Ekvivalentní imperfekce tlačných prutů

Tabulka B.1 – Výpočtové hodnoty počáteční výchylky $e_{0,d}$

Průřez		Metoda výpočtu				
Metoda pro posouzení únosnosti	Typ průřezu a osa	Pružnostní nebo metoda kloubových mechanismů nebo pružnoplasticitní metoda plastických kloubů			Pružnoplasticitní metoda plastických zón	
pružnostní	libovolné	$\alpha_1 (\bar{\lambda} - 0,2) k_e W_{el}/A$			-	
lineární plasticitní	libovolné	$\alpha_1 (\bar{\lambda} - 0,2) k_e W_{pl}/A$			-	
nelineární plasticitní	I průřez, osa y - y	$1,33 \alpha_1 (\bar{\lambda} - 0,2) k_e W_{pl}/A$			$\alpha_1 (\bar{\lambda} - 0,2) k_e W_{pl}/A$	
	I průřez, osa z - z	$2,0 k_e e_{eff}/\sqrt{235/f_y}$			$k_e e_{eff}/\sqrt{235/f_y}$	
	pravoúhlé duté průřezy	$1,33 \alpha_1 (\bar{\lambda} - 0,2) k_e W_{pl}/A$			$\alpha_1 (\bar{\lambda} - 0,2) k_e W_{pl}/A$	
	kruhové duté průřezy	$1,5 k_e e_{eff}/\sqrt{235/f_y}$			$k_e e_{eff}/\sqrt{235/f_y}$	
$k_e = (1 - k_\delta) + 2 k_\delta \bar{\lambda}$, ale $k_e \geq 1,0$						
Křivka vzpěrné pevnosti	α_1	e_{eff}	k_δ			
			$\gamma_{M1} = 1,05$	1,10	1,15	1,20
a	0,21	$l/600$	0,12	0,23	0,33	0,42
b	0,34	$l/380$	0,08	0,15	0,22	0,28
c	0,49	$l/270$	0,06	0,11	0,16	0,20
d	0,76	$l/180$	0,04	0,08	0,11	0,14

Příloha C (normativní)

Vzpěrné délky prutů

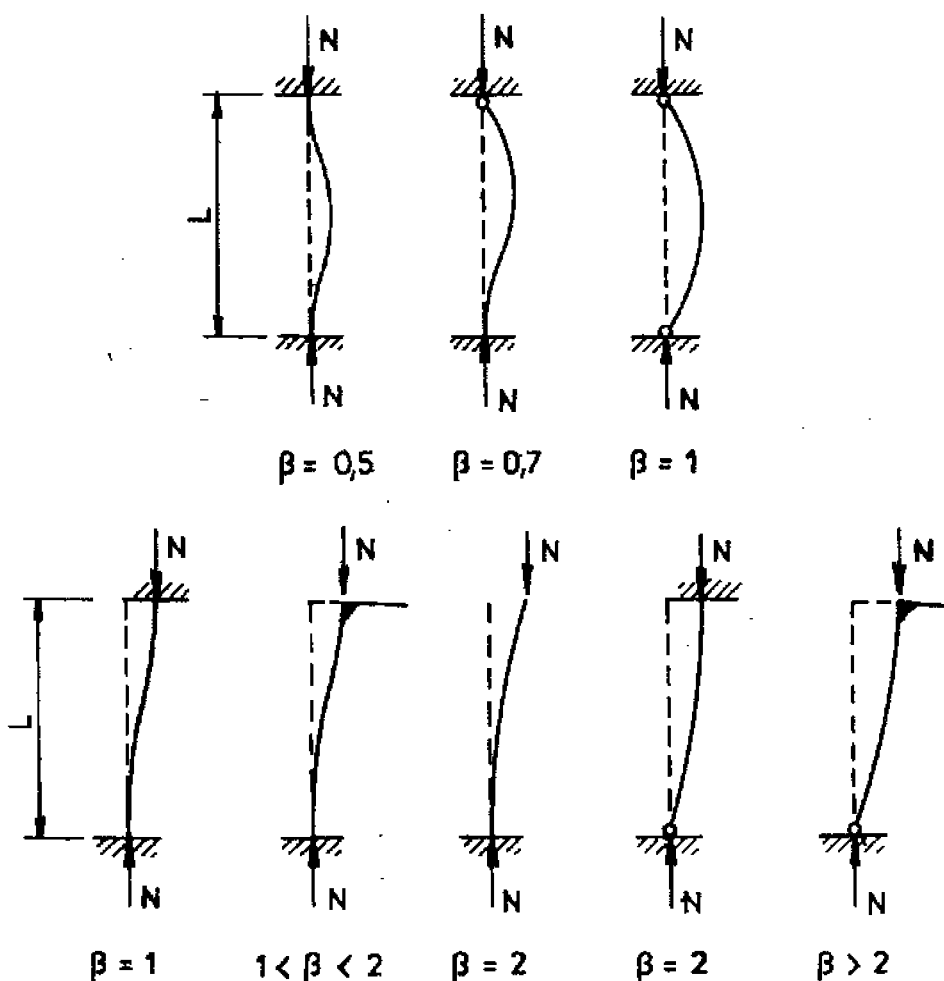
C.1 Základní případy vzpěrných délek

Vzpěrná délka prutu stálého průřezu při ztrátě stability ohybem je

$$L_{cr} = \beta L, \tag{C.1}$$

kde L je délka prutu;

β součinitel vzpěrné délky (podmínek uložení) prutu v ohybu. Pro základní případy uložení jsou součinitelé vzpěrné délky v obrázku C.1.



Obrázek C.1 – Tvary vybočení prutů

C.2 Příhradové nosníky

C.2.1 Vzpěrná délka pásu příhradového nosníku se uvažuje:

- pro vybočení v rovině nosníku jako teoretická vzdálenost styčníků;
- pro vybočení z roviny nosníku jako vzdálenost bodů pásu, zajištěných proti vybočení z roviny nosníku.

C.2.2 Vzpěrná délka výplňových prutů příhradových nosníků se uvažuje:

- pro vybočení v rovině nosníku jako vzdálenost středů přípojů prutu;
- pro vybočení z roviny nosníku jako teoretická vzdálenost styčníků.

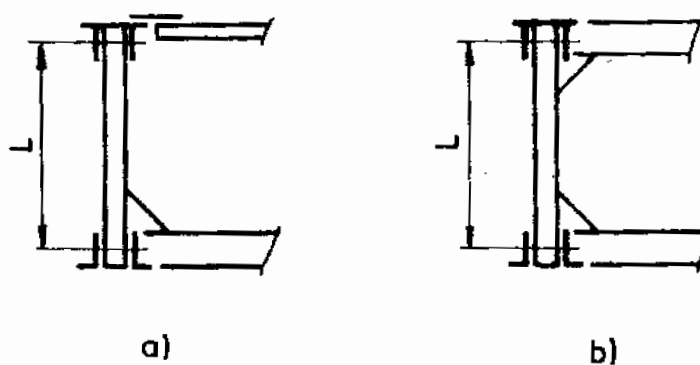
C.2.3 Při stanovení vzpěrné délky prutu lze využít přebytku únosnosti sousedních prutů, se kterými má posuzovaný prut společné styčníky. Pro výplňový prut, který je stojkou rámu, lze uvažovat vzpěrnou délku pro vybočení z roviny nosníku:

- jsou-li horní styčníky rámu kloubové podle obrázku C.2a)

$$L_{cr} = 0,8 L ;$$

- jsou-li horní i dolní styčníky rámu tuhé podle obrázku C.2b)

$$L_{cr} = 0,7 L .$$

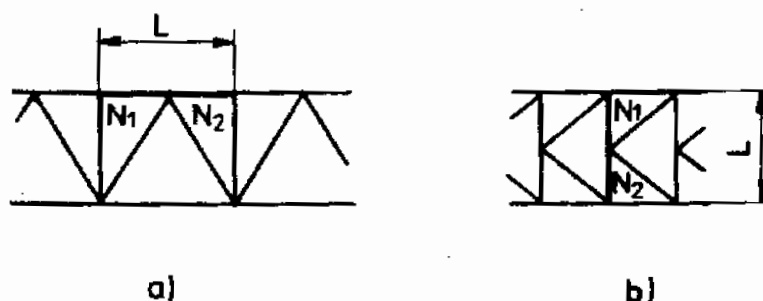


Obrázek C.2 – Vzpěrné délky stojek rámu

C.2.4 V prutech s proměnnou osovou silou ($N_2 < N_1$) podle obrázku C.3 je vzpěrná délka pro vybočení z roviny nosníku

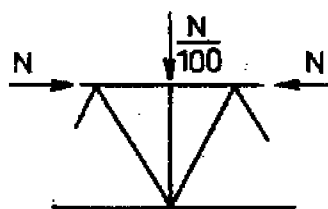
$$L_{cr} = \left(0,75 + 0,25 \frac{N_2}{N_1} \right) L. \tag{C.2}$$

Je-li N_2 tahem, dosazuje se do vzorce C.2 se záporným znaménkem, vzpěrná délka však nemůže být menší než $0,5 L$.



Obrázek C.3 – Vzpěrné délky prutů s proměnnou tlakovou silou

C.2.5 Podružné svislice zkracující vzpěrnou délku prutu podle obrázku C.4 je nutné posoudit na tlakovou sílu rovnou alespoň 1/100 tlakové síly v prutu, jehož vzpěrnou délku zajišťuje.



Obrázek C.4 – Zatížení podružné svislíce

C.3 Zkřížené pruty

C.3.1 Vzpěrná délka prutu p , jenž probíhá místem křížení s jiným prutem p_1 (uprostřed jeho délky), je při vybočení z roviny obou prutů:

$$L_{cr} = L \sqrt{1 - 0,75 \frac{N_1 L}{N L_1}} \geq 0,5 L, \quad (C.3)$$

je-li prut p_1 tažen podle obrázku C.5a). Spojení prutů musí být dimenzováno alespoň na sílu $N/4$;

$$L_{cr} = L,$$

je-li prut p_1 tlačěn a místem křížení probíhá podle obrázku C.5b). Přitom je $L_{1cr} = L_1$.

C.3.2 Vzpěrná délka prutu p , jenž je připojen kloubově k jinému prutu p_1 (uprostřed jeho délky), který místem křížení probíhá, je při vybočení z roviny obou prutů:

$$L_{cr} = 0,5 L,$$

je-li prut p_1 tažen podle obrázku C.5c) a je-li splněna podmínka

$$\frac{I_1}{I} \geq \frac{3}{4} \left(\frac{L_1}{L} \right)^3 \left(1 - \frac{N_1 L}{N L_1} \right); \quad (C.4)$$

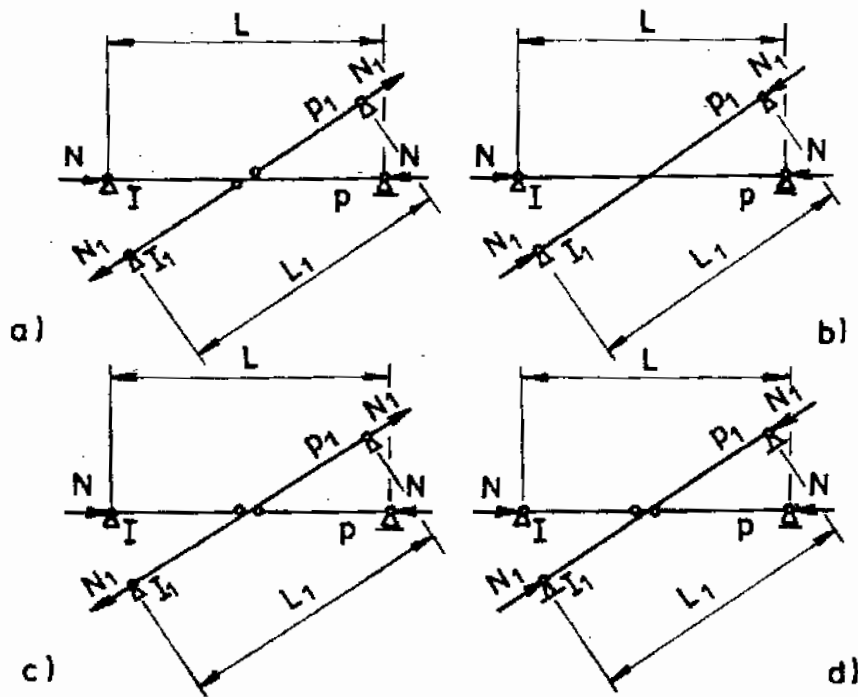
$$L_{cr} = 0,5 L,$$

je-li prut p_1 tlačěn podle obrázku C.5d) a je-li splněna podmínka

$$\frac{I_1}{I} \geq \frac{3}{4} \left(\frac{L_1}{L} \right)^3 \left(1 + 1,33 \frac{N_1 L}{N L_1} \right). \quad (C.5)$$

Vzpěrná délka prutu p_1 přitom je

$$L_{1cr} = \frac{L_1}{\sqrt{1 - 0,75 \frac{N_1 L}{N L_1}}}. \quad (C.6)$$



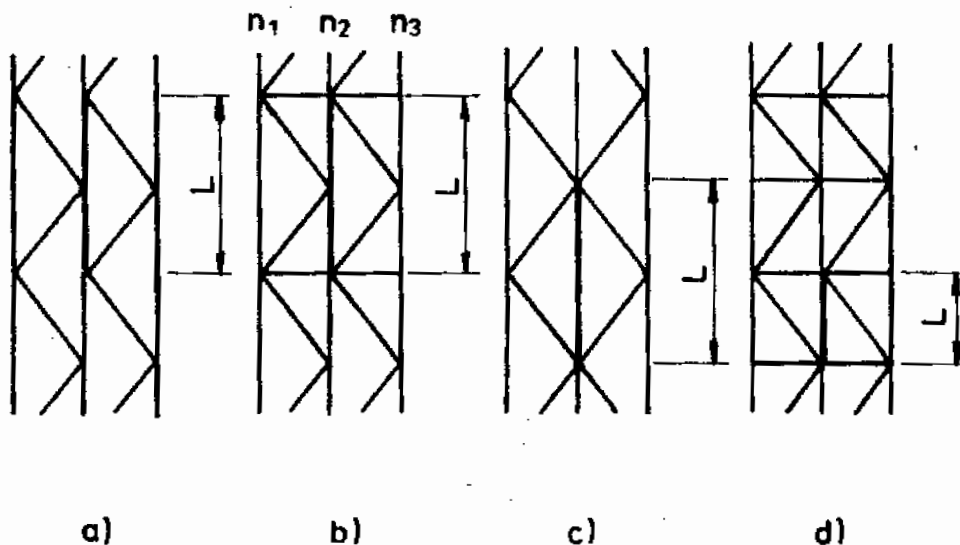
Obrázek C.5 – Vzpěrné délky zkřížených prutů

C.4 Nárožníky příhradových stožárů

Vzpěrné délky nárožníků příhradových stožárů pro soustavy podle obrázku C.6 jsou v tabulce C.1. Při výpočtu štíhlosti nárožníků se poloměr setrvačnosti bere:











- jsou-li hlavní osy průřezu v rovinách stěn soustavy k ose kolmé na směr vybočení;
- nejsou-li hlavní osy průřezu v rovinách stěn soustavy, bere se nejmenší poloměr setrvačnosti.

Nárožníky soustavy podle obrázků C.6a), b) se navrhují se stejným průřezem v obou polovinách prutu a průřez se posuzuje na větší osovou sílu.



Obrázek C.6 – Vzpěrné délky nárožníků

Tabulka C.1 – Vzpěrné délky nárožníků

Převažující namáhání	Průřez nárožníku	Soustava podle obr. C.6		
		a	b	c, d
ohyb ¹⁾		0,7 L	0,6 L	L
		0,85 L	0,8 L	
	  	L	L ³⁾	
tlak ²⁾		0,8 L	0,7 L	
		0,9 L	0,85 L	
	  	L	L ³⁾	

¹⁾ Rozdíl osových sil v obou polovinách prutu soustavy a, b je větší než 10 % větší osové síly.
²⁾ Rozdíl osových sil je menší než 10 %.
³⁾ Pro vybočení v rovině n₁ n₂ platí 0,5 L.

C.5 Rámy

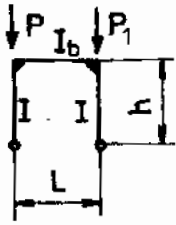
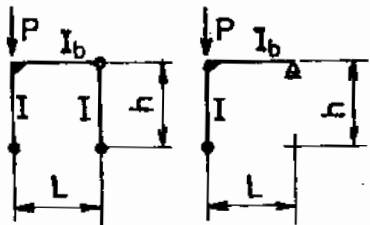
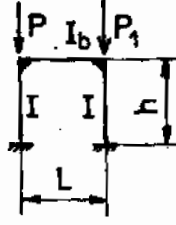
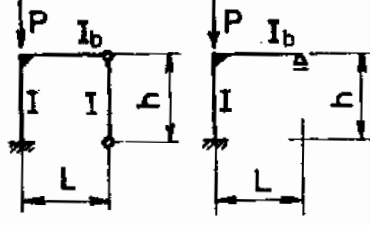
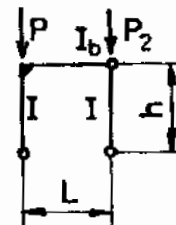
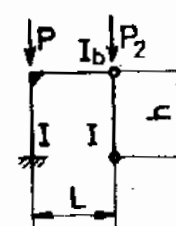
C.5.1 Vzpěrnou délku sloupu pro vybočení v rovině rámu lze brát

$$L_{cr} = \beta h,$$

kde h je výška sloupu;

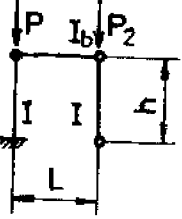
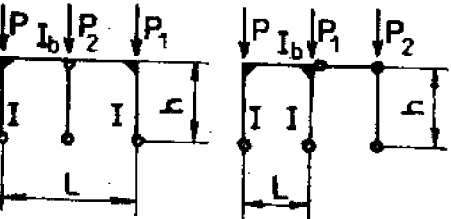
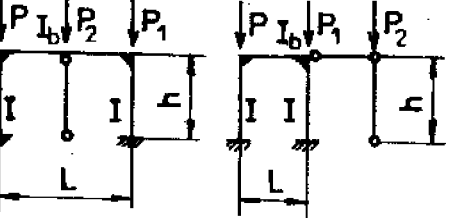
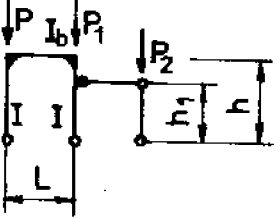
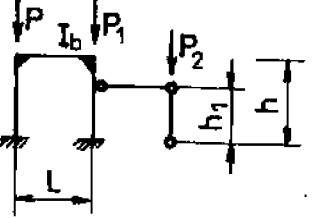
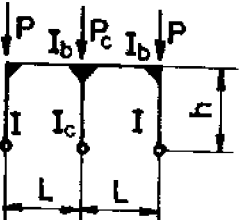
β součinitel vzpěrné délky podle tabulky C.2.

Tabulka C.2 – Součinitelé β pro vzpěrné délky sloupů rámu

Rám	β	Poznámka
<p>1</p> 	$2 \beta_1 \sqrt{1 + 0,4 x}$	<p>1) 2)</p>
<p>2</p> 	$2 \sqrt{1 + 0,8 x}$	<p>1) $x \leq 5$</p>
<p>3</p> 	$\beta_1 \sqrt{1 + 0,35 x - 0,017 x^2}$	<p>1) 2)</p>
<p>4</p> 	$\sqrt{1 + 0,70 x - 0,068 x^2}$	<p>1) $x \leq 5$</p>
<p>5</p> 	$2 \sqrt{1 + 0,96 \nu} \sqrt{1 + 0,4 x}$	<p>1) 3)</p>
<p>6</p> 	$\frac{\sqrt{1 + 0,86 \nu}}{\sqrt{1 + 0,35 x - 0,017 x^2}}$	<p>1) 3)</p>

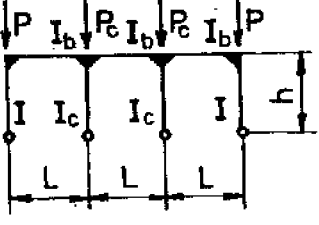
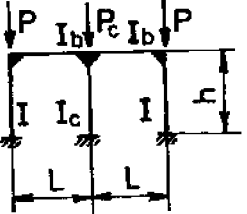
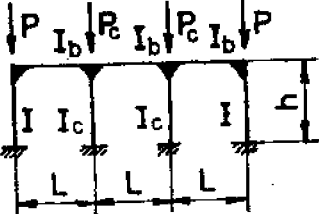
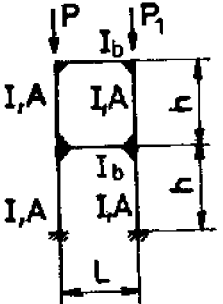
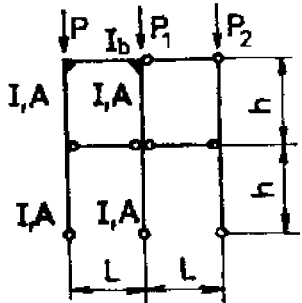
(Pokračování)

Tabulka C.2 (pokračování)

Rám	β	Poznámka
<p>7</p> 	$2\sqrt{1 + 0,75 \nu}$	<p>3)</p>
<p>8</p> 	$2\beta_1\sqrt{1 + 0,48 \nu}\sqrt{1 + 0,4 x}$	<p>1) 2) 3)</p>
<p>9</p> 	$\frac{\beta_1\sqrt{1 + 0,43 \nu}}{\sqrt{1 + 0,35 x - 0,017 x^2}}$	<p>1) 2) 3)</p>
<p>10</p> 	$2\beta_1\sqrt{1 + (0,53 \varrho - 0,03) \nu} \cdot \sqrt{1 + 0,4 x}$	<p>1) 2) 3) $\varrho = \frac{h_1}{h} \geq 0,5$</p>
<p>11</p> 	$\frac{\beta_1\sqrt{1 + (0,31 \varrho + 0,13) \nu}}{\sqrt{1 + 0,35 x - 0,017 x^2}}$	<p>1) 2) 3) $\varrho = \frac{h_1}{h} \geq 0,5$</p>
<p>12</p> 	<p>pro krajní sloupy</p> $\frac{6 + 1,2 x \sqrt{2 + \psi}}{3 + 0,1 x \sqrt{2 + \eta}}$ <p>pro střední sloup</p> $\frac{6 + 1,2 x \sqrt{2 + \psi} \sqrt{\eta}}{3 + 0,1 x \sqrt{2 + \eta} \sqrt{\psi}}$	<p>1) $\psi = \frac{P_c}{P}$ $\eta = \frac{I_c}{I}$ Platí pro $\beta \leq 6$</p>

(Pokračování)

Tabulka C.2 (dokončení)

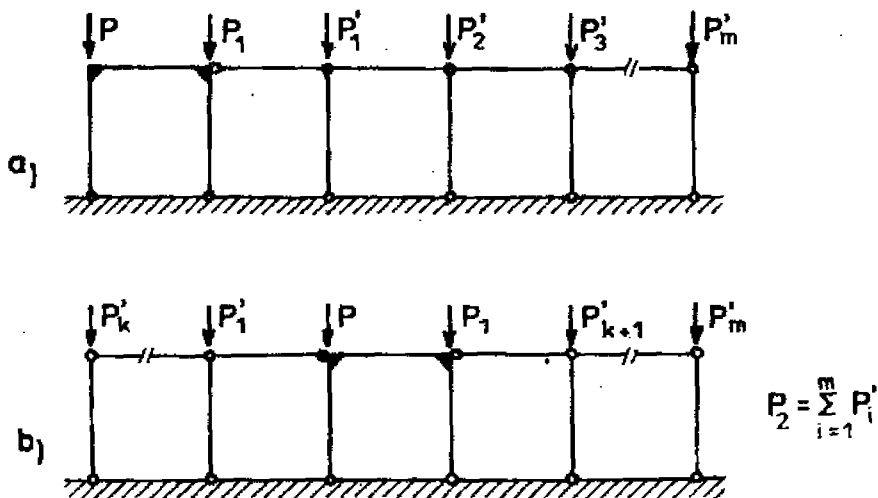
Rám	β	Poznámka
<p>13</p> 	<p>pro krajní sloupy</p> $\frac{6 + 1,2 x}{3 + 0,1 x} \sqrt{1 + \psi}$ <p>pro střední sloupy</p> $\frac{6 + 1,2 x}{3 + 0,1 x} \sqrt{1 + \psi} \sqrt{\eta}$	<p>1)</p> $\psi = \frac{P_c}{P}$ $\eta = \frac{I_c}{I}$ <p>Platí pro $\beta \leq 6$, $0,5 L < L_c < 2 L$</p>
<p>14</p>  <p>15</p> 	<p>do vzorců pro rámy č. 12 se místo</p> $\frac{6 + 1,2 x}{3 + 0,1 x}$ <p>dosadí</p> $\frac{1 + 0,4 x}{1 + 0,2 x}$	<p>1)</p> $\psi = \frac{P_c}{P}$ $\eta = \frac{I_c}{I}$ <p>Platí pro $\beta \leq 3$, $0,5 L < L_c < 2 L$</p>
<p>16</p> 	$\beta_1 \sqrt{1 + 12,5 \alpha + 0,89 (1 - \alpha) x - 0,003 (1 - \alpha) x^3}$	<p>1) 2)</p> $\alpha = \frac{4 I}{L^2 A}$ <p>Platí pro $\alpha \leq 0,2$ $x \leq 10$</p>
<p>17</p> 	$4 \beta_1 \sqrt{1 + 0,486 v} \sqrt{1 + 0,8 x}$	<p>1) 2) 3)</p>

1) $x = \frac{1L}{I_b h}$; vzorce platí pro $x \leq 10$, pokud není v tabulce uvedeno jinak.

2) $\beta_1 = 0,7 \sqrt{1 + \frac{P_1}{P}}$ pro $0 < P_1 \leq P$, je-li P_1 tahem, dosazuje se $P_1 = 0$.

3) $v = \frac{P_2}{P}$ platí pro $v \leq 10$.

C.5.2 Je-li k rámu připojeno více kyvných sloupů stejné výšky podle obrázku C.7, dosazuje se za P_2 součet břemen všech kyvných sloupů.



Obrázek C.7 – Zatížení rámu s připojenými kyvnými sloupy

C.5.3 Součinitele β vzpěrných délek sloupů při neposuvných styčnicích a součinitele vzpěrných délek sloupů rámu při vybočení s posuvem styčniců je možné určit podle přílohy E ČSN P ENV 1993-1-1.

C.6 Pruty proměnného průřezu

Prut proměnného průřezu neposuvně a kloubově uložený, centricky tláčený neproměnnou osovou silou N_{sd} lze posuzovat v různých místech jeho délky podle podmínky

$$N_{sd} \leq \chi_x A_x f_y / \gamma_{M1}, \tag{C.7}$$

kde A_x je plocha prutu v posuzovaném místě;
 χ_x součinitel vzpěrnosti;

$$\chi_x = 1 - (1 - \chi_e) \sin \frac{\pi x}{L}, \tag{C.8}$$

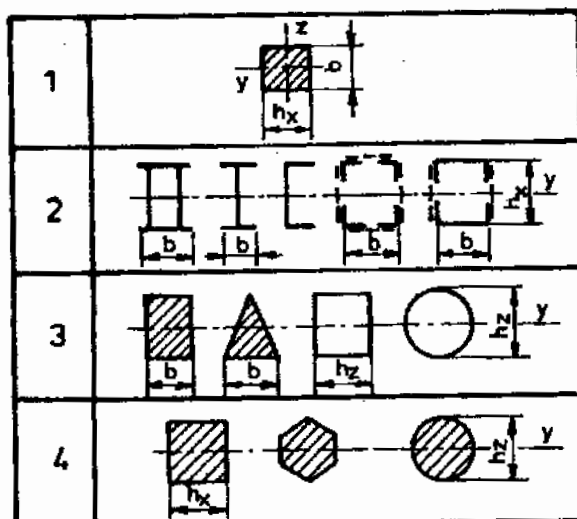
kde χ_e je součinitel vzpěrnosti podle normativní přílohy E pro štíhlost λ_e prutu proměnného průřezu podle vzorce C.9;
 x pořadnice posuzovaného místa;
 L délka prutu.

Štíhlost prutu proměnného průřezu lze brát

$$\lambda_e = \gamma L \sqrt{\frac{A_{max}}{I_{max}}}, \tag{C.9}$$

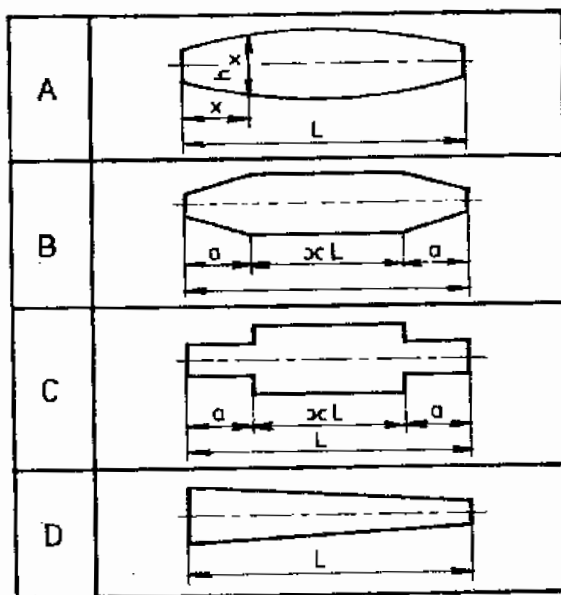
kde I_{max} je moment setrvačnosti největšího průřezu prutu;
 γ součinitel štíhlosti z tabulky C.3 pro některé typy průřezů podle obrázku C.8 a pro některé tvary prutů podle obrázku C.9.

Obdobně lze posuzovat i prut s jedním koncem vetknutým a druhý volným, s dvojnásobnou vzpěrnou délkou. Rovina vetknutí je pak osou symetrie prutu.



- 1) b – konstantní rozměr
- 2) h – proměnný rozměr

Obrázek C.8 – Typy průřezů prutů proměnného průřezu ^{1), 2)}



Obrázek C.9 – Tvary prutů proměnného průřezu

Tabulka C.3 – Součinitelé štíhlosti γ prutu proměnného průřezu

$\frac{I_{min}}{I_{max}}$	Typ průřezu podle obrázku C.8	Součinitelé γ pro tvary prutů podle obr. C.9											
		A	B					C				D	
			a pro součinitele α z obr. C.9										
			0	0,2	0,4	0,6	0,8	0,2	0,4	0,6	0,8		
0,01	1	1,11	1,30	1,18	1,08	1,02	1,00	8,03	6,04	6,06	2,09	1,61	
	2	1,25	1,89	1,44	1,22	1,07	1,01					2,40	
	3	1,38	1,97	1,64	1,35	1,11	1,01					2,89	
	4	1,46	2,14	1,78	1,43	1,14	1,02					3,16	
0,1	1	1,09	1,23	1,14	1,07	1,04	1,00	2,69	2,02	1,48	1,07	1,45	
	2	1,14	1,36	1,22	1,11							1,66	
	3	1,16	1,41	1,25	1,12							1,75	
	4	1,18	1,44	1,27	1,13							1,78	
0,2	1	1,07	1,18	1,10	1,05	1,02	1,00	1,88	1,53	1,24	1,03	1,35	
	2	1,09	1,24	1,14	1,07							1,44	
	3	1,10	1,26	1,16	1,07							1,48	
	4	1,11	1,27	1,17	1,08							1,49	
0,4	1 až 4	1,06	1,15	1,09	1,04	1,01	1,00	1,39	1,22	1,08	1,01	1,25	
0,6	1 až 4	1,03	1,08	1,04	1,02	1,01	1,00	1,19	1,10	1,03	1,00	1,14	
0,8	1 až 4	1,01	1,03	1,02	1,01	1,01	1,00	1,07	1,03	1,01	1,00	1,06	

C.7 Pruty s proměnnou osovou silou

C.7.1 Prut stálého průřezu s proměnnou osovou silou se posuzuje na maximální hodnotu osové síly se součinitelem vzpěrnosti pro štíhlost

$$\lambda_c = \lambda \sqrt{\frac{1 + \alpha N_{min} / N_{max}}{1 + \alpha}} \tag{C.10}$$

kde α jsou hodnoty podle tabulky C.4.

Je-li N_{min} tahem, dosazuje se do vzorce C.10 zápornou hodnotou; vzorec platí pro $|N_{min}| \leq 0,2 N_{max}$.

C.7.2 Sloupy hal odstupňovaného průřezu i zatížení podle obrázku C.10 lze posuzovat pro vybočení v rovině sloupu po úsecích se vzpěrnými délkami:

$$L_{cr1} = \beta_1 L_1 \text{ pro úsek 1;}$$

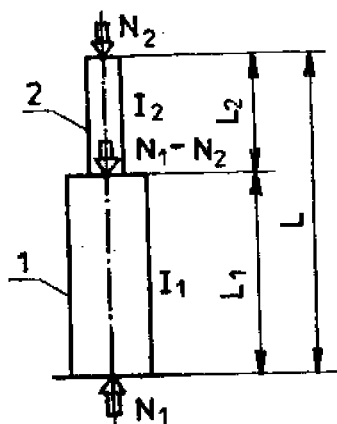
$$L_{cr2} = \beta_2 L_2 \text{ pro úsek 2.}$$

Úsek 1 se posoudí na sílu N_1 a úsek 2 pro sílu N_2 .

Pro $L_2/L_1 \leq 0,6$ a $N_1/N_2 \geq 3$ jsou součinitelé β_1 a β_2 v tabulce C.6. Pro jiné rozměry je potřebné počítat přesněji.





Tabulka C.4 – Součinitelé α prutu s proměnnou osovou silou

Proměna osové síly	Uložení prutu	L_{α}	α
		L	2,18
		$0,5 L$	0,93
		L	1,09
		L	0,88
		$0,5 L$	0,93
		$0,7 L$	0,51
		$0,7 L$	1,65



Obrázek C.10 – Sloupy hal odstupňovaného průřezu i zatížení

Tabulka C.5 – Součinitelé β pro sloupy hal

Uložení horního konce sloupu	β_1 pro I_2/I_1		β_2
	od 0,050 do 0,099	od 0,1 do 0,3	
 volný nebo posuvný kloubový	3,0	2,5	3,0
 posuvný vetknutý	2,0	2,0	3,0
 neposuvný kloubový	2,0	1,6	2,5
 neposuvný vetknutý	1,5	1,2	2,0

C.8 Oblouky

C.8.1 Oblouk stálého průřezu, který je jen tlačěn, lze posuzovat na vzpěr jako přímý prut zatížený osovou silou, která působí ve čtvrtině rozpětí.

Tabulka C.6 – Součinitel β_y pro oblouk ¹⁾

f/L	Oblouk					
	vetknutý		dvoukloubový		trojkloubový	
	I_y^2	$I_y \cos \varphi^2$	I_y^2	$I_y \cos \varphi^2$	I_y^2	$I_y \cos \varphi^2$
0,0	0,70	0,70	1,00	1,00	1,15	1,15
0,1	0,72	0,71	1,05	1,03	1,17	1,16
0,2	0,79	0,75	1,18	1,12	1,26	1,19
0,3	0,91	0,80	1,43	1,25	1,43	1,25
0,4	1,07	0,88	1,70	1,43	1,70	1,43
0,5	1,28	0,97	2,03	1,62	2,03	1,62
0,6	1,50	—	2,49	—	2,49	—
0,8	2,07	—	3,56	—	3,56	—
1,0	2,68	—	4,74	—	4,74	—

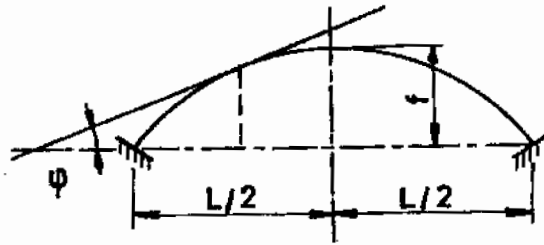
¹⁾ Hodnoty β_y platí pro parabolický rovnoměrně zatížený oblouk. Mohou být použity i pro jiné zatížení a jiný tvar oblouku, jež se od těchto předpokladů příliš neliší.
²⁾ Platí, pokud $I_y, I_y \cos \varphi$ jsou konstantní.

Pro vybočení v rovině oblouku lze počítat se štíhlostí

$$\lambda_y = \beta_y \frac{0,5 L}{i_y}, \tag{C.11}$$

kde β_y je součinitel podle tabulky C.6.

Je-li průřez oblouku málo proměnný nebo se mění tak, že hodnota $I_y \cos \varphi$ podle obrázku C.11 je málo proměnná, počítá se s plochou průřezu ve čtvrtině oblouku, ale i_y se bere pro vrcholový průřez.



Obrázek C.11 – Schéma oblouku

Pro vybočení z roviny oblouku se počítá se štíhlostí

$$\lambda_z = \alpha \beta_z \frac{0,5 L}{i_z}, \tag{C.12}$$

kde β_z je součinitel podle tabulky C.7;

α součinitel vyjadřující chování zatížení při vybočení oblouku.

Tabulka C.7 – Součinitelé β_z

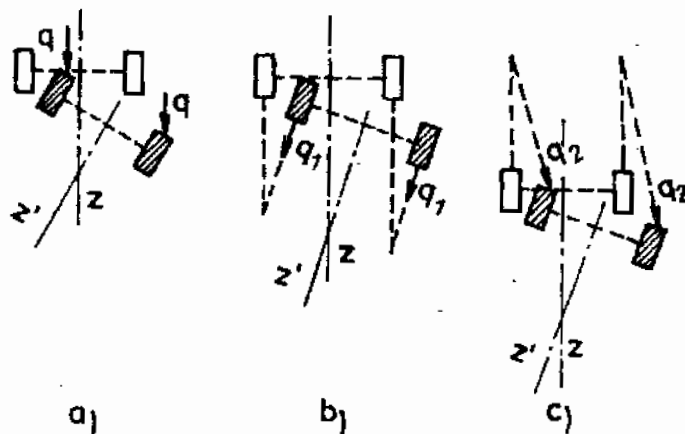
f/L	Moment setrvačnosti oblouku	
	$I_z = \text{konstanta}$	$I_z \cos \varphi = \text{konstanta}$
0,05	1,00	1,00
0,10	1,08	1,04
0,20	1,30	1,18
0,30	1,64	1,42
0,40	2,14	1,72

Zachová-li zatížení svislý směr podle obrázku C.12a), bere se $\alpha = 1$, je-li z celkového zatížení q část q_1 zavěšena podle obrázku C.12b), bere se

$$\alpha = 1 - 0,35 \frac{q_1}{q};$$

je-li část q podepřena podle obrázku C.12c), bere se

$$\alpha = 1 + 0,45 \frac{q_2}{q}$$



Obrázek C.12 – Schéma zatížení oblouku

C.8.2 Oblouk souměrný k polovině rozpětí, tlačенý a ohýbaný, má ve všech průřezech vyhovět podmínce

$$\frac{N_{sd}}{A} + \frac{M_{II}}{W} \leq f_y / \gamma_{M1}, \quad (\text{C.13})$$

kde M_{II} je ohybový moment podle teorie 2.řádu. Jeho největší hodnota je přibližně ve čtvrtině rozpětí

přičemž
$$M_{II,L/4} = M_{1,L/4} \frac{1}{1 - \frac{f_{1,L/4} H_1}{M_{1,L/4}}}, \quad (\text{C.14})$$

$M_{1,L/4}$, $f_{1,L/4}$ je ohybový moment a jím vyvozená svislá složka průhybu ve čtvrtině rozpětí podle teorie 1. řádu;

H_1 vodorovná síla oblouku podle teorie 1. řádu.

V důležitých případech je třeba uvažovat vliv stlačení střednice a popř. antimetrickou odchylku s největší pořadnicí ve čtvrtině rozpětí pro štiřlost oblouku podle vzorce C.11.

Příloha D (informativní)

Výpočtové normálové síly a ohybové momenty plastické únosnosti, redukované vlivem smykových sil

D.1 Výpočtové normálové síly a ohybové momenty plastické únosnosti redukované vlivem smykových sil se všeobecně počítají podle D.2 a D.3 pomocí redukované výpočtové hodnoty pevnosti

$$f_{yV,d} = \varphi_{yV} f_{yd}, \tag{D.1}$$

kde $\varphi_{yV} = \sqrt{1,1 [1 - (V_{Sd}/V_{pl,Rd})]^2}$, ale $\varphi_{yV} \leq 1,0$; (D.2)

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Vliv smyku na výpočtovou hodnotu pevnosti se zanedbává pro

$$V_{Sd}/V_{pl,Rd} \leq 0,3.$$

Průřez se má navrhnout tak, aby platilo

$$V_{Sd}/V_{pl,Rd} \leq 0,9.$$

D.2 Výpočtové normálové síly plastické únosnosti $N_{Vy, Vz, Rd}$ redukované vlivem smyku sil V_y, V_z , se vypočtou podle vzorce

$$N_{Vy, Vz, Rd} = f_{y, Vy, d} \sum_i A_{Vy, i} + f_{y, Vz, d} \sum_j A_{Vz, j} + f_{yd} \sum_k A_k, \tag{D.3}$$

kde $\sum_i A_{Vy, i}$ je součet částí plochy příčného řezu přenášejících smykovou sílu V_y ;

$\sum_j A_{Vz, j}$ součet částí plochy příčného řezu přenášejících smykovou sílu V_z ;

$\sum_k A_k$ součet částí plochy příčného řezu, kterým se nepřisuzuje účinnost na smyk.

D.3 Výpočtové ohybové momenty plastické únosnosti

$$M_{Vy, Vz, y, Rd} \text{ a } M_{Vy, Vz, z, Rd},$$

redukované vlivem smyku dvou sil V_y, V_z , se vypočtou podle vzorců

$$M_{Vy, Vz, y, Rd} = f_{y, Vy, d} \sum_i W_{pl, y, i} + f_{y, Vz, d} \sum_j W_{pl, y, j} + f_{yd} \sum_k W_{pl, y, k}, \tag{D.4}$$

$$M_{Vy, Vz, z, Rd} = f_{y, Vy, d} \sum_i W_{pl, z, i} + f_{y, Vz, d} \sum_j W_{pl, z, j} + f_{yd} \sum_k W_{pl, z, k}, \tag{D.5}$$

kde $\sum_i W_{pl, y, i}, \sum_i W_{pl, z, i}$ jsou součty plastických modulů průřezu k osám y, z částí plochy $A_{Vy, i}$ přenášejících smykovou sílu V_y ;

$\sum_j W_{pl, y, j}, \sum_j W_{pl, z, j}$ součty plastických modulů průřezu k osám y, z částí plochy $A_{Vz, j}$ přenášejících smykovou sílu V_z ;

$\sum_k W_{pl, y, k}, \sum_k W_{pl, z, k}$ součty plastických modulů průřezu k osám y, z částí plochy A_k , kterým se nepřisuzuje účinnost na smyk.

D.4 Pro průřez I se dvěma osami symetrie se dovoluje alternativní výpočet podle vzorců

$$M_{Vy, Vz, y, Rd} = \varphi_{my, Vy, Vz} M_{pl, y, Rd}, \tag{D.6}$$

$$M_{Vy, Vz, z, Rd} = \varphi_{mz, Vy, Vz} M_{pl, z, Rd},$$

kde součinitelé vlivu smyku na ohybové momenty jsou

$$\varphi_{my, Vy, Vz} = \varphi_{my, Vz} \varphi_{my, Vy}; \tag{D.7}$$

$$\varphi_{mz, Vy, Vz} = \varphi_{mz, Vy}; \tag{D.8}$$

$\varphi_{my, Vz}$ se vypočte podle (6.6.7.2);

$\varphi_{mz, Vy} = \varphi_{y, Vy}$ – viz vzorec (D.2);

$$\varphi_{my, Vy} = \frac{1 + 4 \varphi_{y, Vy} a_{fw}}{1 + 4 a_{fw}}, \tag{D.9}$$

kde $a_{fw} = \frac{b t_f}{h_w t_w} \frac{h_w + t_f}{h_w} \approx \frac{A_f}{A_w}$

Příloha E (normativní)

Součinitelé vzpěrnosti χ

Tabulka E.1 – Součinitelé vzpěrnosti χ

$\bar{\lambda}$	Křivka vzpěrné pevnosti			
	a	b	c	d
	χ			
0,20	1,000	1,000	1,000	1,000
0,21	0,998	0,996	0,995	0,992
0,22	0,996	0,993	0,990	0,984
0,23	0,993	0,989	0,985	0,977
0,24	0,991	0,986	0,980	0,969
0,25	0,989	0,982	0,975	0,961
0,26	0,987	0,979	0,969	0,954
0,27	0,984	0,975	0,964	0,946
0,28	0,982	0,971	0,959	0,938
0,29	0,980	0,968	0,954	0,931
0,30	0,977	0,964	0,949	0,923
0,31	0,975	0,960	0,944	0,916
0,32	0,973	0,957	0,939	0,909
0,33	0,970	0,953	0,934	0,901
0,34	0,968	0,949	0,929	0,894
0,35	0,966	0,945	0,923	0,887
0,36	0,963	0,942	0,918	0,879
0,37	0,961	0,938	0,913	0,872
0,38	0,958	0,934	0,908	0,865
0,39	0,955	0,930	0,903	0,858
0,40	0,953	0,926	0,897	0,850
0,41	0,950	0,922	0,892	0,843
0,42	0,947	0,918	0,887	0,836
0,43	0,945	0,914	0,881	0,829
0,44	0,942	0,910	0,876	0,822
0,45	0,939	0,906	0,871	0,815
0,46	0,936	0,902	0,865	0,808
0,47	0,933	0,897	0,860	0,800
0,48	0,930	0,893	0,854	0,793
0,49	0,927	0,889	0,849	0,786
0,50	0,924	0,884	0,843	0,779
0,51	0,921	0,880	0,837	0,772
0,52	0,918	0,875	0,832	0,765
0,53	0,915	0,871	0,826	0,758
0,54	0,911	0,866	0,820	0,751
0,55	0,908	0,861	0,815	0,744
0,56	0,905	0,857	0,809	0,738
0,57	0,901	0,852	0,803	0,731
0,58	0,897	0,847	0,797	0,724
0,59	0,894	0,842	0,791	0,717
0,60	0,890	0,837	0,785	0,710
0,61	0,886	0,832	0,779	0,703
0,62	0,882	0,827	0,773	0,696
0,63	0,878	0,822	0,767	0,690
0,64	0,874	0,816	0,761	0,683
0,65	0,870	0,811	0,755	0,676

(Pokračování)

Tabulka E.1 (pokračování)

$\bar{\lambda}$	Křivka vzpěrné pevnosti			
	a	b	c	d
	χ			
0,66	0,866	0,806	0,749	0,670
0,67	0,861	0,800	0,743	0,663
0,68	0,857	0,795	0,737	0,656
0,69	0,852	0,789	0,731	0,650
0,70	0,848	0,784	0,725	0,643
0,71	0,843	0,778	0,718	0,637
0,72	0,838	0,772	0,712	0,630
0,73	0,833	0,766	0,706	0,624
0,74	0,828	0,761	0,700	0,617
0,75	0,823	0,755	0,694	0,611
0,76	0,818	0,749	0,687	0,605
0,77	0,812	0,743	0,681	0,598
0,78	0,807	0,737	0,675	0,592
0,79	0,801	0,731	0,668	0,586
0,80	0,796	0,724	0,662	0,580
0,81	0,790	0,718	0,656	0,574
0,82	0,784	0,712	0,650	0,568
0,83	0,778	0,706	0,643	0,562
0,84	0,772	0,699	0,637	0,556
0,85	0,766	0,693	0,631	0,550
0,86	0,760	0,687	0,625	0,544
0,87	0,753	0,680	0,618	0,538
0,88	0,747	0,674	0,612	0,532
0,89	0,740	0,668	0,606	0,526
0,90	0,734	0,661	0,600	0,521
0,91	0,727	0,655	0,594	0,515
0,92	0,721	0,648	0,588	0,510
0,93	0,714	0,642	0,582	0,504
0,94	0,707	0,635	0,575	0,499
0,95	0,700	0,629	0,569	0,493
0,96	0,693	0,623	0,563	0,488
0,97	0,686	0,616	0,558	0,483
0,98	0,680	0,610	0,552	0,477
0,99	0,673	0,603	0,546	0,472
1,00	0,666	0,597	0,540	0,467
1,01	0,659	0,591	0,534	0,462
1,02	0,652	0,584	0,528	0,457
1,03	0,645	0,578	0,523	0,452
1,04	0,638	0,572	0,517	0,447
1,05	0,631	0,566	0,511	0,442
1,06	0,624	0,559	0,506	0,438
1,07	0,617	0,553	0,500	0,433
1,08	0,610	0,547	0,495	0,428
1,09	0,603	0,541	0,490	0,423
1,10	0,596	0,535	0,484	0,419
1,11	0,589	0,529	0,479	0,414
1,12	0,582	0,523	0,474	0,410
1,13	0,576	0,518	0,469	0,406
1,14	0,569	0,512	0,463	0,401
1,15	0,562	0,506	0,458	0,397

(Pokračování)

Tabulka E.1 (pokračování)

\bar{z}	Křivka vzpěrné pevnosti			
	a	b	c	d
	χ			
1,16	0,556	0,500	0,453	0,393
1,17	0,549	0,495	0,448	0,388
1,18	0,543	0,489	0,443	0,384
1,19	0,536	0,484	0,439	0,380
1,20	0,530	0,478	0,434	0,376
1,21	0,524	0,473	0,429	0,372
1,22	0,518	0,467	0,424	0,368
1,23	0,511	0,462	0,420	0,364
1,24	0,505	0,457	0,415	0,361
1,25	0,499	0,452	0,411	0,357
1,26	0,493	0,447	0,406	0,353
1,27	0,487	0,442	0,402	0,349
1,28	0,482	0,437	0,397	0,346
1,29	0,476	0,432	0,393	0,342
1,30	0,470	0,427	0,389	0,339
1,31	0,465	0,422	0,385	0,335
1,32	0,459	0,417	0,380	0,332
1,33	0,454	0,413	0,376	0,328
1,34	0,448	0,408	0,372	0,325
1,35	0,443	0,404	0,368	0,321
1,36	0,438	0,399	0,364	0,318
1,37	0,433	0,395	0,361	0,315
1,38	0,428	0,390	0,357	0,312
1,39	0,423	0,386	0,353	0,309
1,40	0,418	0,382	0,349	0,306
1,41	0,413	0,378	0,346	0,302
1,42	0,408	0,373	0,342	0,299
1,43	0,404	0,369	0,338	0,296
1,44	0,399	0,365	0,335	0,293
1,45	0,394	0,361	0,331	0,291
1,46	0,390	0,357	0,328	0,288
1,47	0,385	0,354	0,324	0,285
1,48	0,381	0,350	0,321	0,282
1,49	0,377	0,346	0,318	0,279
1,50	0,372	0,342	0,315	0,277
1,51	0,368	0,339	0,311	0,274
1,52	0,364	0,335	0,308	0,271
1,53	0,360	0,331	0,305	0,269
1,54	0,356	0,328	0,302	0,266
1,55	0,352	0,324	0,299	0,263
1,56	0,348	0,321	0,296	0,261
1,57	0,344	0,318	0,293	0,258
1,58	0,341	0,314	0,290	0,256
1,59	0,337	0,311	0,287	0,254
1,60	0,333	0,308	0,284	0,251
1,61	0,330	0,305	0,281	0,249
1,62	0,326	0,302	0,279	0,247
1,63	0,323	0,299	0,276	0,244
1,64	0,319	0,295	0,273	0,242
1,65	0,316	0,292	0,271	0,240

(Pokračování)

Tabulka E.1 (dokončení)

$\bar{\lambda}$	Křivka vzpěrné pevnosti			
	a	b	c	d
	χ			
1,66	0,312	0,289	0,268	0,237
1,67	0,309	0,287	0,265	0,235
1,68	0,306	0,284	0,263	0,233
1,69	0,303	0,281	0,260	0,231
1,70	0,299	0,278	0,258	0,229
1,71	0,296	0,275	0,255	0,227
1,72	0,293	0,273	0,253	0,225
1,73	0,290	0,270	0,250	0,223
1,74	0,287	0,269	0,248	0,221
1,75	0,284	0,265	0,246	0,219
1,76	0,281	0,262	0,243	0,217
1,77	0,279	0,259	0,241	0,215
1,78	0,276	0,257	0,239	0,213
1,79	0,273	0,255	0,237	0,211
1,80	0,270	0,252	0,235	0,209
1,81	0,268	0,250	0,232	0,207
1,82	0,265	0,247	0,230	0,206
1,83	0,262	0,245	0,228	0,204
1,84	0,260	0,243	0,226	0,202
1,85	0,257	0,240	0,224	0,200
1,86	0,255	0,238	0,222	0,199
1,87	0,252	0,236	0,220	0,197
1,88	0,250	0,234	0,218	0,195
1,89	0,247	0,231	0,216	0,194
1,90	0,245	0,229	0,214	0,192
1,91	0,243	0,227	0,212	0,190
1,92	0,240	0,225	0,210	0,189
1,93	0,238	0,223	0,209	0,187
1,94	0,236	0,221	0,207	0,186
1,95	0,234	0,219	0,205	0,184
1,96	0,231	0,217	0,203	0,183
1,97	0,229	0,215	0,201	0,181
1,98	0,227	0,213	0,200	0,180
1,99	0,225	0,211	0,198	0,178
2,00	0,223	0,209	0,196	0,177

Příloha F (normativní)

Křehký lom

F.1 Maximální tloušťky materiálu konstrukčních prvků, které vyhovují z hlediska křehkého lomu, je možné určit přibližně podle tabulek F.1 až F.4.

F.2 Minimální hodnoty lomové houževnatosti materiálu K_I při provozní teplotě ocelové konstrukce T_{min} je možné určit podle tabulek F.5 až F.7.

Hodnoty v těchto tabulkách jsou vypočteny podle vzorce (162). Nejsou uváděny technicky nereálné hodnoty menší než $K_{I,min} = 50 \text{ MPa m}^{0,5}$ nebo hodnoty větší než $K_{I,max} = 250 \text{ MPa m}^{0,5}$, které jsou označeny v tabulkách značkou*).

Tabulka F.1 – Maximální tloušťky materiálu při statickém namáhání z hlediska křehkého lomu; stupeň důsledků porušení konstrukce C1

Třída oceli		KV	t_s	T_{min} v °C								
				0			-20			-30		
				Úroveň namáhání								
				S 1	S 2	S 3	S 1	S 2	S 3	S 1	S 2	S 3
J		°C	t_{max} v mm									
Fe 360	B		27	+20	87	36	—	54	—	—	43	—
	C	0		100	67	38	100	43	25	82	34	—
	D	-20		100	100	72	100	82	45	100	65	31
Fe 430	B	27	+20	59	26	—	38	—	—	31	—	—
	C		0	100	47	27	72	30	—	57	25	—
	D		-20	100	91	50	100	57	32	100	45	26
	DD		-30	100	100	69	100	79	44	100	62	35
	E		-50	100	100	100	100	100	84	100	100	66
Fe 510	B	40	+20	85	35	—	53	—	—	42	—	—
	C		0	100	67	37	100	42	—	81	34	—
	D		-20	100	100	71	100	81	45	100	63	36
	DD		-30	100	100	100	100	100	61	100	89	49
	E		-50	100	100	100	100	100	100	100	100	95

Tabulka F.2 – Maximální tloušťky materiálu při únavovém namáhání z hlediska křehkého lomu; stupeň důsledků porušení konstrukce C1

Třída oceli		KV	t_s	T_{min} v °C								
				0			-20			-30		
				Úroveň namáhání								
				S 1	S 2	S 3	S 1	S 2	S 3	S 1	S 2	S 3
J		°C	t_{max} v mm									
Fe 360	B	27	+20	30	—	—	—	—	—	—	—	—
	C		0	57	25	—	36	—	—	29	—	—
	D		-20	100	45	26	68	29	—	54	—	—
Fe 430	B	27	+20	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	C		0	40	—	—	26	—	—	—	—	—
	D		-20	75	32	—	47	—	—	38	—	—
	DD		-30	100	43	25	65	28	—	52	—	—
	E		-50	100	83	46	100	52	30	100	41	—
Fe 510	B	40	+20	30	—	—	—	—	—	—	—	—
	C		0	56	—	—	36	—	—	29	—	—
	D		-20	100	44	26	67	29	—	53	—	—
	DD		-30	100	61	34	95	39	—	74	31	—
	E		-50	100	100	64	100	74	41	100	58	33

Tabulka F.3 – Maximální tloušťky materiálu při statickém namáhání z hlediska křehkého lomu; stupeň důsledků porušení konstrukce C2

Třída oceli		KV	t_s	T_{min} v °C								
				0			-20			-30		
				Úroveň namáhání								
				S 1	S 2	S 3	S 1	S 2	S 3	S 1	S 2	S 3
J		°C	t_{max} v mm									
Fe 360	B	27	+20	53	—	—	34	—	—	28	—	—
	C		0	100	43	25	64	28	—	51	—	—
	D		-20	100	82	45	100	51	29	100	41	—
Fe 430	B	27	+20	38	—	—	—	—	—	—	—	—
	C		0	71	30	—	45	—	—	36	—	—
	D		-20	100	56	32	87	36	—	68	29	—
	DD		-30	100	78	43	100	49	28	96	39	—
	E		-50	100	100	83	100	96	52	100	74	41
Fe 510	B	40	+20	53	—	—	34	—	—	27	—	—
	C		0	100	42	—	63	27	—	50	—	—
	D		-20	100	80	44	100	50	29	98	40	—
	DD		-30	100	100	61	100	69	39	100	55	31
	E		-50	100	100	100	100	100	74	100	100	58

Tabulka F.4 – Maximální tloušťky materiálu při únavovém namáhání z hlediska křehkého lomu; stupeň důsledků porušení konstrukce C2

Třída oceli		KV	t_s	T_{min} v °C								
				0			-20			-30		
				Úroveň namáhání								
				S 1	S 2	S 3	S 1	S 2	S 3	S 1	S 2	S 3
J		°C	t_{max} v mm									
Fe 360	B	27	+20	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	C		0	36	–	–	–	–	–	–	–	–
	D		-20	68	29	–	43	–	–	34	–	–
Fe 430	B	27	+20	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	C		0	26	–	–	–	–	–	–	–	–
	D		-20	47	–	–	30	–	–	25	–	–
	DD		-30	65	28	–	41	–	–	33	–	–
	E		-50	100	52	29	79	33	–	62	27	–
Fe 510	B	40	+20	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	C		0	35	–	–	–	–	–	–	–	–
	D		-20	67	29	–	42	–	–	34	–	–
	DD		-30	94	39	–	58	25	–	46	–	–
	E		-50	100	73	41	100	46	26	89	37	–

Tabulka F.5 – Minimální hodnoty lomové houževnatosti K_I ocelí Fe 360 při provozní teplotě ocelové konstrukce T_{min}

k_C	k_F	k_S	Tloušťka t v mm				
			do 25	40	60	80	100
			K_I v MPa m ^{0,5}				
1,0	1,0	1,2	50*)	50*)	50*)	57	62
		2,0	50*)	62	74	84	91
		3,0	64	80	96	108	118
	2,5	1,2	54	67	80	90	98
		2,0	79	98	117	132	144
		3,0	101	126	151	170	186
1,5	1,0	1,2	50*)	52	62	70	76
		2,0	61	76	91	102	112
		3,0	78	98	117	132	144
	2,5	1,2	66	82	98	110	121
		2,0	96	120	143	162	177
		3,0	124	154	185	209	228

Tabulka F.6 – Minimální hodnoty lomové houževnatosti K_I ocelí Fe 430 při provozní teplotě ocelové konstrukce T_{min}

k_C	k_F	k_S	Tloušťka t v mm				
			do 25	40	60	80	100
			K_I v MPa m ^{0,5}				
1,0	1,0	1,2	50*)	50*)	59	67	73
		2,0	58	72	87	98	107
		3,0	75	94	112	126	138
	2,5	1,2	63	78	94	106	115
		2,0	92	114	137	154	169
		3,0	118	148	177	199	218
1,5	1,0	1,2	50*)	60	72	82	89
		2,0	71	88	106	120	131
		3,0	92	114	137	154	169
	2,5	1,2	77	96	115	129	141
		2,0	113	140	168	189	207
		3,0	145	181	216	244	250

Tabulka F.7 – Minimální hodnoty lomové houževnatosti K_I ocelí Fe 510 při provozní teplotě ocelové konstrukce T_{min}

k_C	k_F	k_S	Tloušťka t v mm				
			do 25	40	60	80	100
			K_I v MPa m ^{0,5}				
1,0	1,0	1,2	51	64	76	86	94
		2,0	75	93	112	126	138
		3,0	97	120	144	163	178
	2,5	1,2	81	101	121	136	149
		2,0	119	148	177	199	218
		3,0	153	190	228	250*)	250*)
1,5	1,0	1,2	63	78	94	106	115
		2,0	92	114	137	154	169
		3,0	119	148	177	199	218
	2,5	1,2	99	123	148	167	182
		2,0	145	181	216	244	250*)
		3,0	188	233	250*)	250*)	250*)

Příloha G (normativní)

Pruty namáhané kroucením

G.1 Prut otevřeného průřezu

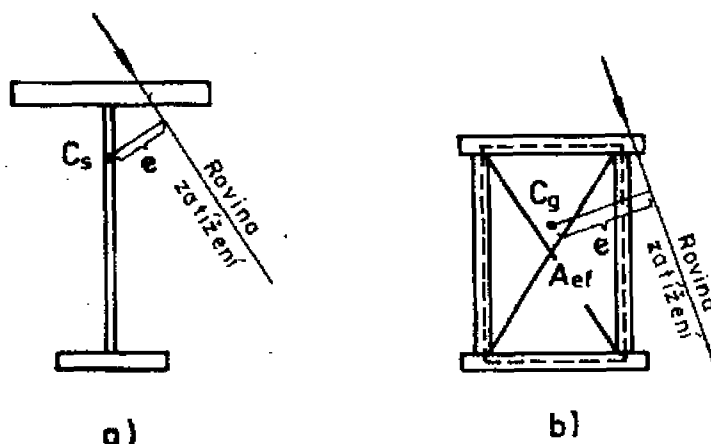
G.1.1 Působí-li na prut otevřeného průřezu podle obrázku G.1a) příčné zatížení v rovině, jejíž vzdálenost od osy středů smyku C_s je e , stanoví se normálová a smyková napětí od kroucení podle vzorců

$$\sigma_\omega = \frac{B_{sd}}{I_\omega} \omega, \tag{G.1}$$

$$\tau_t = \frac{T_{t,sd}}{I_t} t, \tag{G.2}$$

$$\tau_\omega = \frac{T_{\omega,sd} S_\omega}{I_\omega t}, \tag{G.3}$$

kde B_{sd} , $T_{t,sd}$, $T_{\omega,sd}$ jsou složky vnitřních sil kroucení podle rovnic (G.4) až (G.6);
 ω hlavní výsečová pořadnice posuzovaného místa;
 I_ω výsečový moment setrvačnosti ke středu ohybu;
 t tloušťka průřezu v posuzovaném místě;
 I_t moment tuhosti v prostém kroucení;
 S_ω výsečový moment pro posuzované místo.



Obrázek G.1 – Zatížení prutu kroucením

G.1.2 Složky vnitřních sil kroucení průřezu lze brát:

$$B_{sd} = M_{sd} e (1 - \chi), \tag{G.4}$$

$$T_{t,sd} = V_{sd} e \chi, \tag{G.5}$$

$$T_{\omega,sd} = V_{sd} e (1 - \chi), \tag{G.6}$$

kde M_{sd} , V_{sd} jsou výpočtový ohybový moment a výpočtová posouvající síla v průřezu, stanovené pro podmínky uložení v ohybu, analogické podepření prutu v kroucení;

χ součinitel vlivu tuhosti prutu v prostém a ohybovém kroucení, který závisí na parametru

$$\psi L = L \sqrt{\frac{GI_t}{EI_w}} = 0,62 L \sqrt{\frac{I_t}{I_w}} \quad (G.7)$$

Přibližně lze brát

$$\chi = \frac{1}{\beta + \left(\frac{\alpha}{\psi L}\right)^2}, \quad (G.8)$$

kde L je délka prutu;

α, β jsou součinitelé podmínek uložení a zatížení prutu podle tabulky G.1.

Pro zatížení s různými excentricitami e lze užít princip superpozice.

Tabulka G.1 – Součinitelé α, β

Uložení v kroucení		Krouťící zatížení		α	β
oboustranné podepření	kloubové (volná deplanace)	plně rovnoměrné		3,1	1,00
		obecné		3,7	1,08
	vetknutí (nulová deplanace)	plně rovnoměrné	max. v podpoře	8,0	1,25
			max. v poli	5,6	1,00
		obecné		6,9	1,14
jednostranné podepření (konzola)	vetknutí	obecné, max. v podpoře		2,7	1,11

G.2 Prut uzavřeného průřezu

G.2.1 Je-li prut uzavřeného průřezu podle obrázku G.1b) příčně zatížen v rovině, jejíž vzdálenost od těžiště průřezu C_g je e , lze počítat smykové napětí od kroucení podle vzorce

$$\tau_t = \frac{V_{sd} e}{2 A_{ef} t}, \quad (G.9)$$

kde t je tloušťka v posuzovaném místě;

A_{ef} plocha uzavřená střednicí průřezu;

V_{sd} výpočtová posouvající síla.

Příloha H (normativní)

Kritické štíhlosti prutů při klopení

H.1 Kritická štíhlost prutu při klopení je

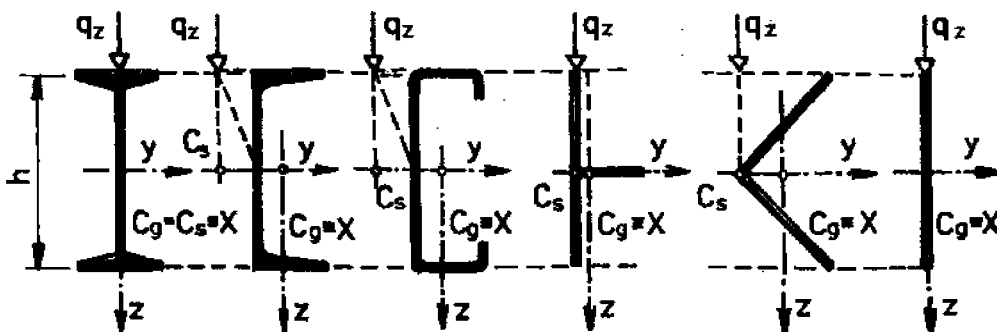
$$\lambda = \pi \sqrt{E/\sigma_{cr}}, \quad (\text{H.1})$$

kde σ_{cr} je kritické napětí prutu při ohybu.

H.2 Kritickou štíhlost λ prutu s průřezem alespoň jednoose souměrným podle obrázku H.1, zatíženým kolmo k ose symetrie $y - y$, je možné určit podle výrazu

$$\lambda = \gamma \frac{2 L_z}{h} \sqrt{\frac{I_y}{I_z}}, \quad (\text{H.2})$$

kde L_z je vzpěrná délka prutu mezi podporovými průřezy, zabezpečenými proti vybočení z roviny ohybu;
 h teoretická výška prutu.



Obrázek H.1 – Průřezy prutů při klopení

Součinitel vlivu uložení, zatížení a tuhosti prutu γ lze určit podle výrazu

$$\gamma = \sqrt{\frac{1,0}{x_1 \left[\frac{2 e_z}{h} + \sqrt{\left(\frac{2 e_z}{h} \right)^2 + x_2 d_{zw}} \right]}}, \quad (\text{H.3})$$

kde e_z je souřadnice působíště příčného zatížení;

$$d_{zw} = \delta^2 \left(\frac{L_z}{L_w} \right)^2 + \frac{4}{\pi^2} \alpha_t^2 \quad (\text{H.4})$$

je parametr tuhosti průřezu při klopení;

$$\alpha_t = 0,62 \frac{L_z}{h} \sqrt{\frac{I_t}{I_z}} \quad (\text{H.5})$$

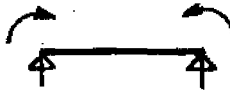


je parametr kroucení;

$$\delta = \frac{2}{h} \sqrt{\frac{I_w}{I_z}} \quad (\text{H.6})$$

je parametr deplanace.

Součinitelé α_1, α_2 jsou pro základní typy zatížení a příslušné vzpěrné délky v ohybu ($L_z = k_z L$) a kroucení ($L_\omega = k_\omega L$) v tabulce H.1. Okrajové podmínky jsou označeny symboly K (kloubové podepření) a V (vetknutí).

Tabulka H.1 – Součinitelé α_1, α_2

Schéma zatížení	Uložení			$k_z = L_z/L$	$k_\omega = L_\omega/L$	α_1	α_2
	ohyb v rovině		kroucení				
	zx	yx					
	K	K	K	1,0	1,0	1,00	1,00
	K	K	V	1,0	0,5	1,33	0,75
	K	V	V	0,5	0,5	1,00	1,00
	K	K	K	1,0	1,0	0,53	4,68
	K	K	V	1,0	0,5	0,52	6,33
	K	V	V	0,5	0,5	0,29	11,29
	V	V	V	0,5	0,5	1,61	1,36
	K	K	K	1,0	1,0	0,76	3,26
	K	K	V	1,0	0,5	0,87	2,83
	K	V	V	0,5	0,5	0,50	4,99
	V	V	V	0,5	0,5	1,23	1,00

H.3 Kritická štíhlost λ vetknuté konzoly dvouose symetrického průřezu se určí z výrazu (H.3) se součinitelem γ podle tabulky H.2 v závislosti na parametru kroucení α , podle vzorce (H.5). Vzpěrná délka konzoly se bere jako dvojnásobek jejího vyložení ($L_z = 2 L$).

Tabulka H.2 – Součinitel γ pro konzolu

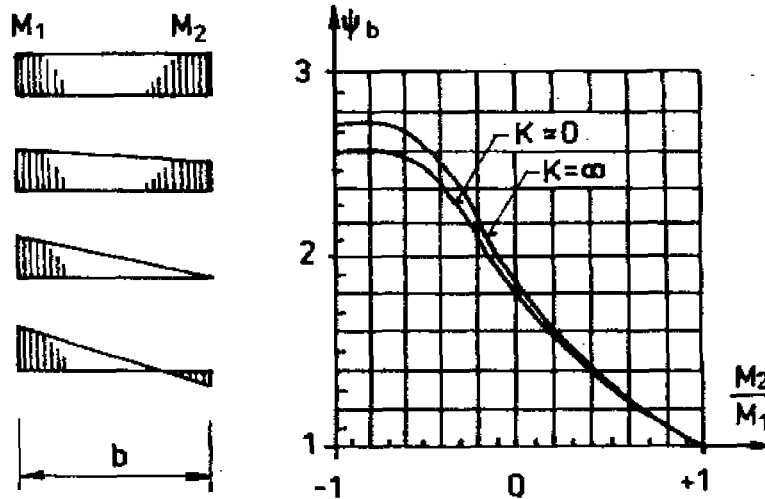
Zatížení	Prostý ohyb	Rovnoměrné zatížení			Osamělé břemeno				
		na taženém pásu	v neutrální osc	na tlačném pásu	na taženém pásu	v neutrální ose	na tlačném pásu		
α_1	γ	0	0,84	0,64	0,31	0,19	0,92	0,45	0,29
		0,5	0,82	0,62	0,30	0,19	0,88	0,42	0,29
		1	0,78	0,55	0,28	0,19	0,78	0,40	0,29
		1,5	0,72	0,49	0,26	0,19	0,68	0,38	0,29
		2	0,68	0,43	0,25	0,19	0,59	0,36	0,28
		3	0,59	0,36	0,23	0,19	0,47	0,32	0,27
		4	0,54	0,30	0,22	0,18	0,40	0,30	0,26
		5	0,51	0,27	0,21	0,18	0,35	0,28	0,26
		6	0,48	0,25	0,20	0,18	0,31	0,26	0,25
		8	0,43	0,21	0,18	0,17	0,27	0,24	0,23
		10	0,39	0,19	0,17	0,16	0,24	0,22	0,21
15	0,32	0,16	0,15	0,15	0,20	0,20	0,19		

H.4 Kritickou štíhlost prutového úseku o volné délce b , který je dvouose symetrického průřezu s lineárním průběhem ohybového momentu a s prostým podepřením pro ohyb i kroucení v koncových průřezích úseku, lze určit podle vzorce

$$\lambda_b = \frac{\lambda}{\sqrt{\psi_b}}, \tag{H.7}$$

kde λ je kritická štíhlost prutu volné délky $L_z = b$ při působení konstantního ohybového momentu;
 ψ_b opravný součinitel podle obrázku H.2, závislý na poměru M_2/M_1 (pro $M_1 > 0$, $M_1 \geq M_2$) a parametru tuhosti prutu K ;

$$K = (\pi/L_z) \sqrt{EI_o/GI_t}. \tag{H.8}$$



Obrázek H.2 – Opravný součinitel ψ_b

H.5 Po vysoké svařované nebo nýtované pruty má být kritická štíhlost λ při klopení podle H.2 až H.4 menší než kritická štíhlost pásu

$$\lambda = \frac{\alpha_M a}{i_1}, \tag{H.9}$$

kde a je vzdálenost příčných výztuh v oboru největšího momentu;
 α_M součinitel vzpěrné délky při klopení podle obrázku H.3 pro $L_{z1} = a$;
 i_1 poloměr setrvačnosti konvenčního tlaceného pásu, složeného z pásnice a jedné pětiny přilehlé části stojiny, z roviny ohybu.

Nosník

Tvar momentové plochy					
α_M	1,0	0,94	0,86	0,75	0,50

Konzola

Tvar momentové plochy			
α_M	1,0	0,86	0,65

Obrázek H.3 – Součinitel vzpěrné délky při klopení α_M

H.6 Kritickou štíhlost λ prutu jednoose symetrického průřezu podle obrázku H.4, zatíženého v rovině symetrické, lze vypočítat z výrazu

$$\lambda = \gamma \frac{x_M L_{z1}}{i_{z1}}, \tag{H.10}$$

kde L_{z1} je vzdálenost bodů tlačného pásu, zajištěných proti vybočení z roviny ohybu;
 x_M součinitel vzpěrné délky při klopení podle obrázku H.3.

Poloměr setrvačnosti tlačného pásu i_{z1} ve vzorci (H.10) je

$$i_{z1} = \sqrt{\frac{I_z}{I_y} z_1 a_i},$$

kde z_1 je vzdálenost těžiště tlačné pásnice od těžiště průřezu;
 a_i větší ze vzdáleností a_1, a_2 podle obrázku H.4.

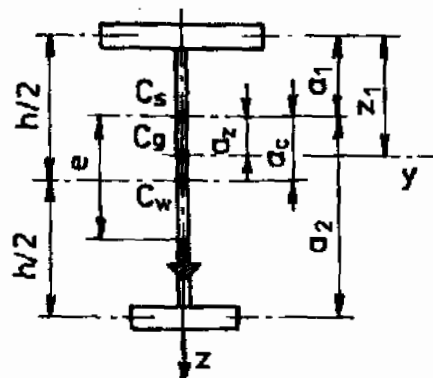
Součinitel štíhlosti při klopení prutu ve vzorci (H.10) je

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{x \frac{a_c + e}{a_i} + \sqrt{x \left(\frac{a_c + e}{a_i} \right)^2 + \left(\frac{C}{a_i} \right)^2}}}, \tag{H.11}$$

kde a_c je vzdálenost středu stojiny od středu smyku C_s , která je kladná, je-li tlačena silnější pás;
 e vzdálenost působíště zatížení od středu smyku, která je kladná, působí-li zatížení na tažené straně. Při působení jen koncových momentů je $e = 0$;
 $x = 1$ pro prut namáhaný jen koncovými momenty;
 $x = 0,5$ pro prut příčně zatížený;

$$C = \frac{h}{2} \sqrt{\frac{I_w}{I_z} \left(\frac{2}{h} \right)^2 \left(\frac{L_{z1}}{L_w} \right)^2 + \left(\frac{2\alpha_1}{\pi} \right)^2}; \tag{H.12}$$

α_1 parametr kroucení podle vzorce (H.5) pro $L_z = L_{z1}$.



Obrázek H.4 – Jednoose symetrický průřez zatížený v rovině symetrie

Pro pruty s průřezy I ($\psi = 0$) a T ($\psi = 1$) lze součinitele štíhlosti při klopení určit podle tabulky H.3.

Pro mezilehlé průřezy je možné interpolovat podle vzorce

$$\gamma = \gamma_0 + \psi(\gamma_1 - \gamma_0), \tag{H.13}$$

kde γ_0, γ_1 jsou hodnoty z tabulky H.3 pro $\psi = 0$, popř. $\psi = 1$,

$$\psi = \frac{I_1 - I_2}{I_1 + I_2} \text{ je parametr nesymetrie,} \tag{H.14}$$

I_1, I_2 jsou momenty setrvačnosti tlačného a taženého pásu k ose z.

Pro průřezy \perp ($\psi = -1$) lze brát hodnotu


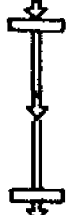
$$\gamma_{-1} = \frac{\pi}{\gamma_1 \alpha_t}, \tag{H.15}$$

Pro $0 > \psi > -1$ je možné interpolovat podle vzorce

$$\gamma = \gamma_0 + |\psi|(\gamma_{-1} - \gamma_0), \tag{H.16}$$

ale jen pokud $\alpha_t \geq 2$. V případech, kdy $\alpha_t < 2$, je potřebné počítat podle vzorce (H.11), přičemž γ_t je hodnota z tabulky H.3 pro průřez T ($\psi = 1$).

Tabulka H.3 – Součinitelé štíhlosti γ při klopení pro průřezy I, T

Tvar, zatížení a uložení průřezu		α_t									
		0	1	2	3	4	6	10	15	>15	
	$\psi = 1$	1)	1,00	0,95	0,87	0,79	0,73	0,63	0,52	$\sqrt{\frac{\pi}{\alpha_t}}$	
		2)	1,41	1,24	1,03	0,90	0,80	0,68	0,54		
			0,82	0,80	0,76	0,71	0,67	0,60	0,50		0,44
	$\psi = 0$	KK ³⁾	1,27	1,13	0,91	0,76	0,66	0,53	0,41	$\sqrt{\frac{\pi}{2\alpha_t}}$	
		KV ⁴⁾	0,80	0,78	0,72	0,66	0,60	0,51	0,40		
		KK ³⁾	1,00	0,92	0,78	0,68	0,60	0,50			
		KV ⁴⁾	0,71	0,69	0,65	0,60	0,55	0,48	0,39		0,32
		KK ³⁾	0,78	0,75	0,67	0,61	0,55	0,48	0,38		
		KV ⁴⁾	0,62	0,61	0,58	0,55	0,51	0,45	0,37		0,31

1) Platí pro nosník zatížený koncovými momenty.
 2) Platí pro nosník příčně zatížený.
 3) KK je kloubové uložení pro vybočení i zkroucení (volná deplanace).
 4) KV je kloubové uložení pro vybočení, vektnutí pro zkroucení (nulová deplanace).

Příloha J (informativní)

Součinitelé φ_f pro výpočet smykové únosnosti stojin

Tabulka J.1 – Hodnoty součinitele φ_f pro výpočet smykové únosnosti stojin nosníků z oceli Fe 360

β	$\alpha = a/d$						
	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,50	3,00
	φ_f						
70	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
75	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,039	0,092
80	0,000	0,000	0,000	0,060	0,134	0,157	0,155
85	0,000	0,000	0,083	0,191	0,208	0,200	0,184
90	0,000	0,051	0,222	0,248	0,247	0,226	0,202
95	0,000	0,219	0,279	0,284	0,273	0,243	0,214
100	0,000	0,290	0,316	0,308	0,292	0,256	0,224
110	0,304	0,368	0,363	0,347	0,318	0,274	0,237
120	0,394	0,413	0,393	0,364	0,335	0,286	0,246
130	0,449	0,443	0,413	0,379	0,346	0,300	0,252
140	0,487	0,466	0,428	0,390	0,355	0,300	0,256
150	0,514	0,483	0,440	0,398	0,362	0,305	0,260
160	0,535	0,495	0,448	0,404	0,367	0,308	0,262
170	0,552	0,505	0,455	0,410	0,371	0,311	0,264
180	0,565	0,513	0,461	0,414	0,374	0,312	0,266
190	0,576	0,520	0,466	0,418	0,377	0,316	0,267
200	0,585	0,526	0,470	0,420	0,379	0,317	0,268

Tabulka J.2 – Hodnoty součinitele φ_f pro výpočet smykové únosnosti stojin nosníků z oceli Fe 430

β	$\alpha = a/d$						
	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,50	3,00
	φ_f						
70	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,049	0,106
75	0,000	0,000	0,000	0,093	0,157	0,169	0,163
80	0,000	0,028	0,153	0,212	0,222	0,209	0,190
85	0,000	0,140	0,248	0,263	0,259	0,233	0,207
90	0,000	0,256	0,298	0,296	0,283	0,250	0,219
95	0,172	0,316	0,331	0,319	0,301	0,262	0,228
100	0,280	0,358	0,361	0,331	0,311	0,273	0,235
110	0,387	0,409	0,390	0,362	0,333	0,285	0,245
120	0,448	0,444	0,413	0,379	0,346	0,289	0,252
130	0,489	0,469	0,429	0,380	0,356	0,301	0,257
140	0,518	0,484	0,440	0,399	0,362	0,305	0,260
150	0,539	0,497	0,450	0,406	0,368	0,309	0,263
160	0,556	0,508	0,458	0,412	0,372	0,312	0,265
170	0,570	0,516	0,463	0,416	0,375	0,314	0,267
180	0,581	0,522	0,467	0,419	0,378	0,316	0,268
190	0,590	0,528	0,472	0,422	0,380	0,318	0,269
200	0,597	0,534	0,475	0,424	0,382	0,320	0,270

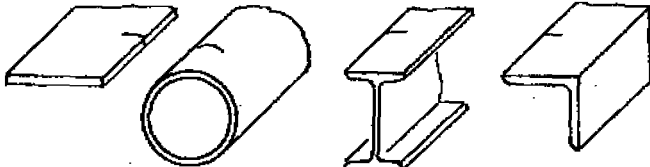
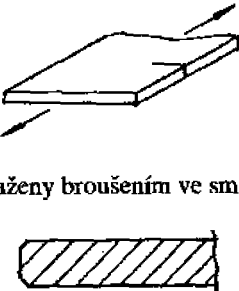

Tabulka J.3 – Hodnoty součinitele φ_f pro výpočet smykové únosnosti stojin nosníků z oceli Fe 510

β	$\alpha = a/d$						
	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,50	3,00
	φ_f						
70	0,000	0,022	0,137	0,206	0,218	0,206	0,188
75	0,000	0,149	0,250	0,265	0,260	0,234	0,208
80	0,000	0,270	0,304	0,301	0,286	0,252	0,221
85	0,215	0,326	0,340	0,326	0,305	0,265	0,231
90	0,311	0,370	0,365	0,344	0,319	0,275	0,238
95	0,370	0,401	0,384	0,358	0,330	0,282	0,243
100	0,413	0,423	0,399	0,368	0,339	0,288	0,248
110	0,470	0,456	0,422	0,385	0,351	0,298	0,254
120	0,508	0,479	0,437	0,396	0,360	0,304	0,259
130	0,535	0,494	0,448	0,404	0,367	0,308	0,262
140	0,555	0,507	0,462	0,411	0,371	0,312	0,265
150	0,570	0,517	0,463	0,416	0,375	0,314	0,267
160	0,582	0,524	0,468	0,419	0,378	0,317	0,268
170	0,592	0,530	0,472	0,422	0,381	0,319	0,269
180	0,600	0,536	0,476	0,426	0,383	0,321	0,270
190	0,607	0,539	0,479	0,428	0,384	0,322	0,271
200	0,613	0,543	0,482	0,430	0,386	0,322	0,272

Příloha K (normativní)

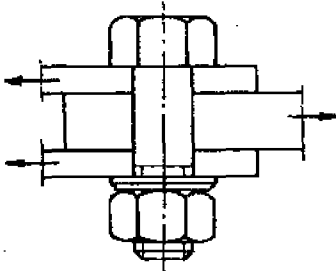

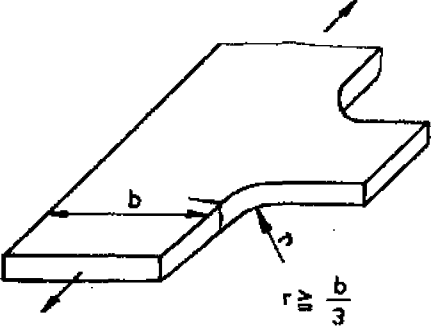
Klasifikační tabulky konstrukčních detailů pro výpočet na únavu

Tabulka K.1 – Nesvařované detaily

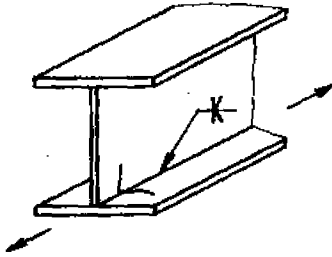
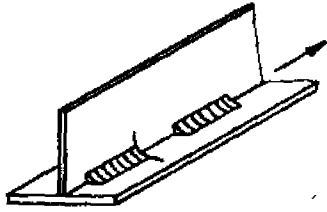
Čís. detailu	Kategorie detailu	Popis detailu a požadavky na provedení
1	160	<p>Popis: Válcované a tvarované výrobky s přirozenými hranami po válcování.</p>  <p>Požadavky: Vrypky, vruby a válcovací chyby odstraněny broušením ve směru namáhání. Maximální místní zeslabení do 5 %.</p>
2	160	<p>Popis: Plechy se strojně opracovanými hranami.</p>  <p>Požadavky: Rohy hran sraženy broušením ve směru namáhání.</p>
3	140	<p>Popis: Plechy s hranami strojně řezanými kyslíkem. Požadavky: Viditelné nerovnosti opracovány broušením ve směru namáhání.</p>
4A	125	<p>Popis: Plechy s hranami ručně řezanými kyslíkem. Požadavky: Všechny stopy po řezání obroušeny až na čistý kov. Hrubé nerovnosti nesmí být opracovány vyvařením.</p>
4B	90	<p>Popis: Viz detail 4A. Požadavky: Jakost povrchu B podle ČSN 05 3401. Větší nerovnosti obroušeny.</p>
5	90	<p>Popis: Plechy se stříhanými nebo mechanicky řezanými hranami. Požadavky: Otřep nebo ostří stříhané hrany sraženy broušením. Drsnost povrchu řezané hrany B podle ČSN 05 3401.</p>
6	112	<p>Popis: Vrtané díry – prázdné nebo vyplněné šrouby nebo nýty ve stycích.</p>  <p>Požadavky: Ve výpočtu se uvažuje oslabený průřez, který odpovídá použitému druhu spoje (nýťový, šroubový, třecí). Uvažuje se vliv excentricity u jednostranných spojů.</p>

(Pokračování)

Tabulka K.1 (dokončení)

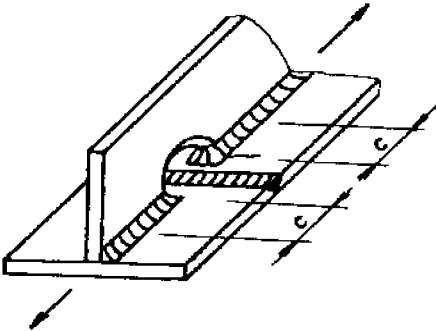
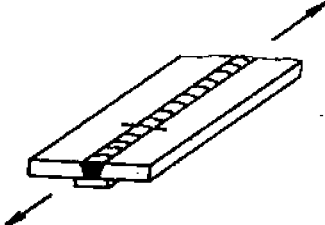
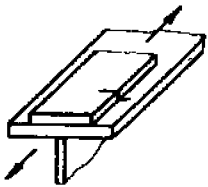
Čís. detailu	Kategorie detailu	Popis detailu a požadavky na provedení
7A	100	<p>Popis: Šrouby v jednostřížných a dvojtřížných spojích namáhané ve smyku.</p>  <p>Požadavky: Závit nesmí zasahovat do střížné roviny. Šrouby musí vyhovět na otláčení.</p>
7B	36	<p>Popis: Šrouby a svorníky namáhané na tah.</p> 
8	100	<p>Popis: Základní materiál ve smyku.</p>
9	125	<p>Popis: Tvarové styčníky pálené z plechů.</p>  <p>Požadavky: Strojně řezáno kyslíkem, požadavky jako u detailu 3A.</p>

Tabulka K.2 – Svařované detaily s podélnými svary

Čís. detailu	Kategorie detailu	Popis detailu a požadavky na provedení	Klasifikace svaru ¹⁾
10A	125	<p>Popis: Nepřerušované krční svary.</p>  <p>Požadavky: Oboustranné tupé svary provedené automaticky. Nejsou povoleny vady začátku a konce svaru kromě řádně provedených a kontrolovaných oprav.</p>	B
10B	140	<p>Popis: Viz detail 10A. Požadavky: Oboustranné tupé svary provedené automaticky s doplňujícími koutovými svary. Nejsou povoleny vady začátku a konce svaru kromě řádně provedených a kontrolovaných oprav.</p>	B
10C	112	<p>Popis: Viz detail 10A. Požadavky: a) Oboustranné tupé svary podle detailu 10A, 10B, které však obsahují vady začátku a konce svaru; b) oboustranné koutové svary ruční nebo automaticky, u kterých nejsou povoleny vady začátku a konce svaru kromě řádně provedených a kontrolovaných oprav.</p>	B
10D	100	<p>Popis: Viz detail 10A. Požadavky: a) Oboustranné koutové svary, které však obsahují vady začátku a konce svaru; b) oboustranné tupé i koutové svary, obsahující jiné vady než jsou vady začátku a konce svaru; c) jednostranné tupé svary, provedené ručně nebo automaticky, u kterých je správným slícováním hran docílen dobrý a souvislý průvar kořene.</p>	B
10E	80	<p>Popis: Viz detail 10A. Požadavky: Oboustranné tupé nebo koutové svary, pokud není zajištěno dobré a souvislé provaření kořene.</p>	C
11	80	<p>Popis: Koutové svary, namáhané ve smyku.</p>	C
12	56	<p>Popis: Stehové koutové svary, spínací koutové svary.</p>  <p>Požadavky: V začátcích a koncích svarů nesmí být trhliny.</p>	C

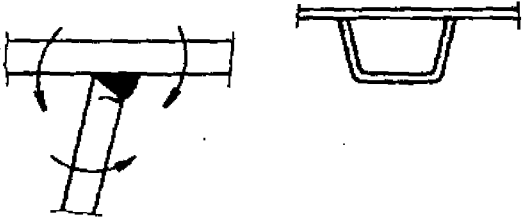
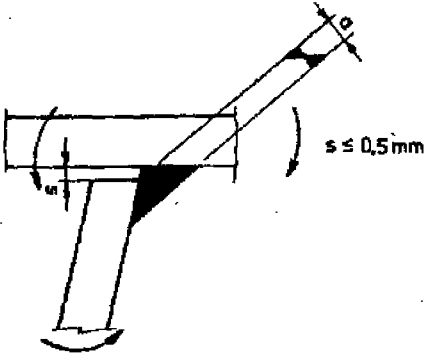
(Pokračování)

Tabulka K.2 (pokračování)

Čís. detailu	Kategorie detailu	Popis detailu a požadavky na provedení	Klasifikace svaru ¹⁾
13	71	<p>Popis: Konce svaru ve výřezu stojiny pro provedení příčného svaru pásnice.</p>  <p>Požadavky: a) $c > 5t$, kde t je tloušťka stěny; b) v úseku c jsou tupé svary doplněny koutovými. V přechodu svaru nesmí být trhlinky.</p>	<p>úsek $c \Rightarrow B$ jinde $\Rightarrow C$</p>
14	71	<p>Popis: Podélný svar na trvalé ocelové podložce.</p>  <p>Požadavky: Stehy pro připojení podložky nesmí mít trhlinky. Není-li možná kontrola, užije se kategorie 56. Při připojení podložky průběžným svarem nebo stehy ze strany budoucího svaru a neobsahují-li svary vady začátku a konce svaru, užije se kategorie 100.</p>	C
15A	125	<p>Popis: Složené pásnice.</p>  <p>Požadavky: Automatové koutové svary neobsahující vady začátku a konce svaru kromě odborně provedených a kontrolovaných oprav.</p>	B
15B	112	<p>Popis: Viz detail 15A. Požadavky: Nejsou-li splněny požadavky pro detail 15A.</p>	B

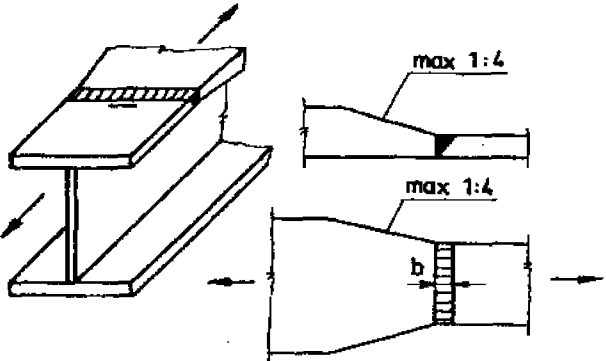
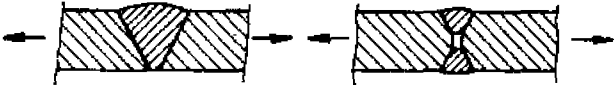
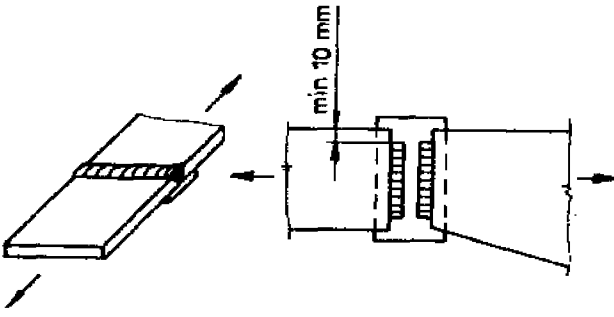
(Pokračování)

Tabulka K.2 (dokončení)

Čís. detailu	Kategorie detailu	Popis detailu a požadavky na provedení	Klasifikace svaru ¹⁾
16A	71	<p>Popis: Připojení lichoběžníkových výztuh k desce tupým svarem s dobře provařeným kořenem.</p>  <p>Požadavky: Rozkmit ohybových napětí se počítá s uvážením tloušťky výztuhy.</p>	C
16B	50	<p>Popis: Připojení lichoběžníkových výztuh k desce koutovým svarem.</p>  <p>Požadavky: Rozkmit ohybových napětí se počítá s uvážením nosného rozměru koutového svaru.</p>	C

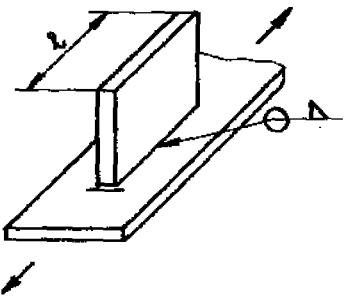
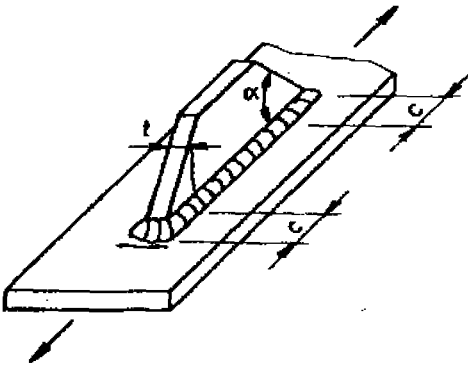
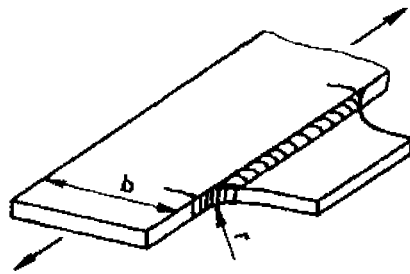
¹⁾ Stupně jakosti provedení svaru B, C podle ISO 5817.

Tabulka K.3 – Svařované detaily s příčnými tupými svary

Čís. detailu	Kategorie detailu	Popis detailu a požadavky na provedení	Klasifikace svaru ¹⁾
17A	125	<p>Popis: Příčné styky plechů a nosníků tupými svary.</p>  <p>Požadavky: Příčné tupé svary provedeny před sestavením nosníku. Svary oboustranné nebo podložené. Povrch svaru včetně přechodů opracován do roviny plechu. Stopy po opracování pouze rovnoběžné se směrem namáhání.</p>	B
17B	100	<p>Popis a požadavky: Jako u detailu 17A, ale s neopracovanými svary s převýšením maximálně 10 % šířky svaru. Přechod bez zápalů.</p>	B
17C	90	<p>Popis a požadavky: Jako u detailu 17A.</p>	C
17D	80	<p>Popis a požadavky: Jako u detailu 17A, ale s převýšením svaru maximálně 20 % šířky svaru.</p>	C
18	36	<p>Popis: Jednostranné tupé svary bez podložení. Oboustranné tupé svary s částečným závarem.</p> 	C
19A	71	<p>Popis: Příčné tupé svary na trvalé ocelové podložce.</p>  <p>Požadavky: Podložka musí být připojena ze strany budoucího svaru. Konce připevňovacích svarů jsou minimálně 10 mm od okraje pásnice. Je zabezpečeno dobré slícování obou plechů s podložkou.</p>	C
19B	50	<p>Popis: Viz detail 19A. Požadavky: Pokud nejsou splněny požadavky pro detail 19A.</p>	C

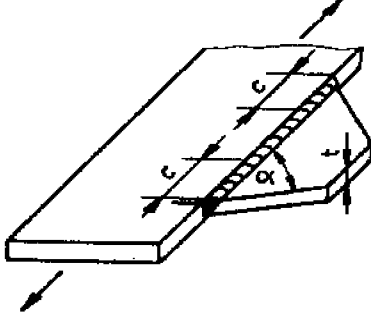
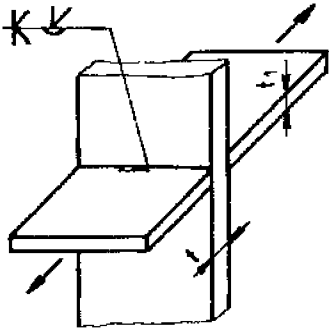
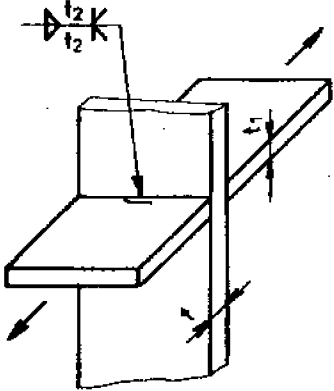
¹⁾ Stupně jakosti provedení svaru B, C podle ISO 5817.

Tabulka K.4 – Svařované detaily a přípoje

Čís. detailu	Kategorie detailu	Popis detailu a požadavky na provedení	Klasifikace svaru ¹⁾
20A	80	<p>Popis: Podélně připojený prvek. Délka prvku $l < 50$ mm.</p>  <p>Požadavky: Koutový svar po celém obvodu. V koncích svaru nesmí být trhlinky.</p>	C
20B	71	<p>Popis: Viz detail 20A. Délka prvku $l < 100$ mm. Požadavky: Viz detail 20A.</p>	C
20C	50	<p>Popis: Viz detail 20A. Délka prvku $l \geq 100$ mm. Požadavky: Viz detail 20A.</p>	C
21	80	<p>Popis: Podélně připojený prvek s bezvrubou úpravou.</p>  <p style="text-align: right;">$c \geq 6t$ $\alpha \leq 45^\circ$</p> <p>Požadavky: Na čele prvku a v úsecích c je tupý svar s krycími koutovými svary s bezvrubě opracovaným povrchem. Ve střední části jsou koutové svary s plynulým přechodem.</p>	C
22A	90	<p>Popis: Styčnickové plechy přivařené tupým svarem. Poloměr zaoblení $r > b/3$,</p>  <p>Požadavky: Zaoblení je vytvořeno předem strojně nebo strojním řezáním kyslíkem. Svar je pečlivě vybroušen s plynulým přechodem do pásnice. Stopy po broušení pouze ve směru rovnoběžném s hranou pásnice.</p>	C
22B	71	<p>Popis: Viz detail 22A. Poloměr zaoblení $b/6 \leq r \leq b/3$ Požadavky: Viz detail 22A.</p>	C

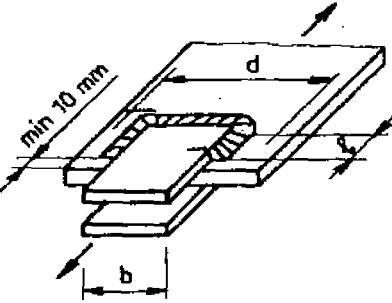
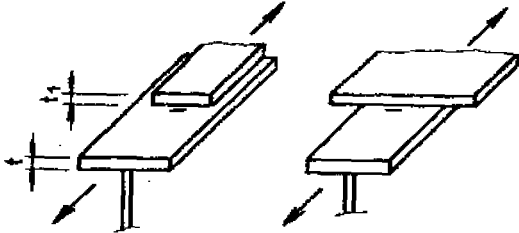
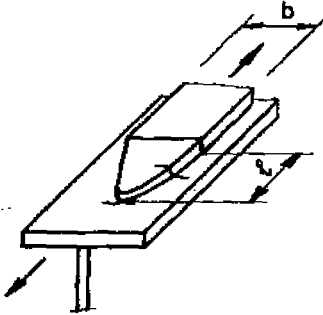
(Pokračování)

Tabulka K.4 (pokračování)

Čís. detailu	Kategorie detailu	Popis detailu a požadavky na provedení	Klasifikace svaru ¹⁾
22C	45	<p>Popis: Viz detail 22A. Poloměr zaoblení $r < b/6$. Požadavky: Viz detail 22A.</p>	C
23	90	<p>Popis: Styčnickové plechy s bezvrubou úpravou.</p>  <p style="text-align: right;">$c \approx 5t$ $\alpha \approx 45^\circ$</p> <p>Požadavky: Dobře provařený tupý svar. Na čele a v úsecích c je povrch svaru obroušen s plynulým přechodem do základního materiálu.</p>	<p>úsek $c \Rightarrow$ B jinde \Rightarrow C</p>
24	71	<p>Popis: Křížový spoj s tupým svarem.</p>  <p style="text-align: right;">$t_1 \leq t$</p> <p>Požadavky: Tupý svar podložený nebo oboustranný s plným průvarem. Přesazení maximálně 15 % tloušťky středního plechu.</p>	C
25A	36	<p>Popis: Křížový spoj s koutovými svary nebo tupými svary s částečným závarem.</p>  <p style="text-align: right;">$t_2 < t_1/2$</p> <p>Platnost: Pro normálové napětí ve svaru.</p>	C
25B	80	<p>Popis: Viz detail 25A. Platnost: Pro posouzení svarů na smyk.</p>	C

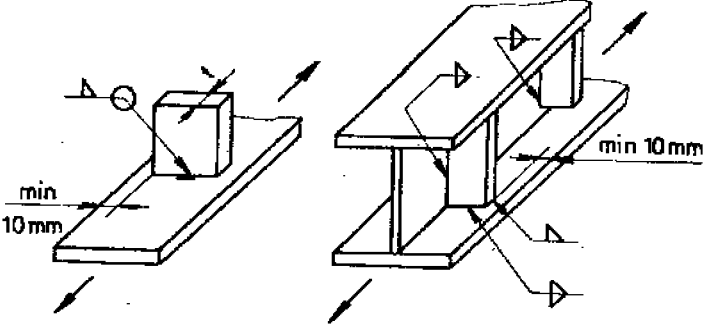
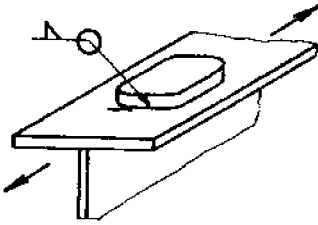
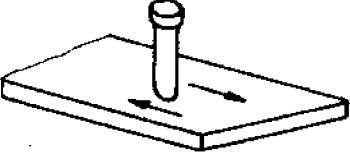
(Pokračování)

Tabulka K.4 (pokračování)

Čís. detailu	Kategorie detailu	Popis detailu a požadavky na provedení	Klasifikace svaru ¹⁾
25C	71	<p>Popis: Viz detail 25A. Platnost: Pro posouzení základního materiálu v místě přechodu svaru.</p>	
26A	63	<p>Popis: Přeplátovaný spoj s koutovými svary.</p>  <p>$l = \min. 5 t$ $d = \max. (b + l)$ t – tloušťka vloženého plechu</p> <p>Požadavky: Maximální rozměr pro výpočet napětí ve vloženém plechu $d = b = l$ Platnost: Pro posouzení vloženého plechu</p>	C
26B	45	<p>Popis: Viz detail 26A. Požadavky: Podélné svary končí min. 10 mm před okrajem vloženého plechu. V koncích svaru nesmí být trhlínky. Platnost: Pro posouzení příložek. Při zabroušení konců svarů je možné použít kategorii detailu 56.</p>	C
27A	50	<p>Popis: Ukončení složené pásnice.</p>  <p>Požadavky: $t \leq 20$ mm, $t_1 \leq 20$ mm, čelní svar a boční svar v délce $4 t_1$ je zabroušen pro odstranění zápalů.</p>	C
27B	36	<p>Popis: Viz detail 27A. Platnost: Pokud je t nebo $t_1 > 20$ mm, nebo při nedodržení požadavků na provedení detailu 27A.</p>	C
28	80	<p>Popis: Bezvrubé ukončení plechu složené pásnice.</p>  <p>Požadavky: $l_{min} = b$. Svar má na čele a v úsecích l zabroušený povrch včetně přechodů. Po přivaření a zabroušení svaru je konec pásnice opracován podle obrázku. Svar je kontrolován na výskyt trhlínek.</p>	C

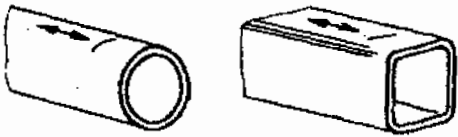
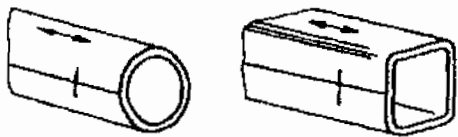


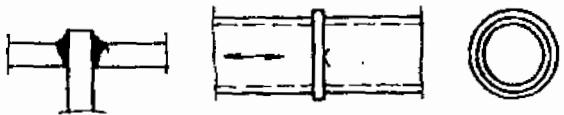
(Pokračování)

Tabulka K.4 (dokončení)

Čís. detailu	Kategorie detailu	Popis detailu a požadavky na provedení	Klasifikace svaru ¹⁾
29A	80	<p>Popis: Žebra a příčné připojené prvky.</p>  <p>Požadavky: Ovařeno dokola po celém obvodu. Při posuzování stojiny se rozměr napětí počítá z hlavních napětí. Platnost: Pro $t \leq 12$ mm.</p>	C
29B	71	<p>Popis a požadavky: Viz detail 29A. Platnost: Pro $t > 12$ mm.</p>	C
30	71	<p>Popis: Příložky pro dosednutí jiných částí.</p>  <p>Požadavky: Přivařené koutovým svarem po celém obvodu. Poměr stran příložky přibližně 1 : 1, rohy zaobleny. Kontrola na trhliny v přechodu svaru do základního materiálu.</p>	C
31	80	<p>Popis: Pásnice v místě přivaření spráhovacích trnů. Připojovací svar trnu ve smyku.</p> 	C

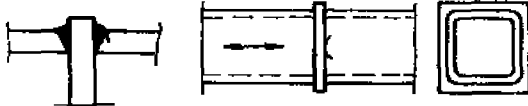


¹⁾ Stupně jakosti provedení svaru B, C podle ISO 5817.

Tabulka K.5 – Detaily z kruhových a obdélníkových trubek

Čís. detailu	Kategorie detailu	Popis detailu a požadavky na provedení	Klasifikace svaru ¹⁾
32	160	<p>Popis: Nesvařované válcované a tvarované trubky.</p>  <p>Požadavky: Tloušťka stěny trubky $t \leq 12$ mm, ostré hrany a povrchové defekty jsou vybroušeny.</p>	
33	140	<p>Popis: Podélně svařované trubky.</p>  <p>Požadavky: Tloušťka stěny trubky $t \leq 12$ mm. Nepřerušované automatové podélné svařky bez defektů v začátku a konci svaru. Platnost: Pro jiné případy platí hodnoty z tabulky H.2.</p>	B
34A	71	<p>Popis: Příčný svarový spoj kruhových trubek.</p>  <p>Požadavky: Tloušťka stěny trubky $t \leq 12$ mm. Nepřerušovaný tupý svarový spoj, provedený bez přerušení v poloze shora. Převýšení svaru maximálně 10 % jeho šířky, hladký přechod svaru do základního materiálu. Platnost: Prvky s tloušťkou stěny 8 mm až 12 mm je možné zařadit až o 2 kategorie výše.</p>	C
34B	56	<p>Popis: Příčný tupý svarový spoj obdélníkových trubek.</p>  <p>Požadavky a platnost: Viz detail 34A.</p>	C
35A	50	<p>Popis: Příčný styk kruhových trubek s vloženým plechem, provedený tupým svarem.</p>  <p>Požadavky: Tloušťka stěny trubky $t \leq 12$ mm. Nepřerušovaný tupý svar. Platnost: Prvky s tloušťkou stěny 8 mm až 12 mm je možné zařadit o 1 kategorii výše.</p>	C

(Pokračování)

Tabulka K.5 (dokončení)

Čís. detailu	Kategorie detailu	Popis detailu a požadavky na provedení	Klasifikace svaru ¹⁾
35B	45	<p>Popis: Příčný styk obdélníkových trubek s vloženým plechem, provedený tupým svarem.</p>  <p>Požadavky a platnost: Viz detail 35A.</p>	C
36A	40	<p>Popis: Příčný styk kruhových trubek s vloženým plechem, provedený koutovým svarem</p>  <p>Požadavky: Nepřerušovaný nosný koutový svar. Platnost: Platí pro tloušťky stěny $t \leq 8$ mm.</p>	C
36B	36	<p>Popis: Příčný styk obdélníkových trubek s vloženým plechem, provedený koutovým svarem.</p>  <p>Požadavky a platnost: Viz detail 36A.</p>	C

¹⁾ Stupně jakosti provedení svaru B, C podle ISO 5817.

Příloha L (informativní)

Určení únavové pevnosti podle výsledků zkoušek

L.1 Křivky únavové pevnosti se předpokládají ve tvaru podle obrázku 26 až 29 normy. Jejich volba závisí na druhu konstrukčního detailu a způsobu namáhání.

L.2 Minimální počet experimentálních výsledků pro výpočet únavové pevnosti a pro určení kategorie detailu je deset. Neukončené zkoušky se nezahrnují do vyhodnocení. Výsledek se zaokrouhluje na nejbližší nižší kategorii detailu.

L.3 Při vyhodnocování experimentálních výsledků se jako nezávisle proměnná uvažuje logaritmus rozkmitu napětí ($x_i = \log \Delta \sigma_i$), jako závisle proměnná logaritmus doby života ($y_i = \log N_i$), u něhož se předpokládá Gaussovo rozdělení.

L.4 Postup určení kategorie detailu spočívá ve stanovení:

- parametrů α , β regresní přímky pro pravděpodobnost porušení 50 %;
- rozkmitu napětí $\Delta \sigma_p$ pro $N_c = 2 \cdot 10^6$;
- levostranné predikční meze N_p ;
- rozkmitu napětí $\Delta \sigma_c$.

L.5 Regresní přímku lze vyjádřit rovnicí

$$y = \alpha + \beta x, \tag{L.1}$$

kde $\beta = \frac{S_{xy}}{S_{xx}}$; $\alpha = \frac{\sum y_i - \beta \sum x_i}{n}$; (L.2)

$$\left. \begin{aligned} S_{xx} &= \sum (x_i^2) - \frac{(\sum x_i)^2}{n}; & S_{yy} &= \sum (y_i^2) - \frac{(\sum y_i)^2}{n}; \\ S_{xy} &= \sum (x_i y_i) - \frac{(\sum x_i)(\sum y_i)}{n}. \end{aligned} \right\} \tag{L.3}$$

L.6 Na regresní přímce pro počet cyklů $N_c = 2 \cdot 10^6$ je rozkmit napětí

$$\Delta \sigma_p = \left(\frac{10^\alpha}{2 \cdot 10^6} \right)^{1/(-\beta)} \tag{L.4}$$

L.7 Levostranná predikční mez pro rozkmit napětí $\Delta \sigma_p$ je

$$\log N_p = \log (2 \cdot 10^6) - t s_R \sqrt{f}; \tag{L.5}$$

kde t je γ - kritická hodnota Studentova rozdělení $t(\nu, \gamma)$ pro stupeň volnosti $\nu = n - 2$ a pravděpodobnost $\gamma = 0,05$;

s_R směrodatná odchylka, která se vypočte z výrazu

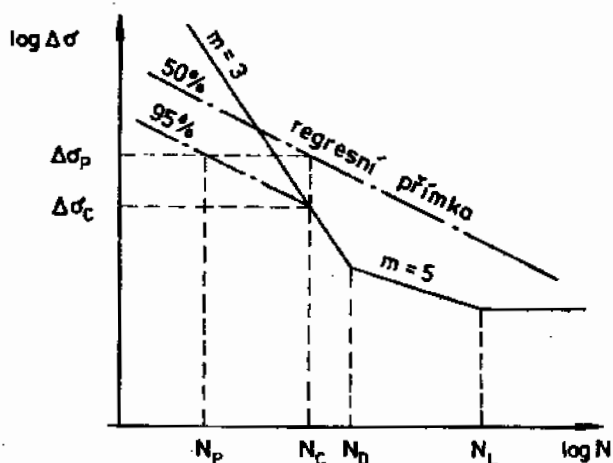
$$s_R = \left[\frac{1}{n - 2} (S_{yy} - \beta S_{xy}) \right]^{1/2}; \tag{L.6}$$

$$f = 1 + \frac{1}{n} + \frac{\left[\log \Delta \sigma_p - \frac{\sum x_i}{n} \right]^2}{S_{xx}} \quad (L.7)$$

L.8 Rozkmit napětí pro určení kategorie detailu je

$$\Delta \sigma_c = \Delta \sigma_p \left(\frac{N_p}{2 \cdot 10^6} \right)^{1/(-\beta)} \quad (L.8)$$

L.9 Postup výpočtu je znázorněn na obrázku L.1.



Obrázek L.1 – Schéma postupu určení kategorie detailu

PŘÍKLAD

Byl zkoušen konstrukční svařovaný detail z plechu tloušťky 16 mm, namáhaný tahovým normálovým napětím. Únavové zkoušky byly provedeny při třech úrovních rozkmitů jmenovitého normálového napětí. Zkoušenému detailu odpovídá typ křivky únavové pevnosti podle obrázku 26.

Výsledky únavových zkoušek:

Číslo vzorku	$\Delta \sigma$ MPa	N
1	150	$5,0 \cdot 10^5$
2		$6,0 \cdot 10^5$
3		$4,1 \cdot 10^5$
4	75	$8,0 \cdot 10^5$
5		$1,2 \cdot 10^6$
6		$1,0 \cdot 10^6$
7	40	$1,0 \cdot 10^7$
8		$1,5 \cdot 10^7$
9		$8,0 \cdot 10^6$
10		$1,0 \cdot 10^8$

Dílič výsledky výpočtu:

$$S_{xx} = 0,56640, S_{yy} = 5,78079, S_{xy} = -1,58224,$$

$$\beta = -2,79350, \alpha = 11,60035,$$

$$\Delta \sigma_p = 78,89 \text{ MPa},$$

$$t = 1,86, s_R = 0,41243, f = 1,1029,$$

$$\Delta \sigma_c = 40,61 \text{ MPa}.$$

Výsledná kategorie detailu, určená podle tohoto příkladu, je

$$\Delta \sigma_c = 40 \text{ MPa}.$$

POZNÁMKY

Upozornění: Změny a doplňky, jakož i zprávy o nově vydaných normách jsou uveřejňovány ve Věstníku Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.