



Kuříková M. a kol.

Předem kvalifikované styčníky
pro ocelové konstrukce vystavené zemětřesení

Podklady

Equaljoints PLUS

Předem kvalifikované
styčníky
pro ocelové konstrukce
vystavené zemětřesení
Podklady

Marta Kuříková
Raffaele Landolfo
Mario D'Aniello
Silvia Costanzo
Roberto Tartaglia
Jean-François Demonceau
Jean-Pierre Jaspart
Aurel Stratan
Dominiq Jakab
Dan Dubina
Ahmed Elghazouli
Dan Bompa
Matyáš Kožich
František Wald



Všechna práva vyhrazena. Žádná část této publikace nesmí být reprodukována, uchovávána v systému vyhledávání nebo šířena ve formě, elektronické, mechanické, kopírováním, nahráváním nebo jinak bez předchozího souhlasu nakladatele.

Autoři nepřebírají odpovědnost za užití materiálů a informací v této publikaci.

Equaljoints PLUS - Předem kvalifikované styčníky pro ocelové konstrukce vystavené zemětřesení, Podklady
Kuříková M., Bompa D., Costanzo S., D'Aniello M., Demonceau J-F., Dubina D., Elghazouli A., Jakab D., Jaspart J-P., Kožich, M., Landolfo R., Stratan A., Tartaglia R., Wald, F.
Vydalo České vysoké učení technické v Praze
Zpracovala Fakulta stavební ČVUT
První vydání, 2019
ISBN 978-80-01-06487-0 (tištěná verze)
ISBN 978-80-01-06488-7 (online).

Úvod

V projektu RFCS EQUALJOINTS (RFSR-CT-2013-00021) byly připraveny předem kvalifikované styčníky pro seismický odolné prutové konstrukce. V projektu EQUALJOINTS PLUS jsou materiály připraveny pro použité ve výuce a výrobě.

Cílem projektu bylo:

Připravit materiály ve dvanácti jazycích (anglicky, španělsky, francouzsky, německy, italsky, holandsky, portugalsky, čeština, bulharsky, rumunsky, řecky a slovinsky).

Vyvinout normativní návrhové doporučení pro seismicky odolné styčníky na základě výsledků projektu Equaljoints.

Vypracovat příručky pro navrhování stavebních konstrukcí pro tyto spoje.

Vyvinout software a aplikaci pro mobilní zařízení, která předpovídají analytickou odezvu kloubů.

Organizovat dva semináře a čtrnáct workshopů pro šíření získaných znalostí.

Vytvořit web s volným přístupem uživatelů pro podporu šíření výsledků.

Vytvořit kanál You-Tube, aby byly k dispozici videa z experimentálních testů a simulací, které by zobrazovaly vývoj poškození.

V rámci projektu byly připraveny monografie:

Equaljoints PLUS - Předem kvalifikované styčníky pro ocelové konstrukce vystavené zemětřesení, Návrh

Monografie pro čtyři předem kvalifikované styčníky shrnuje přehled nejnovějších poznatků, popisuje zásady konstrukčního řešení zvolených detailů, zobecňuje návrh prutové soustavy se zvolenými spoji, kvantifikuje nelineární závislost natočení na momentu podle EN1998-1:2005, uvádí experimentální vzorky a jejich zatěžování a zobecňuje výsledky zkoušek.

Equaljoints PLUS - Předem kvalifikované styčníky pro ocelové konstrukce vystavené zemětřesení, Podklady

Monografie shrnuje návrh předem kvalifikovaných styčníků se šroubovanými přípoji nosníku na sloup s čelní deskou s náběhem a využitou a nevyužitou čelní deskou a návrh styčníku se svařovaným přípojem nosníku s oslabenými pásnicemi na sloup. Jsou rozebrány konstrukční požadavky, doporučené geometrie detailů, prutové konstrukce, pro které jsou styčníky předem připraveny, předběžné návrhové hodnoty a postup návrhu.

Equaljoints PLUS - Předem kvalifikované styčníky pro ocelové konstrukce vystavené zemětřesení, Návod pro EQUALJOINTS kalkulátor

Equaljoints PLUS - Předem kvalifikované styčníky pro ocelové konstrukce vystavené zemětřesení, Prezentace

Autoři se omlouvají za anglické texty v obrázcích a značení desetinnou tečnou v některých rovnicích, které jsou v projektu připraveny společně.

Na projektu pracovali kolektivy pracovníků

Koordinátor

Università degli Studi di Napoli Federico II (UNINA)

Partneři

Arcelormittal Belval & Differdange SA (AM)

Universite de Liege (Ulg)

Universitatea Politehnica Timisoara (UPT)

Universidade de Coimbra (UC)

Convention Europeenne de la Construction Metallique (ECCS)

Universita degli Studi di Salerno (UNISA)

Imperial College of Science Technology and Medicine (IC)

Centre Technique Industriel de la Construction Metallique (CTICM)

National Technical University of Athens (NTUA)

České vysoké učení technické v Praze (ČVUT)

Technische Universiteit Delft (TUD)

Univerza V Ljubljani (UL)

Universitet Po Architektura Stroitelstvo I Geodezija (UASG)

Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

Rheinisch-Westfaelische Technische Hochschule Aachen (RWTHA)

Obsah

1. Shrnutí problematiky	1
1.1 Styčníky s náběhem	2
1.2 Styčníky s vyztuženou čelní deskou	4
1.3 Styčníky s nevyztuženou čelní deskou	5
1.4 Styčníky s oslabeným nosníkem	6
2. Vlastnosti zkoušených styčníků	8
2.1 Styčníky s náběhem	9
2.1.1 Konstrukční řešení	10
2.1.2 Vhodné konstrukce	12
2.1.3 Meze použití	12
2.2 Styčníky s vyztuženou čelní deskou	14
2.2.1 Konstrukční řešení	15
2.2.2 Vhodné konstrukce	17
2.2.3 Meze použití	18
2.3 Styčníky s nevyztuženou čelní deskou	19
2.3.1 Konstrukční řešení	20
2.3.2 Meze použití	21
2.4 Styčníky s oslabeným nosníkem	22
3. Experimenty	24
3.1 Uspořádání	24
3.2 Průběh zatěžování	25
3.2.1 Rychlosť zatěžování	27
3.2.2 Počáteční zatížení	27
3.2.2 Monotónní zatížení	27
3.2.4 Cyklické zatěžování	28
4. Návrh šroubovaných styčníků	29
4.1 Cíle	29
4.2 Předpoklady návrhu	34
4.2.1 Řady šroubů v tahu	34

4.2.2 Střed tlaku a rameno sil	34
4.2.3 Výztuha ve styčnících s vyztuženou čelní desko	35
4.2.4 Panel stěny sloupu	37
4.3 Konstrukční požadavky	39
5 Metoda komponent	41
5.1 Všeobecně	41
5.2 Validace přípoje s náběhem	43
5.3 Validace přípoje s vyztuženou čelní deskou	46
5.4 Validace přípoje s nevyztuženou čelní deskou	52
5.5 Validace přípoje s oslabeným nosníkem	58
6 Model cyklického namáhání	60
6.1 Přípoj s náběhem	60
6.1.1 Výsledky zkoušek	62
6.1.2 Výška nosníku	65
6.1.3 Výška náběhu	67
6.1.4 Zatěžování	69
6.1.5 Zpevnění oceli nosníku	72
6.1.6 Makro komponenty	73
6.1.7 Shrnutí	77
6.2 Přípoj šroubovanou vyztuženou čelní deskou	80
6.2.1 Výsledky zkoušek	81
6.2.2 Tvar porušení	82
6.2.3 Výška nosníku	83
6.1.4 Mechanické zpevnění svarů	83
6.1.5 Zatěžování	84
6.1.6 Makro komponenty	85
6.1.7 Shrnutí	86
6.3 Přípoj šroubovanou nevyztuženou čelní deskou	86
6.3.1 Výsledky zkoušek	89
6.3.2 Tvar porušení	90
6.3.3 Mechanické zpevnění svarů	91
6.3.4 Vliv zatěžování	92

	6.3.5 Manro komponenty	93
	6.3.6 Shrnutí	93
6.4	Svařovaný přípoj s oslabeným nosníkem	93
	6.4.1 Výroba	93
	6.4.2 Vzorek SP2	94
	6.4.3 Vzorek SP4	96
	6.4.4 Makro komponenty	98
	6.4.5 Velikost průřezu	100
	6.4.6 Panel stěny sloupu	102
	6.4.7 Oslabení nosníku	104
	6.4.8 Model metodou komponent	104
	6.4.9 Shrnutí	106
Literatura		107

1. K problematice

V dnešní době v Evropě chybí návrhové postupy pro šroubované ocelové styčníky nosníku na sloup v ocelových seismický namáhaných prutových konstrukcích. V současnosti EN1998-1 umožňuje použití disipativních styčníků za předpokladu jejich experimentálního ověření, což vede v praxi k časově a finančně nákladným projektům. Přestože je zřejmé, že chybí zejména analytické modely pro předpověď chování styčníků splňujících normové požadavky pro disipativní přípoje nosníku na sloup, jsou třeba spolehlivé návrhové nástroje pro nedisipativní přípoje, u kterých nelze dosáhnout požadavku na zvýšenou pevnost (min $1,1 \cdot 1,25 M_{b,rd}$, kde $M_{b,rd}$ je únosnost nosníku v ohybu) a nelze zaručit, že se styčník bude chovat jako styčník s plnou únosností. V takových případech musí být rotační kapacita styčníku ověřena pomocí experimentálních a numerických postupů.

Návrhový přístup používaný v seismicky aktivních oblastech je založen na snadno použitelných, normově podložených nástrojích a postupech. Rozsáhlé škody zemětřesení v Northridge a Kobe vyvolaly změnu v americké návrhové praxi a aplikaci předem ověřených styčníků pro seismický namáhané konstrukce. V roce 1995 zahájily americké společnosti FEMA a SAC šestiletý výzkumný program, nazývaný program FEMA/SAC, jehož cílem bylo vypracovat a ověřit zásady pro inspekci, hodnocení, opravy, sanaci a výstavbu ocelových rámů ohybově tuhým. Americký výzkum byl zaměřen na ověření skupiny vybraných typů styčníků, které bude možné použít ve specifických normách (ANSI/AISC 358-05, 2005) obsahujících návrh, detaily, výrobní a kvalitativní kritéria. Podobně jako ve Spojených státech proběhl výzkum a ověřování chování styčníků i v Japonsku. Typologie styčníků, které se běžně používají ve Spojených státech a Japonsku, jsou zcela odlišné od evropských a rovněž zahrnují rozdílné průřezy, materiálové charakteristiky, uspořádání šroubů apod. a proto nejsou vhodné pro evropské přípoje. Rozdílný zatěžovací protokol pro experimentální testy omezuje přímou aplikaci amerických a japonských návrhových postupů. Dále se liší i typ vstupních dat, která ovlivňují požadavek na tažnost styčníků a spojovaných prvků. Proto byl nedávno ukončený evropský výzkumný projekt Equaljoints zaměřen na poskytnutí návrhových kritérií předem ověřených ocelových styčníků pro další verzi normy EN 1998-1. Výzkum připravil konstrukční a výrobní postupy pro skupinu šroubovaných styčníků a styčníku s oslabeným nosníkem. Jedním z cílů projektu byla pro ověřování styčníků v Evropě příprava nového postupu zatěžování. Byl úspěšně dokončen experimentální program zaměřený na cyklické chování evropské uhlíkové oceli a vysokopevnostních šroubů.

1.1. Styčníky s náběhem

Styčníky s prodlouženou čelní deskou s náběhem se používají v ocelových ohybově tuhých prutových konstrukcích, pokud je požadováno, aby se plastické klouby vytvořily v nosnících. Přidáním náběhu na spodní části nosníku se zvětší rameno vnitřních sil, což umožňuje splnění požadavků na zvýšenou únosnost přípoje bez disipace energie a současně vede ke zvýšení tuhosti styčníku. Náběh zvyšuje náklady na výrobu styčníku, a proto se používá pro tuhé styčníky s plnou únosností v seismicky odolných konstrukcích. Inženýři preferují tuhé styčníky s plnou únosností, protože model pro globální analýzu je jasně definovaný.

Zoetemeijer v roce 1981 (v Bijlaard et al., 1989) zkoumal náběhy s pásnicí i bez pásnice jako komponentu zvyšující tuhost styčníku a stanovil návrhovou metodiku. Jaspart (1997) a Maquoi a Chabrolin (1998) detailně analyzovali styčníky nosníku na sloup s náběhem a doporučili návrhová pravidla respektující metodu komponent v EN 1993-1-8. Pro popis chování šroubovaných přípojů s čelní deskou a náběhem byly určeny komponenty: pásnice náběhu v tlaku, stojina náběhu ve smyku, stojina sloupu v tlaku, stojina nosníku v příčném tlaku.

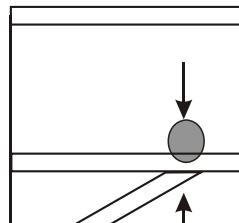
Po zemětřesení v Northridge v roce 1994, které způsobilo rozsáhlé poškození svařovaných spojů v ocelových prutových ohybově tuhých konstrukcích, se pozornost soustředila na náběhy jako na prostředek k opravám poškozených spojů nebo k posílení stávajících a nových ocelových konstrukcí (Lee and Uang 1997, NIST 1998, Gross et al. 1999, Yu et al. 2000). Byly provedeny testy s cyklickým zatížením a byla ověřena účinnost jejich použití (Uang et al., 1998). Analýza metodou konečných prvků ukázala, že s náběhem není napětí v nosníku lineárně rozdělené, jak předpovídá nosníková teorie (Lee a Uang, 1997). Díky náběhu se vytváří na stojině sloupu dva panely smyku, což vyžaduje podrobnější analýzu a návrh. (Yu a kol., 2000) dokázali, že vlivem náběhu se změní rozdělení momentu v nosníku a že velká část smykové síly v nosníku je do sloupu přenesena přes pásnici náběhu a menší část přes stojinu nosníku a náběhu. Byl vytvořen zjednodušený model, který zohledňuje interakci síly a vzájemné deformace mezi nosníkem a náběhem.

Náběhy ve šroubovaných ocelobetonových styčnících s čelní deskou na spodních pásnících nosníků mají výhody z konstrukčního hlediska. Gross a kol. (1999) navrhl omezit hloubku náběhu na 0,33 násobek hloubky nosníku s úhlem náběhu 30° , aby se snížila štíhlost stěny náběhu. Tento předpoklad byl založen na Whitmoreově teorii vnitřního napětí v pružném stavu se sklonem asi 30° . Zvětšení sklonu je výhodné, protože umožňuje snížit velikost náběhu a návrhové síly v přípoji.

Zkoušky (Lachal a kol., 2006) ukázaly, že šroubované styčníky s náběhem mají výrazně lepší cyklické chování v porovnání s nevyztuženými styčníky s čelní deskou. Rotační kapacita může překročit 35 mrad aniž by došlo k únavovému

porušení ve svaru mezi pásnicemi nosníku a čelní deskou. Tento typ styčníku zaručuje zvýšení rotační tuhosti, momentové únosnosti a rotační kapacity ve srovnání s podobnými kompozitními styčníky nosníku a sloupu bez náběhu.

EN 1993-1-8:2006 uvádí pravidla pro návrh styčníků využitých pomocí náběhů. Jsou stanovena kritéria pro komponenty pásnice a stojina nosníku v tlaku viz obrázek 1.1. Návrhová únosnost v tlaku pásnice nosníku/náběhu je podíl návrhové momentové únosnosti průzezu nosníku $M_{c,Rd}$ k osově vzdálenosti pásnic rov. (6.21) v EN 1993-1-8. Pro nosník s náběhem lze únosnost $M_{c,Rd}$ vypočítat se zanedbáním mezilehlé pásnice. Návrhová únosnost stojiny nosníku v tlaku se stanoví podobně jako pro komponentu těna sloupu v příčném tlaku. Pro návrh náběhu platí pravidla: třída oceli náběhu odpovídá třídě oceli nosníku, tloušťka pásnice a stojiny náběhu nejsou menší než u nosníku a úhel mezi pásnicí náběhu a nosníku není větší než 45° .



Obrázek 1.1 Komponenta nosník s náběhem v EN 1993-1-8

SCI/BCSA P398 (2013) vysvětluje návrhový přístup v EN 1993-1-8 pro styčníky s náběhem a shrnuje návrh svarů.

V projektu EQUALJOINJTS (Stratan a kol., 2017) byly experimentálně zkoumány šroubované styčníky nosníku na sloup s rozšířenou čelní deskou a náběhem pro použití v seismických oblastech. Všechny testované vzorky vykazovaly stabilní hysterezní odezvu, přičemž plastické deformace byly soustředěny v nosníku vedle náběhu a byly kvalifikované pro seismické aplikace podle kritérií ANSI/AISC 358-10. Předchozí numerické simulace (Maris a kol., 2015 a Stratan a kol., 2016) prokázaly, že přítomnost náběhu ovlivňuje některé návrhové předpoklady v EN 1993-1-8:2006. Pro kladný moment se střed tlaku posune nad pásnici náběhu a jsou aktivovány pouze šrouby v blízkosti tažené pásnice nosníku.

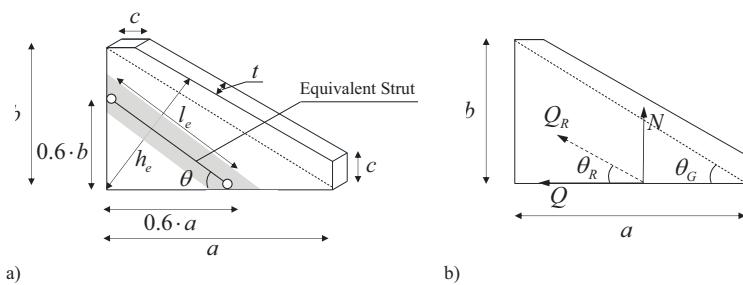
1.2. Styčníky s využitou čelní deskou

Styčníky s prodlouženou čelní deskou jsou v evropské praxi používány pro ohybově odolné styčníky v nízkých a středně vysokých ocelových prutových konstrukcích zejména díky jednoduchosti a hospodárnosti výroby a montáže. Tento typ připoje je charakterizován omezeným počtem svarů, které jsou pouze mezi čelní deskou, výztuhami a nosníkem, což umožňuje snížit náklady a zaručit dobrou kontrolu

kvality. Soustava čelních desek a nosníků je na stavbě připevněna k pásnicím sloupů, čímž se zkracuje doba výstavby.

Styčníky s čelní deskou lze navrhnut na plnou nebo částečnou únosnost. Experimentální a analytické studie ukázaly, že tento typ styčníku může být navržen na plnou únosnost. Naopak v některých případech nelze dosáhnout tuhého styčníku (Guo a kol., 2006, Shi a kol., 2007). Proto jsou šroubované styčníky s čelní deskou považovány za polotuhé, což vede k úspoře v konstrukcích namáhaným převážně staticky (Bjorhodve a Colson, 1991). Navíc může použití polotuhých spojů v prutových ohybově tuhých konstrukcích, které jsou vystaveny seismickým zatížením, vést ke snížení hmotnosti konstrukcí díky menším návrhovým silám (Elnashai A., Elghazouli, 1994). V normě EN 1993-1-8:2006 je únosnost a tuhost přípoje s čelní deskou předpovězena na základě teorie plastických linií na T-profilu. Pro zahrnutí vlivu výztuh na rotační kapacitu styčníku s čelní deskou s přesahem není připraveno řešení.

Numerické a experimentální výsledky se svařovanými spoji s výztuhami (Lee, 2002, Abidelah a kol., 2012, Lee a kol., 2015) ukazují, že ohyb lze lépe popsat příhradovou než nosníkovou teorií. Výztuha působí jako šikmá vzpěra, jak je znázorněno na obrázku 1.2.



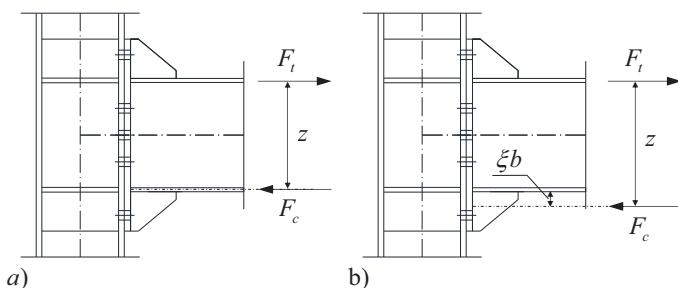
Obrázek 1.2a) Geometrie výztuhy,
b) síly vznikající na hraně výztuhы nosníku/sloupu podle Lee, 2002

V normě nejsou uvedeny náhradní T-profil a odpovídající účinné délky pro řady šroubů nad pásnicí nosníku s využitou čelní deskou a přesahem. Návrh má dvě varianty, (i) uvažují se účinné délky řad šroubů pásnice sloupu v blízkosti výztuhy; (ii) uvažují se účinné délky řady šroubů pod taženou pásnicí nosníku. Druhá varianta umožňuje využití výztuhy pro únosnost řad šroubů i tuhost. První možnost je konzervativnější. V (P398, 2013) jsou uvedeny plastické linie pro tyto řady šroubů s výztuhou nad pásnicí nosníku.

V metodě komponent je důležitý odhad polohy středu tlaku. U styčníků s čelní deskou, které jsou v EN 1993-1-8:2006, je střed tlaku umístěn uprostřed tloušťky pásnice nosníku. Experimentální a numerické výsledky na šroubovaných styčnících s čelní deskou, které provedl Abidelah a kol. (2012) ukazují, že střed tlaku je přibližně ve středu T profilu tvořeného výztuhou a pásnicí nosníku. Je zřejmé, že

poloha středu tlaku se při namáhání výrazně plastifikací jednotlivých komponent mění. Zkoušky svařovaných styčníků, které publikoval (Lee a kol., 2005) ukazují, že až do poměrného natočení 5 % je model. vzpěry vhodný a střed tlaku je posunutý na 0,6 násobek výšky výztuhy, viz obrázky 1.2 a 1.3.

D'Aniello a kol. (2017) vyvinuli návrhový postup metodou komponent, který uvažuje přítomnost výztuh a umožňuje předpovědět chování styčníku.



Obrázek 1.3 Střed tlaku a rameno sil: a) EN1993-1-8:2006 pro přípoje s čelní deskou;
b) posun polohy středu tlaku do výztuhy pro model vzpěry.

1.3. Styčníky s nevyztaženou čelní deskou

Nevyztažené styčníky s čelní deskou a přesahem se využívají v ocelových konstrukcích pro připojení ocelových nosníků profilů I nebo H k ocelovým sloupům profilů I nebo H, hlavně při působení velkých ohýbových momentů. Konfigurace umožňuje snadnou montáž šrouby. Čelních desek se k nosníku přivařují v mostárně.

Podle styčníku a délce nosníku lze tyto spoje považovány za tuhé nebo polotuhé. Tuhost lze zvýšit přidáním příčné výztuhy na stojině sloupu. Výztuhy snižují deformaci styčníku a vyztužují komponenty stojina sloupu v tlaku a stojina sloupu v tahu.

Styčníky s nevyztaženou čelní deskou jsou styčníky s částečnou únosností. Jejich ohýbová únosnost je obvykle nižší než ohýbová únosnost připojených nosníků. Vhodným návrhem lze dosáhnout stejné únosnosti s nosníkem, kdy je plastická únosnost styčníku stejně velká jako plastická únosnost nosníku.

Deformační kapacita závisí na detailech styčníku, které ovlivňují tvar porušení. Je-li komponenta, která se první poruší, tažná a únosnost křehkých komponent podstatně vyšší, lze předpokládat duktilní chování. V opačném případě nelze počítat s redistribucí napětí a při seismickém namáhání s disipací energie.

V posledních desetiletích bylo provedeno mnoho numerických, experimentálních a analytických studií. Ze studií byla připravena kap. 6 v EN1993-1-2006, která je popsána v (Jaspart a Weynand, 2016).

Komponenty, které jsou ve styčníku s čelní deskou s přesahem se mohou vyznačovat duktilním chováním, např. panel stěny sloupu ve smyku. Mohou být

křehké, např. šrouby v tahu a/nebo smyku a svary. Mohou být podle namáhání duktilní nebo křehké, např. čelní deska v ohybu a šrouby v tahu, pásnice sloupu v ohybu a šrouby v tahu.

Pro konstrukce v seismicky aktivních oblastech, ve kterých jsou použity styčníky s čelní deskou a jsou klasifikovány se stejnou únosností je třeba duktilitu znát.

1.4. Styčníky s oslabeným nosníkem

Po zemětřesení v roce 1994 v Northridge a v roce 1995 v Kobe byla snaha předejít vzniku nadměrných deformací, které se objevily ve svarech styčníků nosníku na sloup a vedly ke křehkému lomu. Dva hlavní přístupy, které přichází v úvahu, jsou zesílení styčníku nebo oslabení nosníku. Druhý přístup spočívá v použití styčníku s oslabeným nosníkem, anglicky Dog-bone joint.

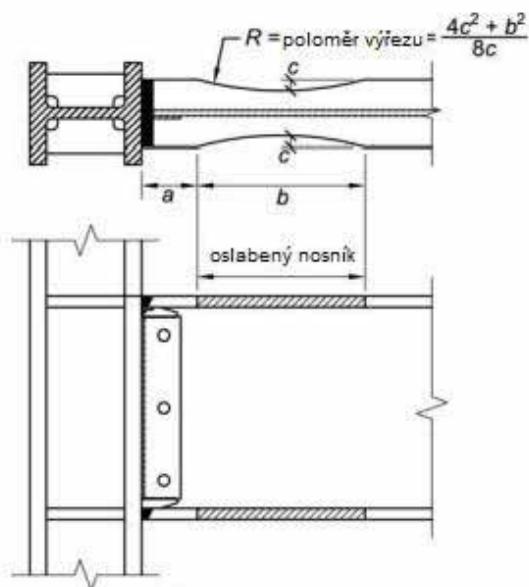
Oslabení průřezu nosníku výřezem na pásnici v určité vzdálenosti od styčníku bylo navrženo Plumierem (1990), který zavedl lichoběžníkový nebo přímý výřez ve styčníku nosníku na sloup. Množství experimentálních dat získaných před rokem 1994 bylo malé, a proto bylo v práci popsáno několik experimentálních studií styčníků s oslabeným nosníkem z pozdějších let (Chen 1996, Engelhardt a kol., 1996, Popov a kol., 1996, Iwankiw a Carter, 1996, Tremblay a kol., 1997, Zekioglu a kol.). V studie SAC sponzorované agenturou FEMA (Kunnath a Malley, 2002, FEMA-350) byl proveden další výzkum zaměřený na velikost poloměru výřezu (Engelhardt a kol., 2000; Gilton, Chi a Uang, 2000; Yu a kol., 2000b). V porovnání s možnostmi redukce průřezu pásnice je chování styčníku s výřezem daného poloměru na nosníku více duktilní, což oddaluje konečnou fázi porušení (Engelhardt a kol., 1996-2000).

Zkoušely se průřezy až do velikosti W14. Další studie se zabývaly velikosí průřezů sloupů (Zhang and Ricles, 2006b; Zhang and Ricles, 2006) a stanovily vliv výšky průřezu sloupů pro očekávané vodorovné posuny při zemětřesení. Zkoušely se sloupy do průřezu W27, který má výšku 700 mm (Uang a kol., 2000, Chi a Uang, 2002). Tyto studie upozornily na citlivost sloupů na zkroucení, které by mohlo ovlivnit chování styčníku s oslabeným nosníkem. Nosníky jsou kvůli redukované ploše pásnic náchylnější ke klopení. Vysoké průřezy sloupů mají sníženou torzní únosnost. Kroucení je do sloupu vneseno excentricitou přičných (Chen a Tu, 2004).

Experimentální a analytický výzkum zaměřený na aplikaci styčníků s oslabeným nosníkem na sloupech s průřezem velké výšky (Zhang a Ricles, 2006) ukázal, že přítomnost ocelobetonové desky výrazně sníží účinek kroucení sloupu. Deska ztužuje nosník a redukuje posun dolní pásnice z roviny. Výzkum (Tremblay a kol., 1997) ukázal, že spřáhovací trny by neměly být umístěny v oblasti oslabeného průřezu, aby se snížila interakce s plastickým mechanismem. Svary spřáhovacích trnů jsou možným místem porušení. Ocelobetonové desky působí příznivě nejen na

klopení nosníku, ale zvyšují únosnost styčníku a rotační kapacitu v kladném směru (Jones a kol. 2002; Uang a Fan, 2001).

Na základě experimentálních a analytických studií byly připraveny první návrhové doporučení pro styčníky s oslabeným nosníkem (FEMA-350, 2000b). Pro předem kvalifikované styčníky jsou navržena omezení velikosti průřezů a tloušťky pásnic. Pro nosník je povolen největší průřez W36x150 a pro sloup W14. V práci se pro redukci ohýbového momentu pásnice sloupu stanovuje velikost oslabení pásnice.



Obrázek 1.4 Konfigurace a rozměry styčníku s oslabeným nosníkem (ANSI/AISC 358, 2010a)

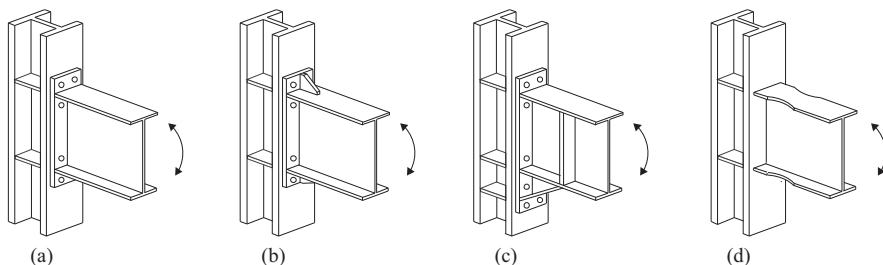
Předem kvalifikované styčníky s oslabeným nosníkem byly převzaty do normy ANSI/AISC 358 (2010a) z dřívější studie FEMA-350 (2000b) i s podobnými omezeními velikosti nosníku. Konfigurace a rozměry typického styčníku s oslabeným nosníkem jsou znázorněny na obrázku 1.4. Největší povolený průřez nosníku je W36x300. Přípustný průřez sloupu byl zvýšen na W36 s neomezenou tloušťkou pásnice sloupu nebo hmotnosti profilu. Další omezení týkající se poměru šířky a tloušťky a výztuh nosníků a sloupů mají splňovat seismická opatření uvedená v AISC (ANSI/AISC 341, 2010b). Je třeba poznamenat, že příspěvek ocelobetonové desky je uvažován v nejnovějších normách, zatímco styčníky s oslabeným nosníkem jsou omezeny na svařované přípoje.

V EN 1998-1:2005 nejsou zahrnutы styčníky s oslabeným nosníkem. V EN 1998-3:2005 jsou uvedeny jako dodatečné opatření pro zvýšení duktility nosníků. Je třeba poznamenat, že styčníky s oslabeným nosníkem by měly mít rotační kapacitu 40 mrad. Doporučený návrhový postup je shodný s postupy, které jsou k dispozici v amerických normách. Pachoumis a kol. (2010) připravil experimenty a

analytickou studii. Z výzkumu vyplývá, že rozměry styčníků s oslabeným nosníkem uvedené v normě EN1998-3 lze pro evropské průřezy upravit. poskytované v EN 1998-3 proto vyžadují další výzkum a úpravy.

2. Vlastnosti zkoušených styčníků

V projektu jsou zkoumány čtyři šroubované přípoje nosníku na sloup (a) s nevyztuženou čelní deskou, b) s vyztuženou čelní deskou, c) s náběhem a d) svařované s oslabeným nosníkem, viz obrázek 2. Šroubované styčníky jsou navrženy podle EN 1993-1-8:2006. Styčníky s oslabeným nosníkem jsou navrženy podle ASCE 7-10, AISC 341-16, AISC 358-16 a AISC 360-16.



Obrázek 2.1 Předem kvalifikované styčníky nosníku na sloup navržené v projektu EQUALJOINTS:

- a) Styčník s nevyztuženou čelní deskou
- b) Styčník s vyztuženou čelní deskou
- c) Styčník s náběhem
- d) Svařovaný styčník s oslabeným nosníkem

Zkoumané styčníky jsou doporučeny pro použití:

- Styčníky s plnou únosností: plastifikace je pouze v připojovaném nosníku, v přípoji a v panelu stěny sloupu nevznikají žádné deformace;
- Styčníky se stejnou únosností: plastifikace je stejná ve styčníku a v připojovaném nosníku;
- Styčníky s částečnou únosností: plastifikace je soustředěna ve styčníku.

Mimo jiné z hlediska únosnosti přípoje a panelu stěny sloupu pro styčníky se stejnou a částečnou únosností je rozlišeno:

- Silný panel stěny sloupu: plastifikace je koncentrována v přípoji (pro styčníky s částečnou únosností) nebo v přípoji a nosníku (pro styčníky se stejnou únosností);
- Vyvážený panel stěny sloupu: plastifikace je rozdělena mezi přípoj a panel stěny sloupu (pro styčníky s částečnou únosností) nebo mezi přípoj, panel stěny sloupu a připojovaný nosník (pro styčníky se stejnou únosností);
- Slabý panel ve smyku: plastifikace je koncentrována v panelu stěny sloupu (pro styčníky s částečnou únosností) nebo v panelu stěny sloupu a v připojovaném nosníku (pro styčníky se stejnou únosností).

Experimentální program v tabulce 2.1 zahrnuje 76 vzorků, které se liší typologií, chováním, konfigurací (vnitřní/vnější styčník) a postupem zatěžování (monotónní a dva cyklické). Předmětem výzkumu je mechanické zpevnění otryskáváním

kulovitými částicemi, aby se ověřilo jeho možný pozitivní vliv na zvýšení duktility ve svarech mezi nosníkem a čelní deskou. To je zvláště důležité u styčníků s částečnou únosností, které mají podle předpokladu větší plastické deformace.

Tabulka 2.1 Experimentální program: parametry a možné varianty

Parametr	Varianta
Styčník nosníku a sloupu	Malý nosník (1), střední k (2), velký (3), viz tabulka 2.2 *Styčníky s oslabeným nosníkem navrženy pro americké profily typu W
Typ styčníku	S náběhem – Vyztužená čelní deska – Nevyztužená čelní deska – S oslabeným nosníkem
Konfigurace styčníku	Vnitřní/vnější
Klasifikace podle únosnosti	S plnou – Se stejnou – S částečnou
Zatěžovací protokol	Monotónní – Cyklický AISC – Navržený cyklický EU
Zpevnění povrchu svaru	Ano/Ne

Tabulka 2.2 Šroubované styčníky nosníku na sloup

	Průřez nosníku/sloupu		
	1	2	3
Nosník	IPE360	IPE450	IPE600
Sloup pro vnější styčníky (T)	HEB280	HEB340	HEB500
Sloup pro vnitřní styčníky (X)	HEB340	HEB500	HEB650
Rozpětí	6 m	6 m	8 m

2.1. Styčníky s náběhem

Experimentální program obsahuje tři skupiny vzorků:

- Skupina A: jednostranný styčník, s plnou únosností, náběh s mírným sklonem (úhel 35°), silný panel stěny sloupu; dva vzorky jsou vyrobeny se silným nosníkem (TSO);
- Skupina B: jednostranný styčník, s plnou únosností, náběh se strmým sklonem (úhel 45°), silný panel stěny sloupu;
- Skupina C: oboustranný styčník, s plnou únosností, náběh se strmým sklonem (úhel 35°), vyvážený panel stěny sloupu.

Skupina A a B slouží k ověření dvou alternativních geometrií náběhu (horní a spodní hranice rozumného úhlu náběhu) pro uvažovaný rozsah velikosti nosníku. Ve skupině C se ověřují styčníky s vyváženým panelem stěny sloupu. Styčník je klasifikován jako polotuhý (přípoj a panel stěny). Pro styčníky skupiny A a B se používají dvě příložky na stěně sloupu, zatímco pro skupinu C se používá pouze jedna příložka. Navíc větší výška profilu sloupů zvyšuje rozsah předem ověřených velikostí sloupů. Všechny parametry uvažované v experimentálním programu jsou: zatěžovací protokol (monotónní a cyklický), velikost průřezu, jednostranný nebo oboustranný přípoj, silný nebo vyvážený panel stěny sloupu, silný nosník a

geometrie náběhu. Tabulka 2.3 zobrazuje přehled parametrů uvažovaných v experimentálním programu a popisuje označení vzorků. Experimentální program zahrnuje 24 testů vzorků styčníků, z nichž tři testy jsou zatíženy monotónně: EH2-TS-35-M, EH2-TS-45-M a EH2-XB-35-M. Jejich cílem je pomoc při kalibraci MKP modelů. Všechny ostatní vzorky jsou zatíženy cyklicky. Pro většinu vzorků se použil zatěžovací protokol ANSI/AISC 341-16. Tři vzorky (jeden pro každou velikost nosníku - řádek CA) jsou zkoušeny s použitím cyklického zatěžovacího protokolu, který byl připraven v projektu EQUALJOINTS.

Tabulka 2.3: Experimentální program styčníků s náběhem

	Konfigurace	Geometrie náběhu	Zatěžování	Průřez nosníku/sloupu		
				1	2	3
A	TS	35°	M	-	EH2-TS-35-M	-
			C1	EH1-TS-35-C1	EH2-TS-35-C1	EH3-TS-35-C1
			C2	EH1-TS-35-C2	EH2-TS-35-C2	EH3-TS-35-C2
			CA	EH1-TS-35-CA	EH2-TS-35-CA	EH3-TS-35-CA
	TSO	35°	C	EH1-TSO-35-C	-	EH3-TSO-35-C
B	TS	45°	M	-	EH2-TS-45-M	-
			C1	EH1-TS-45-C1	EH2-TS-45-C1	EH3-TS-45-C1
			C2	EH1-TS-45-C2	EH2-TS-45-C2	EH3-TS-45-C2
C	XB	35°	M	-	EH2-XB-35-M	-
			C1	EH1-XB-35-C1	EH2-TS-35-C1	-
			C2	EH1-XB-35-C2	EH2-TS-35-C2	-

Poznámky:

- Konfigurace styčníku a panel stěny sloupu: vnější styčník se silným panelem stěny (TS), vnější styčník se silným panelem stěny sloupu/silným nosníkem (TSO), vnitřní styčník s vyváženým panelem stěny sloupu (XB);
- Geometrie náběhu: sklon pásnice náběhu 35° (35), sklon pásnice náběhu 45° (45);
- Zatěžovací protokol: monotónní (M), cyklický (C1, C2), alternativní cyklický (CA);
- Průřezy nosníku/sloupu, viz tabulka 2.2.

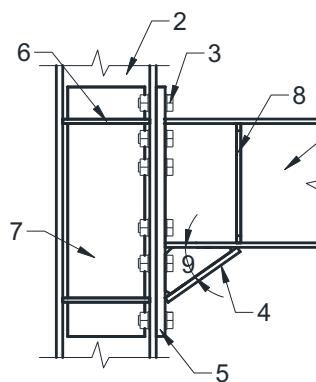
2.1.1. Konfigurace styčníku

Styčníky s čelní deskou a náběhem jsou klasifikovány jako styčníky s plnou únosností a tuhé se silným nebo vyváženým panelem stěny sloupu. Konfigurace styčníků s čelní deskou a náběhem je zobrazena na obrázku 2.2. Styčníky využívají vysokopevnostní šrouby a čelní deska je vyztužena náběhem pod spodní pásnicí nosníku.

Příčné výztuhy sloupu a nosníku jsou nezbytné. Příložky na stěně sloupu jsou volitelné a slouží ke zvýšení tuhosti a únosnosti panelu stěny sloupu. Úhel náběhu se měří mezi spodní pásnicí nosníku a pásnicí náběhu a pohybuje od 30° do 45°.

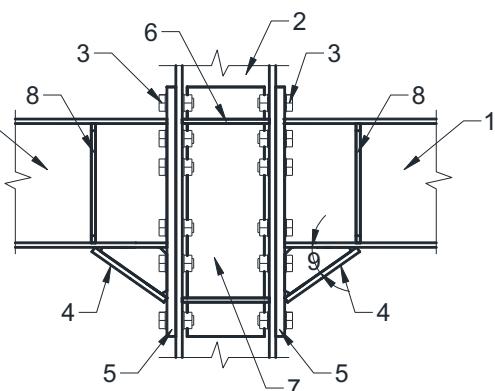
Typy svarů, pro které jsou ověřeny styčníky s náběhem, jsou zobrazeny na obrázku 2.3. Všechny svary jsou navrženy na plnou únosnost tak, aby umožňovaly přenos sil mezi spojovanými prvky. To je zajištěno dvěma koutovými svary (na obou stranách desky) s minimální účinnou tloušťkou 0,55 násobek tloušťky desky. Kritické svary (horní pásnice nosníku, pásnice náběhu, příložky na stěně sloupu) jsou plně provářené tupé V-svary. Svary horní pásnice nosníku a pásnice náběhu jsou dále vyztuženy přídavnými koutovými svary.

Jednostranný styčník



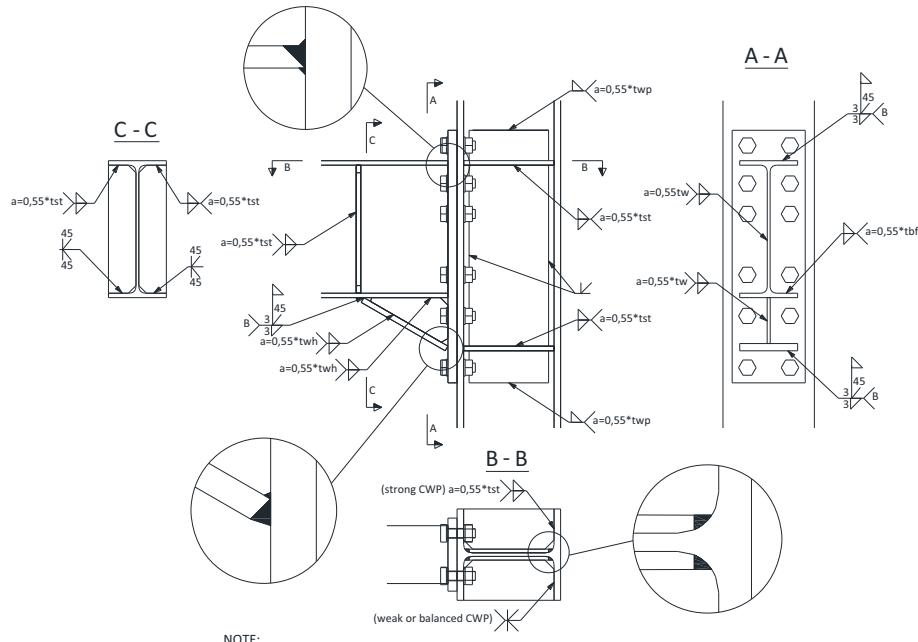
- | | | |
|------------|------------|---------------------------|
| 1 - nosník | 3 - šrouby | 5 - čelní deska |
| 2 - sloup | 4 - náběh | 6 - příčná výztuha sloupu |

Oboustranný styčník



- | |
|-----------------------|
| 7 - příložka na stěně |
| 8 - výztuha nosníku |
| 9 - úhel náběhu |

Obrázek 2.2 Styčník s čelní deskou a náběhem



Obrázek 2.3 Detaily svarů styčníku s čelní deskou a náběhem.

2.1.2. Konstrukce, pro které jsou styčníky předem kvalifikovány

Styčníky s čelní deskou a náběhem v této publikaci, jsou předem kvalifikovány pro konstrukční systémy:

- Ohybově tuhé prutové konstrukce (MRFs);
 - Centricky využené ohybově tuhé prutové konstrukce (MRF+ CBFs);
 - Excentricky využené ohybově tuhé prutové konstrukce (MRF+ EBFs).

Styčníky jsou připraveny pro prutové konstrukce se vzájemně kolmými osami nosníků a sloupů, tj. s pravidelným uspořádáním bez šikmých nosníků.

2.1.3. Meze použití

Meze použití předem kvalifikovaných styčníků jsou uvedeny v tabulce 2.4. Doporučené hodnoty geometrie a materiálu jsou v tabulce 2.5.

Tabulka 2.4 Mezní hodnoty pro předem kvalifikované styčníky s náběhem

Prvek	Rozsah použití
Nosník	Průřezy nosníku válcované za tepla v rozmezí od IPE330 do IPE600. Průřez je třídy 1 podle EN 1993-1-1. Mohou být použity nosníky s podobným tvarem průřezu s plně provářenými tupými V-svary mezi stojinou a pásnici a vyztužené koutovými svary.
Výška	330 až 600 mm
Poměr rozpětí a výšky profilu (mezi předpokládanou polohou plastických kloubů)	Minimálně 7

Tloušťka pásnice	Minimálně: 11 mm Maximálně: 21 mm* (10% extrapolace vzhledem k maximálnímu zkoušenému)
Ocel	S235 až S355
Sloup	Průřezy sloupu válcované za tepla od HEB260/HEM260 do HEB550/HEM550. Průřez je třídy 1 podle EN 1993-1-1. Mohou být použity nosníky s podobným tvarem průřezu s plně provářenými tupými V-svary mezi stojinou a pásnicí a vyztužené koutovými svary.
Výška	260 to 550 mm
Tloušťka pásnice	Minimálně: 17,5 mm Maximálně: 40 mm
Ocel	S235 až S355
Poměr výšky nosníku a sloupu	0,60 – 2,00
Čelní deska	20 – 40 mm
Tloušťka	Minimálně: 20 mm Maximálně: 40 mm
Šířka	Minimálně: šířka pásnice nosníku + 30 mm Maximálně: šířka pásnice sloupu
Ocel	S235 až S355
Příčné výzduhy nosníku a sloupu	Podle požadavků EN 1993-1-8 a EN 1998-1.
Ocel	S235 až S355
Příložky na stěně	Podle požadavků EN 1993-1-8 a EN 1998-1. Je dovoleno uvažovat plnou plochu příložky při výpočtu smykové únosnosti panelu stěny sloupu.
Výška	Minimálně rovna výšce čelní desky.
Ocel	S235 až S355
Šrouby	Konstrukční sestavy vysokopevnostních šroubů vhodné pro předpínání, podle EN 14399-3 (systém HR) a EN 14399-4 (systém HV). Šrouby musí být předpjaté podle EN 1090-2.
Průměr	M24 až M36
Jakostní třída	8.8 nebo 10.9
Otvory	Podle požadavků EN 1993-1-8
Náběh	
Úhel	Úhel náběhu měřený mezi spodní pásnicí nosníku a pásnicí náběhu se může pohybovat od 30° do 45°.
Svary	Podle obrázku 2.3
Čelní deska k horní hraně pásnice nosníku a pásnici náběhu	Vyztužený plně provářený tupý svar
Výzduhy sloupu k pásnicím sloupu	Plně provářený tupý svar

Příložky na stěně k pásnicím sloupu	Plně provářený tupý svar
Ostatní svary	Koutové svary s účinnou tloušťkou svaru větší než 0,55 tloušťky připojovaných desek.

Poznámka: Testy předem ověřených styčníků byly provedeny na nosnících průřezů od IPE360 do IPE600. Dolní mez je rozšířena o průřez IPE330, protože představuje méně než 10% odchylky z výšky nosníku, pro který se ukázalo, že se vyznačuje větší tažností.

Tabulka 2.5. Počáteční volba geometrie přípojů a materiálů pro styčníky s náběhem

Prvky přípoje	Velikost nosníku		
	Malý (\approx IPE360)	Střední (\approx IPE450)	Velký (\approx IPE600)
Třída šroubu	10.9		
Průměr šroubu	M27	M30	M36
Počet řad šroubů	6	6	8
Čelní deska	$t_{ep} = d_b$. Rozměry: Šířka by měla být větší než šířka pásnice nosníku (nejméně 30 mm pro umístění svaru) a menší než šířka pásnice sloupu. Přesah by měl být dostatečný pro umístění jedné řady šroubů, při dodržení pravidel uvedených čl. 3.5 v EN 1993-1-8.		
Příložky na stěně	Tloušťka a rozměry příložek mají být v souladu s pravidly uvedenými v EN 1993-1-8 čl. 6.2.6.1, jinak pro zajištění únosnosti příložek U-svary.		
Příčné výztuhy	Viz tabulka 2.4.		
Svary			
Poznámka:	t_{ep} je tloušťka čelní desky a d_b je jmenovitý průměr šroubu.		

2.2. Styčníky s vyztuženou čelní deskou

Styčníky s vyztuženou čelní deskou, viz tabulka 2.6, obsahují tři skupiny vzorků:

1. Vnější (TS) styčník, styčník s vyztuženou čelní deskou, styčník s plnou únosností se silným panelem stěny sloupu
2. Vnější (TS) styčník, styčník s vyztuženou čelní deskou, styčník se stejnou únosností se silným panelem stěny sloupu
3. Vnitřní (XS) styčník, styčník s vyztuženou čelní deskou, styčník se stejnou únosností se silným panelem stěny sloupu

Vzorky byly vyrobeny z oceli S355. Skupiny 1 a 2 slouží pro ověření spojů podle dvou alternativních kritérií aplikovaných na styčníky s vyztuženou čelní deskou (styčník s plnou a stejnou únosností) pro uvažovaný rozsah velikostí průřezů nosníků; panel sloupu je navržen tak, aby měl větší únosnost v porovnání s přípojem. Navíc se ve skupině 2 zkoumá vliv zpevnění (Esp). Ve skupině 3 se vyšetřují vnitřní styčníky se silným panelem stěny sloupu (XB). V každé skupině je šest styčníků zatížených cyklicky (2 pro každou velikost nosníku). V první skupině jsou další dva vzorky zatížené

monotónně, aby bylo možné vyhodnotit vliv poměru nosníku a sloupu. Dále existuje jeden vzorek zatížený cyklicky s alternativním zatěžovacím protokolem. Ve skupině 2 (konfigurace TS styčníku se stejnou únosností) jsou tři vzorky, jejichž svary byly ošetřeny zpevněním zatížené cyklicky (jeden pro každou velikost nosníku). Styčníky ve skupině 2 mají největší nároky na svary, takže zpevnění může být výhodné.

Tabulka 2.6 Parametry a označení vzorků pro styčníky s využitou čelní deskou.

Skupina	Typ styčníku	Konfigurace styčníku	Únosnost styčníku	Zatěžovací protokol	Průřez nosníku/sloupu		
					1	2	3
1	ES	TS	F	M	ES1-TS-F-M	ES2-TS-F-CA	ES3-TS-F-M
	ES	TS	F	C1	ES1-TS-F-C1	ES2-TS-F-C1	ES3-TS-F-C1
	ES	TS	F	C2	ES1-TS-F-C2	ES2-TS-F-C2	ES3-TS-F-C2
2	ES	TS	E	C1	ES1-TS-E-C1	ES2-TS-E-C1	ES3-TS-E-C1
	ES	TS	E	C2	ES1-TS-E-C2	ES2-TS-E-C2	ES3-TS-E-C2
	ES	TS	Esp	C	ES1-TS-Esp-C3	ES2-TS-Esp-C3	ES3-TS-Esp-C3
3	ES	XS	E	C1	ES1-XS-E-C1	ES2-XS-E-C1	ES3-XS-E-C1*
	ES	XS	E	C2	ES1-XS-E-C2	ES2-XS-E-C2	ES3-XS-E-C2*

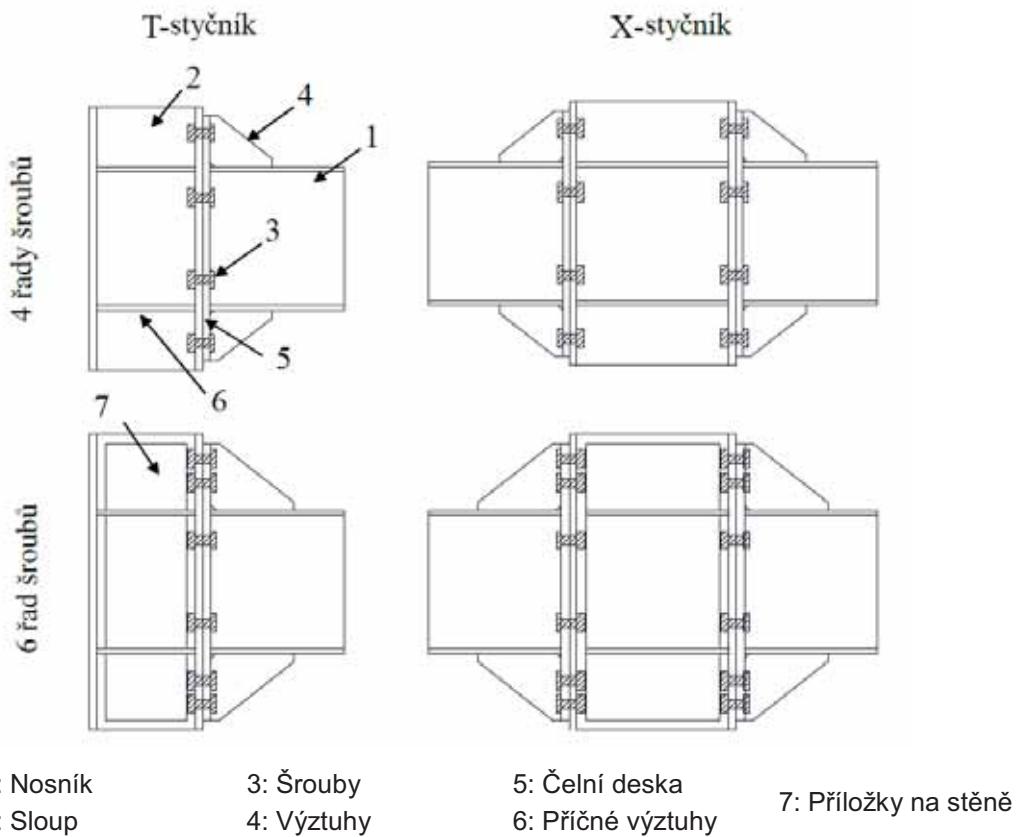
Poznámky:

- Typ styčníku: styčník s využitou čelní deskou (ES)
- Konfigurace styčníku: vnější styčník a silný panel stěny sloupu (TS), vnitřní styčník a silný panel stěny sloupu (XS)
- Únosnost styčníku: s plnou (F),
se stejnou (E), se stejnou únosností se zpevněním (Esp)
- Zatěžovací protokol: monotónní (M), cyklický (C1, C2, C3), alternativní cyklický protokol (CA);
- Velikost nosníku/sloupu (viz tabulka 2.2)
- *Problémy vznikly v důsledku neočekávané předčasné poruchy svarů.

2.2.1. Konfigurace styčníku

Konfigurace spoje je zobrazena na obrázku 2.4. V závislosti na výšce nosníku a návrhových doporučeních lze použít 4 nebo 6 řad šroubů. Použití příložek na stěně je nezbytné pro zvýšení únosnosti stěny sloupu, zatímco použití příčných výztuh se doporučuje.

Svary jsou uvedeny v tabulce 2.7 a znázorněny na obrázku 2.5.

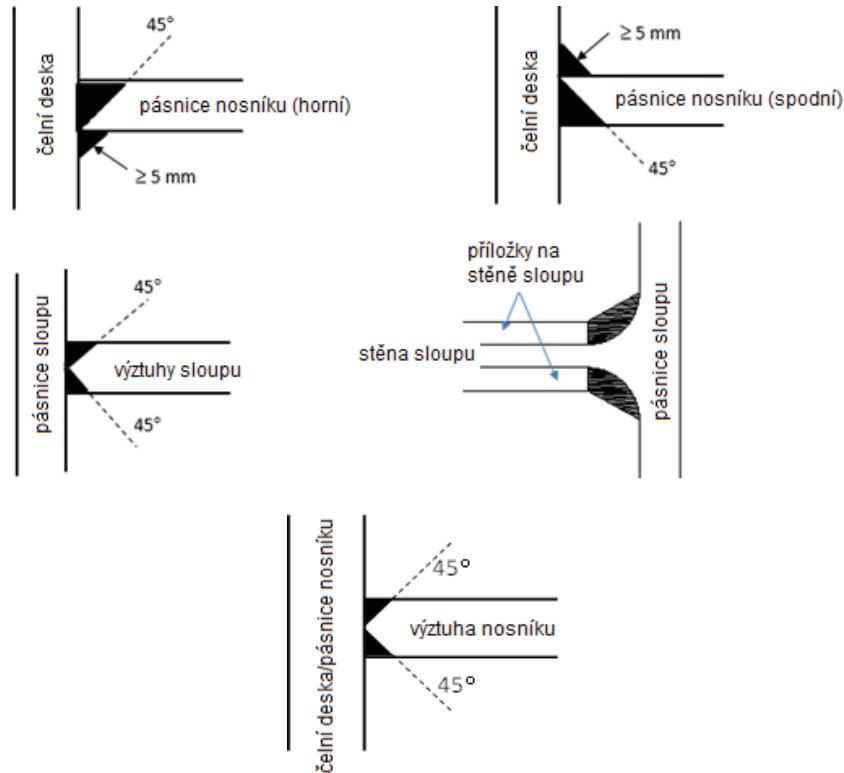


Obrázek 2.4 Popis styčníku s vyztuženou čelní deskou s přesahem

Tabulka 2.7 Typy svarů v souladu s návrhovými doporučeními

Svařované prvky	Únosnost styčníku		
	Plná	Stejná	Částečná
Pásnice nosníku k čelní desce (bf-ep)	FPW	FPW	FPW
Stojina nosníku k čelní desce (bw-ep)	FPW	FPW	FW
Výztuhy sloupu ke sloupu (cp-c)	FW	FW	FPW
Výztuhy k čelní desce (r-ep)	FPW	FPW	FPW
Výztuhy k pásnici nosníku (r-bf)	FPW	FPW	FPW
Příložky na stěně ke sloupu (Swp-c)	FPW+PW	FPW+PW	FPW+PW

Zkratky:
Koutový svar (FW), U-svar (PW), a plně provářený svar (FPW)



Obrázek 2.5 Detaily plně provářených svarů

2.2.2. Konstrukce, pro které jsou styčníky předem kvalifikovány

Styčníky s využitou čelní deskou s přesahem, které jsou popsány v této publikaci, jsou předem kvalifikovány pro konstrukční systémy:

- Ohybově tuhé prutové konstrukce (MRFs);
- Centricky využitné ohybově tuhé prutové konstrukce (MRF+ CBFs);
- Excentricky využitné ohybově tuhé prutové konstrukce (MRF+ EBFs).

Tyto styčníky by se mely používat pouze v prutových konstrukcích se vzájemně kolmými osami nosníků a sloupů, pravidelným uspořádáním konstrukčního systému a bez šikmých nosníků.

2.2.3. Seznam mezních hodnot pro předem kvalifikované styčníky

Mezní hodnoty pro předem kvalifikované styčníky jsou uvedeny v tabulce 2.8

Tabulka 2.8 Mezní hodnoty pro předem kvalifikované styčníky s vyztuženou čelní deskou

Prvek	Rozsah použití
Nosník	
Výška	Maximálně=600mm
Poměr rozpětí a výšky profilu	Maximálně=23, Minimum=10
Tloušťka pásnice	Maximálně=19mm
Ocel	S235 až S355
Sloup	
Výška	Maximálně=550mm
Tloušťka pásnice	Maximálně=29mm
Ocel	S235 až S355
Poměr výšky nosníku a sloupu	0,65-2,15
Čelní deska	18-30mm
Tloušťka	Viz tabulka 2.9
Ocel	S235 až S355
Příčné výztuhy nosníku a sloupu	
Tloušťka	Viz tabulka 2.9
Ocel	S235 až S355
Příložky na stěně	
Tloušťka	Viz tabulka 2.9
Ocel	S235 až S355
Šrouby	Předpjaté HV nebo HR
Průměr	Viz tabulka 2.9
Jakostní třída	10.9
Počet řad šroubů	Viz tabulka 2.9
Podložka	Podle EN 14399-4
Otvory	Podle EN 1993-1-8
Svary	Viz tabulka 2.7
Čelní deska k pásnicím nosníku	Vyztužený plně provářený tupý svar (viz obrázek 2.5)
Výztuhy sloupu k pásnicím sloupu	Plně provářený tupý svar (viz obrázek 2.5)
Příložky na stěně k pásnicím sloupu	Plně provářený tupý svar (viz obrázek 2.5)
Ostatní svary	Koutové svary s účinnou tloušťkou svaru větší než 0,55 tloušťky připojovaných desek.

Doporučení uvedené v tabulce 2.8 je možné použít jako počáteční hodnoty pro návrh geometrie styčníku a materiálu.

Tabulka 2.9 Počáteční volba geometrie a materiálů pro styčníky s vyztuženou čelní deskou

Prvky připoje	Velikost nosníku		
	Malý (\approx IPE360)	Střední (\approx IPE450)	Velký (\approx IPE600)
Třída šroubu	HV 10.9		
Průměr šroubu	M27	M30	M36
Počet řad šroubů	4/6	4/6	6
Čelní deska	<p><i>Tloušťka:</i> $t_{ep}=(2/3 \div 5/6)d_b$ pro styčníky s plnou únosností, může být nepatrně větší než tloušťka pásnice sloupu; $t_{ep}=(2/3 \div 5/6)d_b$ pro styčníky se stejnou únosností; má být menší než tloušťka pásnice sloupu.</p> <p><i>Rozměry:</i> Šířka má být stejná nebo menší než šířka pásnice sloupu. Přesah by měl být dostatečný pro umístění jedné nebo dvou řad šroubů, při dodržení pravidel uvedených v EN 1993-1-8 (§ 3.5).</p>		
Příložky na stěně	Tloušťka a rozměry příložek mají být v souladu s pravidly uvedenými v EN 1993-1-8 (§ 6.2.6.1), jinak by se měly použít U-svary pro zajištění únosnosti příložek.		
Příčné výztuhy	Stejně jako tloušťka pásnic nosníku		
Svary	Viz tabulka 2.7		
Poznámka:	t_{ep} je tloušťka čelní desky a d_b je jmenovitý průměr šroubu.		

2.3. Styčníky s nevyztuženou čelní deskou

Styčníky s nevyztuženou čelní deskou, viz tabulka 2.10, obsahují tři skupiny vzorků:

1. Vnější (TB) styčník, styčník s nevyztuženou čelní deskou, styčník se stejnou únosností s vyváženým panelem stěny sloupu
2. Vnější (TB) styčník, styčník s nevyztuženou čelní deskou, styčník s částečnou únosností (0,6) s vyváženým panelem stěny sloupu
3. Vnitřní (XW) styčník, styčník s nevyztuženou čelní deskou, styčník s částečnou únosností (0,8) se slabým panelem stěny sloupu

Vzorky jsou vyrobeny z oceli S355. Skupiny 1 a 2 slouží pro ověření spojů podle dvou alternativních kritérií aplikovaných na styčníky s nevyztuženou čelní deskou (styčník se stejnou a částečnou únosností) pro uvažovaný rozsah velikostí průřezů nosníků; panel sloupu je navržen tak, aby měl stejnou únosnost v porovnání s připojem. Navíc se ve skupině 2 zkoumá vliv zpevnění (Psp). Ve skupině 3 se vyšetřují vnitřní styčníky se slabým panelem stěny sloupu (XW). V každé skupině je 6 styčníků zatížených cyklicky (2 pro každou velikost nosníku). V první skupině jsou další 2 vzorky zatížené monotónně, aby bylo možné vyhodnotit vliv cyklického zatížení. Dále existuje jeden vzorek zatížený cyklicky s alternativním zatěžovacím protokolem.

Ve skupině 2 jsou tři vzorky, jejichž svary byly ošetřeny zpevněním zatížené cyklicky (jeden pro každou velikost nosníku).

Tabulka 2.10 Parametry a označení vzorků pro styčníky s nevyzkušenou čelní deskou.

Skupina	Typ styčníku	Konfigurace styčníku	Únosnost styčníku	Zatěžovací protokol	Průřez nosníku/sloupu		
					1	2	3
1	E	TB	E	M	E1-TB-E-M	E2-TB-E-M	E3-TB-E-CA
	E	TB	E	C1	E1-TB-E-C1	E2-TB-E-C1	E3-TB-E-C1
	E	TB	E	C2	E1-TB-E-C2	E2-TB-E-C2	E3-TB-E-C2
2	E	TB	$P_{(0.6)}$	C1	E1-TB-P-C1	E2-TB-P-C1	E3-TB-P-C1
	E	TB	$P_{(0.6)}$	C2	E1-TB-P-C2	E2-TB-P-C2	E3-TB-P-C2
	E	TB	$P_{sp(0.6)}$	C	E1-TB-Psp-C3	E2-TB-Psp-C3	E3-TB-Psp-C3
3	E	XW	$P_{(0.8)}$	C1	E1-XW-P-C1	E2-XW-P-C1*	E3-XW-P-C1
	E	XW	$P_{(0.8)}$	C2	E1-XW-P-C2	E2-XW-P-C2	E3-XW-P-C2

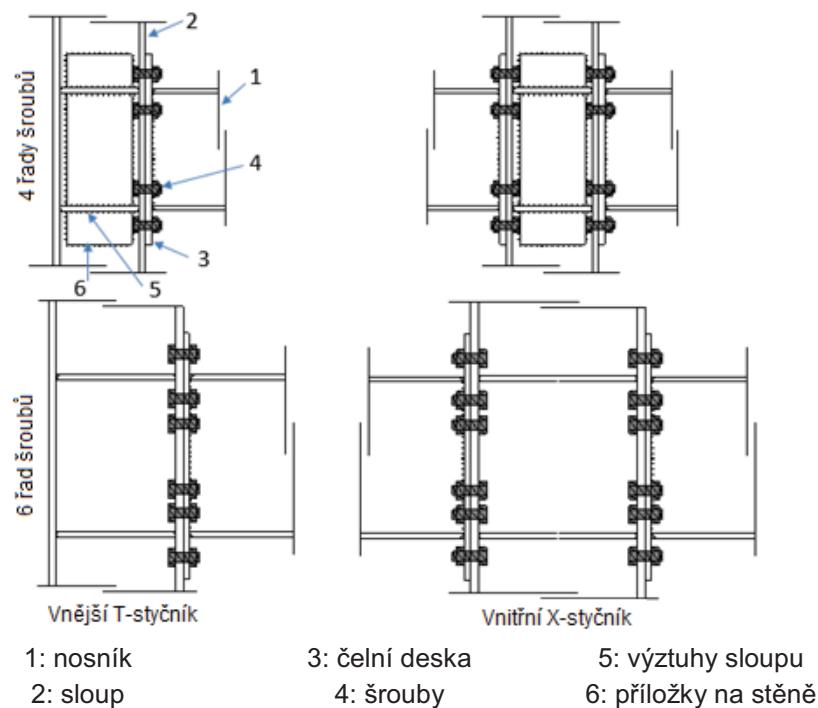
Poznámky:

- Typ styčníku: styčníky s nevyzkušenou čelní deskou (E)
- Konfigurace styčníku: vnější styčník s vyváženým panelem stěny sloupu (TB), vnitřní styčník se slabým panelem stěny sloupu (XW)
- Únosnost styčníku: se stejnou únosností E, 0,6 s částečnou únosností $P_{(0.6)}$, 0,6 s částečnou únosností se zpevněním $P_{sp(0.6)}$, 0,8 s částečnou únosností $P_{(0.8)}$
- Zatěžovací protokol: monotónní (M), cyklický (C1, C2, C3), alternativní cyklický (CA);
- Velikost nosníku/sloupu, viz tabulka 2.2
- *Vzhledem k tomu, že při zkoušení tohoto vzorku došlo k problémům se zkušebním zařízením, nebudou zde diskutovány výsledky

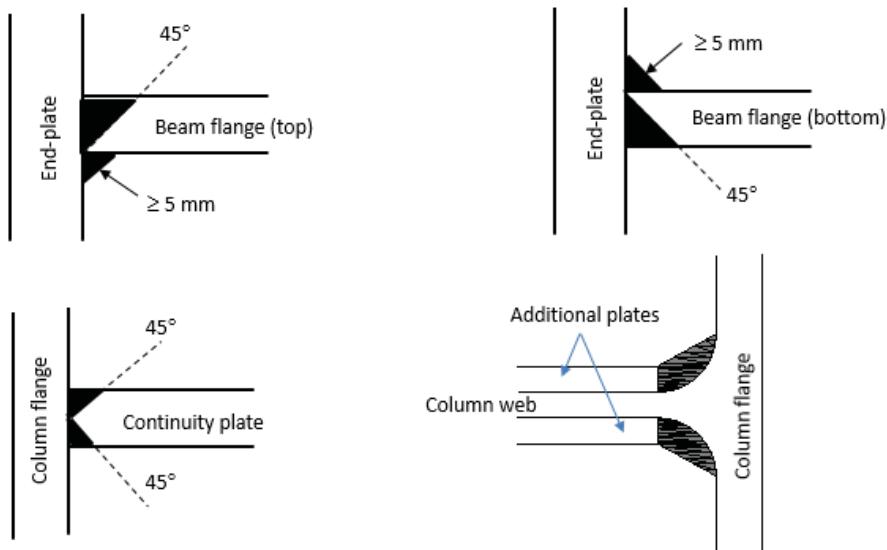
2.3.1. Geometrie styčníku

Konfigurace spoje je zobrazena na obrázku 2.6. V závislosti na výšce nosníku a návrhových doporučeních lze použít 4 nebo 6 řad šroubů. Použití příložek na stěně je volitelné pro zvýšení únosnosti stěny sloupu, zatímco použití příčných výztuh se doporučuje ve všech konfiguracích.

Typy svarů předepsané v souladu s návrhovými doporučeními jsou uvedeny v tabulce 2.7 a zobrazeny na obrázku 2.7.



Obrázek 2.6 Styčník s nevyztuženou čelní deskou s přesahem



Obrázek 2.7 Detaily plně provářených svarů

2.3.2. Meze použití

Mezní hodnoty pro předem kvalifikované styčníky jsou uvedeny v tabulce 2.11.

Tabulka 2.11: Mezní hodnoty pro předem kvalifikované styčníky s nevyztuženou čelní deskou

Prvek	Parametr	Rozsah použití
Nosník	Výška	Maximálně = 600mm
	Poměr rozpětí a výšky profilu	Maximálně = 23, Minimálně = 10
	Tloušťka pásnice	Maximálně = 19mm
	Ocel	S235 až S355
Sloup	Výška	Maximálně = 550mm
	Tloušťka pásnice	Maximálně = 31mm
	Ocel	S235 až S355
Poměr výšky nosníku a sloupu		0,65-2,15
Čelní deska	Tloušťka	18-25mm
	Ocel	S235 až S355
Výztuhy sloupu	Tloušťka	Viz tabulka 2.12
	Ocel	S235 až S355
Příložky na stěně	Tloušťka	Viz tabulka 2.12
	Ocel	S235 až S355
Šrouby	Předpjaté	HV nebo HR
	Průměr	Viz tabulka 2.12
	Třída	10.9
	Počet řad šroubů	Viz tabulka 2.12
	Podložka	Podle EN 14399-4
	Otvory	Podle EN 1993-1-8
Svary	Čelní deska k pásnicím nosníku	Vyztužený plně provářený tupý svar (viz obrázek 2.7)
	Výztuhy sloupu k pásnicím sloupu	Plně provářený tupý svar (viz obrázek 2.7)
	Příložky na stěně k pásnicím sloupu	Plně provářený tupý svar (viz obrázek 2.7)
	Ostatní svary	Koutové svary s účinnou tloušťkou svaru větší než 0,55 tloušťky připojovaných desek.

Doporučení uvedené v tabulce 2.12 lze použít jako počáteční pro návrh geometrie styčníku a materiálu.

Tabulka 2.12 Počáteční volba geometrie a materiálů pro styčníky s nevyzkušenou čelní deskou

Prvky přípoje	Velikost nosníku		
	Malý (\approx IPE360)	Střední (\approx IPE450)	Velký (\approx IPE600)
Třída šroubu	HV 10.9		
Průměr šroubu	M27	M30	M36
Počet řad šroubů	4	4	6
Čelní deska	<p><i>Tloušťka:</i> $t_p = (1/2 \div 2/3)d$ pro styčníky s částečnou únosností; $t_p = (2/3 \div 5/6)d$ pro styčníky se stejnou únosností; ale menší než tloušťka pásnice sloupu.</p> <p><i>Rozměry:</i> Šířka má být stejná jako šířka pásnice sloupu. Přesah by měl být dostatečný pro umístění jedné řady šroubů, při dodržení pravidel uvedených v EN 1993-1-8 (§ 3.5).</p>		
Příložky na stěně	<p>Příložky lze použít ve styčnících se silným panelem stěny sloupu.</p> <p>Tloušťka a rozměry příložek mají být v souladu s pravidly uvedenými v EN 1993-1-8 (§ 6.2.6.1).</p>		
Příčné výztuhy	Viz tabulka 2.11		
Svary			
Poznámka: t_p je tloušťka čelní desky a d je jmenovitý průměr šroubu.			

2.4. Styčníky s oslabeným nosníkem

Experimentální program styčníků s oslabeným nosníkem zahrnuje dva vzorky, které jsou uvedeny v tabulce 2.13.

Tabulka 2.13 Parametry a označení vzorků pro styčníky s oslabeným nosníkem

Vzorek	Nosník	Sloup	Příložky na stěně	Výřez na pásnici		
				A (mm)	B (mm)	C (mm)
SP2	W44×230	W14×342	Ne	200,66	708,406	68,326
SP4	W44×408	W40×503	Ne	304,8	949,96	85,344

Nosníky jsou vyrobeny z americké třídy oceli 50 a všechny sloupy jsou vyrobeny z americké třídy oceli 65, aby se zajistilo, že plastický kloub vznikne v průřezu nosníku. Kromě toho jsou všechny parametry uvedeny v metrických jednotkách, protože část je zaměřena zejména na americké předem kvalifikované styčníky a americké inženýry.

Geometrie těchto dvou vzorků styčníků nosníku na sloup reprezentuje vícepodlažní budovu běžnou v americké praxi. Velikost prvků se převzala z referenční patnáctipodlažní čtvercové kancelářské budovy, která byla navržena pro vysoké seismické zatížení v San Franciscu. Konstrukci tvoří speciální momentový

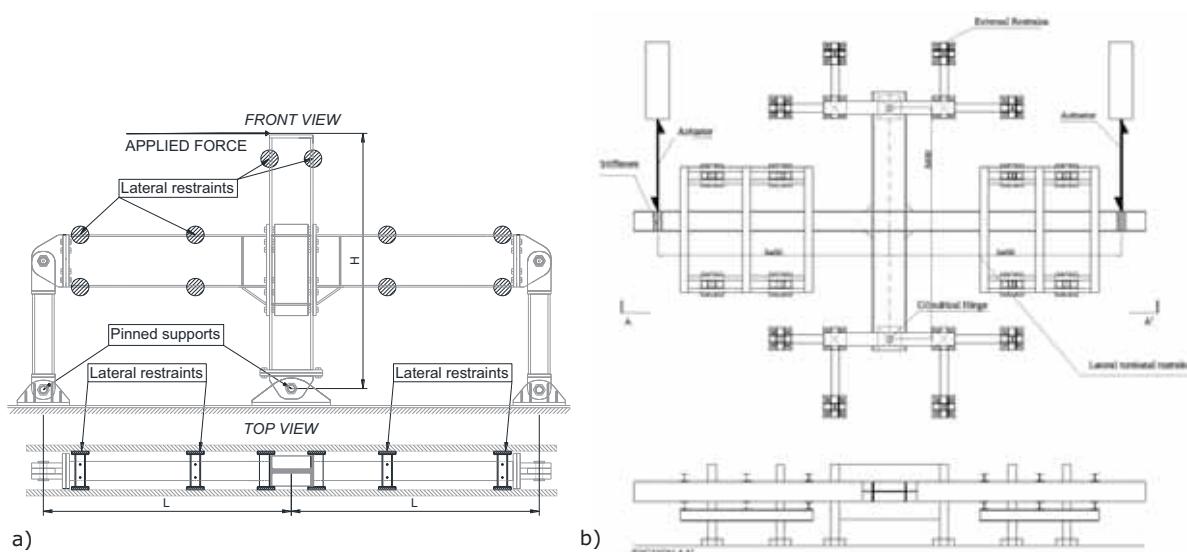
rám (SMF) se styčníky s oslabenými nosníky, které se používají výlučně pro konstrukce odolné proti seismickému zatížení.

Ohybově tuhé prutové konstrukce jsou umístěny na obvodu budovy. P prvky jsou navrženy, aby vodorovný posun nepřekročil povolené limity. Velké prvky jsou použity v nižších patrech a mnohé překračují současné limity pro předem navržené styčníky s oslabeným nosníkem.

3. Experimenty

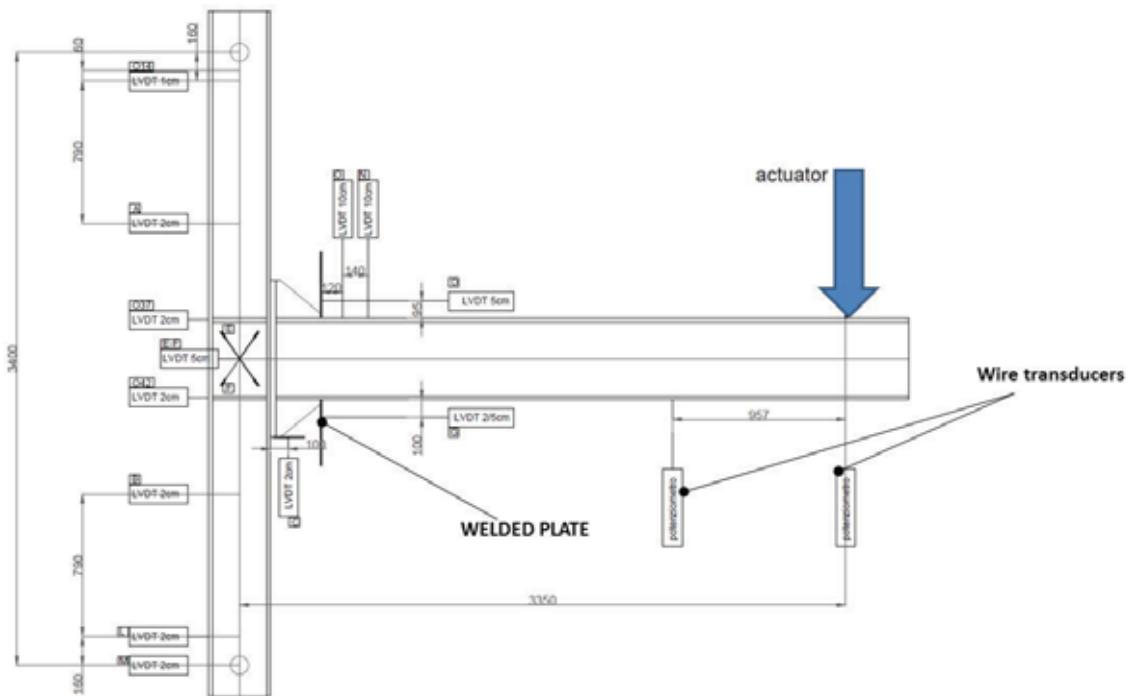
3.1. Uspořádání

Zkušební zařízení byly individuálně navrženy partnery zapojenými do experimentální části projektu, tj. UNINA, UPT, ULiege, AM, v souladu s možnostmi každého laboratoře tak, aby byly dodrženy pro všechny vzorky stejné podmínky při zatěžování a měření dat. Styčníky s náběhem jsou zatěžovány vertikálně a síla je aplikována na konci sloupu, viz obrázek 3.1a, kvůli specifickým podmíinkám v laboratoři, zatímco ostatní styčníky jsou zkoušeny vodorovně se silou aplikovanou na koncích nosníku, viz obrázek 3.1b.



Obrázek 3.1 Zkušební sestavy (a) styčník zkoušený svisle (b) styčník zkoušený vodorovně

Snímače dráhy měřily posun vzorků během zkoušky. Vzorové umístění snímačů je pro vzorky zkoušené v Neapoli zobrazeno na obrázku 3.2.



Obrázek 3.2 Snímače dráhy použité při experimentu v Neapoli

Deformace, které charakterizují chování styčníku, jsou měřeny pomocí snímačů dráhy. Snímače 1 a 2 jsou umístěny u válcových kloubů, aby se změřila natočení sloupu. Snímače 3 a 4 jsou umístěny po výšce sloupu, aby bylo možno vyhodnotit posun v důsledku rotace sloupu. Pootočení panelu stěny je dáno snímači 5 a 6 diagonálně upevněnými na panelu na úrovni výztuh sloupu. Snímač 7 je umístěn na horní hraně čelní desky, aby bylo možné zachytit případné proklouznutí čelní desky. Pootočení styčníku se měří pomocí snímačů 8 a 9 upevněných na výztuhách čelní desky. Snímače 10 a 11 se nacházejí na nosníku v místě očekávaného vzniku plastického kloubu tak, aby bylo možno vyhodnotit eventuální plastické natočení nosníku. Na koncích nosníků byly umístěny dva snímače, aby bylo možné měřit posunutí nosníku, jak je znázorněno na obrázku 3.2.

3.2. Průběh zatěžování

Parametry, které se používají ke kontrole zkoušek styčníků nosníku na sloupu, jsou poměrné natočení nosníku θ , které se rovná celkovému posunu podlaží v procentech jeho výšky, a ohybový moment M v ose sloupu. Zkoušené parametry θ a M se používají pro zatížení, které se přímo vztahuje k bočnímu posunu na konci sloupu/nosníku δ a působící síle F . Pro charakterizaci odezvy vzorku se používají další měření a parametry. Pro zkoušební sestavy, ve kterých je síla aplikován na konci sloupu, pro zkoušky styčníku s náběhem, jsou parametry definovány výrazy podle obrázku 3.3a.

$$\theta = \delta_{\text{nosník}} / L_{\text{nosník}} \quad (3.1)$$

$$M = F_{\text{nosník}} \cdot L_{\text{nosník}} \quad (3.2)$$

$$\delta_{\text{nosník}} = \delta L_{\text{nosník}} / L_{\text{sloup}} \quad (3.3)$$

$$F_{\text{nosník}} = F \cdot L_{\text{sloup}} / L_{\text{nosník}} \quad (3.4)$$

kde:

- θ je poměrné natočení nosníku, které se popisuje jako celkový posunu podlaží v procentech jeho výšky (inter storey drift)
- M ohybový moment v ose sloupu
- δ deformace styčníku nosníku na sloup, definovaná jako příčný posun na konci sloupu, bez posunu podpory
- $L_{\text{nosník}}$ délka nosníku k ose sloupu
- L_{sloup} délka sloupu;
- F síla působící na konec sloupu
- $\delta_{\text{nosník}}$ posun na konci nosníku
- $F_{\text{nosník}}$ reakce na konci nosníku

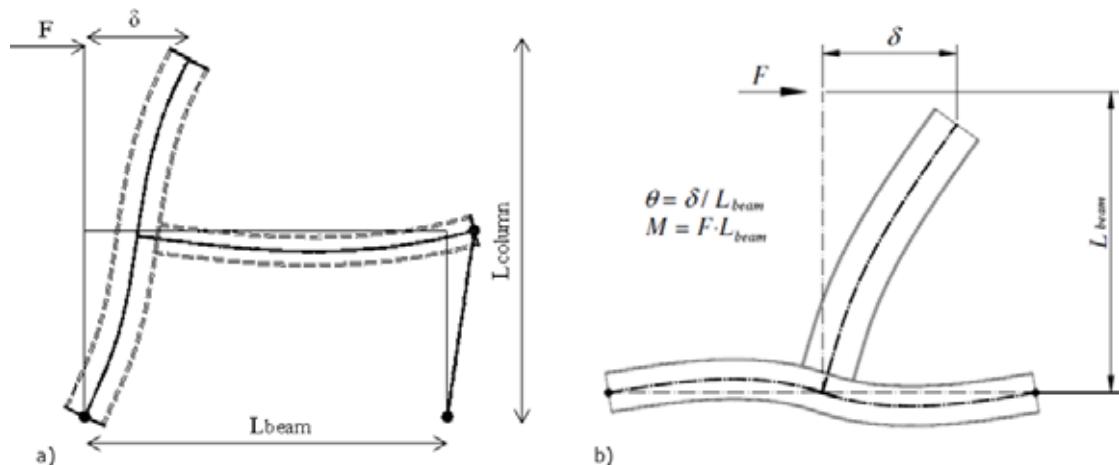
Zatěžování je řízeno deformací. V pružné oblasti lze zatěžování řídit silou. Pro zkušební sestavy, v nichž je síla aplikována na konci nosníku, jsou natočení styčníku θ a ohybový moment M definovány, viz obrázek 3.3b, následovně

$$\Theta = \delta / L_{\text{nosník}} \quad (3.5)$$

$$M = F \cdot L_{\text{nosník}} \quad (3.6)$$

kde:

- θ natočení styčníku
- M ohybový moment v ose sloupu
- δ deformace styčníku nosníku na sloup, definovaná jako příčný posun na konci nosníku; bez případných deformací způsobených posunem podpory
- $L_{\text{nosník}}$ délka nosníku k ose sloupu
- F síla působící na konec nosníku



Obrázek 3.3 Definice parametrů zkoušených styčníků nosníku na sloup s působištěm síly (a) na konci sloupu b) na konci nosníku

3.2.1. Rychlosť zatěžování

Při zkouškách se použije kvazistatické zatížení. Rychlosť zatěžování je dostatečne malá, takže rychlosť deformace neovlivňuje výsledky. Rychlosť zatížení, která se použije při experimentu styčníku nosníku na sloup, není v aktuálních normách řadne řešena.

EN ISO 6892-1 (2009) poskytuje hodnoty pro zkoušky pevnosti v tahu:

- v pružné oblasti: 6-6,60 MPa/s (pokud je použito řízení pomocí napětí);
- na mezi kluzu: $\varepsilon = 0,00025 - 0,0025 \text{ s}^{-1}$ (pokud je použito řízení pomocí deformace).

3.2.2. Počáteční zatížení

Na zkušební sestavu se před samotnou zkouškou aplikuje několik zkušebních cyklů, aby se stabilizoval systém a zkontovala se funkčnost zařízení. Doporučuje se používat dva nebo tři cykly s maximálním zatížením až 25% očekávaného zatížení.

3.2.3. Monotónní zatížení

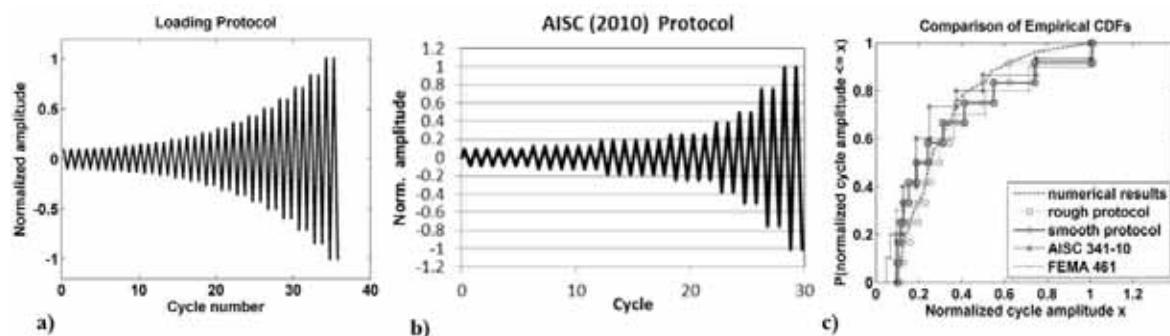
Monotónní zatížení působí na konci sloupu. Pro stanovení počáteční tuhosti se používá několik fází zatížení a odtížení, i když je vzorek v plastické oblasti. Doporučuje se, aby odtížení odpovídalo natočení nosníku $\theta = 0,02 \text{ rad}$ a $0,03 \text{ rad}$. Zatěžování může být v průběhu zkoušky několikrát pozastaveno. Udržuje se konstantní posun zatěžovacího válce, aby se vyhodnotil vliv rychlosti deformace, než se ustálí působící síla. Doporučuje se, aby tyto fáze relaxace byly aplikovány na posun mezi patry θ_y a následně v krocích po $0,01 \text{ rad}$ ($\theta_y + 0,01 \text{ rad}$, $\theta_y + 0,02 \text{ rad}$ atd.).

3.2.4. Postup zatěžování

V experimentálním programu jsou použity dva cyklické zatěžovací postupy/postupy: ANSI/AISC 341-16 (2016) postup a postup vyvinutý v projektu EQUALJOINTS a jsou shrnutý v tabulce:

Equaljoints postup		ANSI/AISC 341-16 (2016)	
Počet cyklů	Úhel θ ,rad	Počet cyklů	Úhel θ ,rad
2	0,0040	6	0,00375
2	0,0045	6	0,005
2	0,0051	6	0,0075
2	0,0061	4	0,0100
2	0,0075	2	0,0150
2	0,0096	2	0,0200
2	0,0124	2	0,0300
2	0,0163	2	0,0400
2	0,0218		
2	0,0293		
2	0,0400		

Zatěžovací postup ANSI/AISC 341-16 je vybrán kvůli častému použití v publikacích. Dříve se použil v rozsáhlých výzkumech předem ověřených styčníků (ANSI / AISC 358-16). Kromě toho velký počet experimentů, které již byly provedeny pomocí tohoto postupu, usnadňuje porovnání chování styčníků s alternativními typy, které byly zkoušeny v minulosti. Na druhou stranu je v projektu vypracován postup EQUALJOINTS, který byl speciálně koncipován pro předem navržené evropské styčníky. Na obrázku 3.4 jsou porovnány zatěžovací postupy odvozené v projektu, ANSI/AISC 341-16 a souhrnný cyklů (CDF cumulative demand functions).



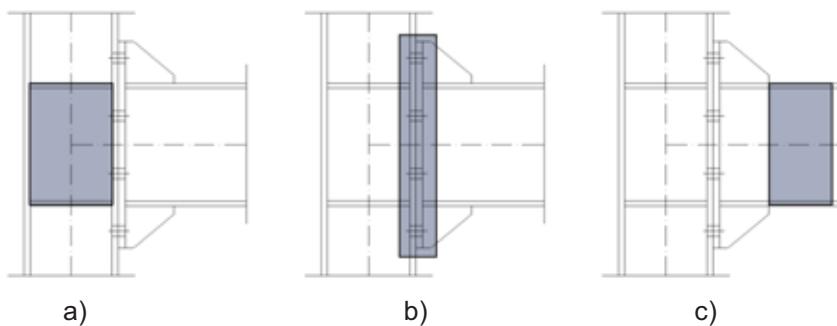
Obrázek 3.4 Zatěžovací postup a) vyvinutý v projektu b) AISC 2010 a c) souhrnný cyklů

4. Návrh šroubovaných styčníků

4.1. Cíle

Kritérium pevnosti: Podle EN1998-1:2005 je návrh ocelových konstrukcí na účinky zemětřesení založen na koncepci disipativních prvků, kde by se měly specifické zóny konstrukce plasticky deformovat za účelem disipace energie. Naopak nedisipativní části by se měly při seismickém zatížení chovat pružně, aby se zabránilo křehkému porušení. Hierarchie únosnosti je základním principem umožňujícím toto chování. Nedisipativní zóny mají plnou plastickou únosnost příslušných disipativních prvků. Návrhová kritéria použitá v projektu Equaljoints se zaměřují na sladění požadavků na únosnost makro-komponent (např. panelu stěny, přípoje, nosníku a sloupu) a jejich dílčích komponent (např. čelní deska, šrouby, svary, atd.).

Podle návrhového postupu vyvinutého v projektu je styčník složený ze tří makro-komponent, tj. panelu stěny sloupu, přípoje a oblasti nosníku, viz obrázek 4.1; každá makro-komponenta je navržena samostatně podle platných požadavků a následně se stanoví únosnost. Rozlišují se tři návrhové kategorie definované porovnáním únosnosti styčníku (tzn. panelu stěny a přípoje) s únosností nosníku v ohybu, jmenovitě styčníky i) s plnou únosností, ii) se stejnou únosností a iii) s částečnou únosností.



Obrázek 4.1 Oblasti vzniku plastických deformací pro návrhové kategorie: a) panel stěny, b) přípoj a c) nosník.

(i) Styčníky s plnou únosností jsou navrženy tak, aby zaručily vznik plastických deformací v nosníku, což je v souladu s požadavky návrhu na únosnost podle EN 1998-1:2005.

(ii) Styčníky s rovnou únosností jsou teoreticky charakterizovány současnou plastifikací všech makro-komponent (tj. přípoj, panel stěny sloupu a nosník).

(iii) Styčníky s částečnou únosností jsou navrženy tak, aby se plastická deformace vytvořila pouze v přípoji a v některých případech i v panelu stěny sloupu.

Je třeba poznamenat, že EN1993-1-8:2008 a EN1998-1:2005 nezahrnují styčníky se stejnou únosností, které jsou navrženy v projektu. Podle současné klasifikace uvedené v EN1993-1-8:2008 spadají styčníky se stejnou pevností do kategorie s částečnou únosností.

Požadované chování styčníku při návrhu na únosnost lze zaručit splněním nerovnosti:

$$\underline{M_{wp,Rd} \geq M_{con,Rd} \geq M_{con,Ed} = \alpha \cdot (M_{B,Rd} + V_{B,Ed} \cdot s_h)}$$
(4.1)

kde:

- $M_{wp,Rd}$ je ohybová únosnost odpovídající únosnosti panelu stěny sloupu
- $M_{con,Rd}$ ohybová únosnost přípoje
- $M_{con,Ed}$ návrhový ohybový moment na pásnici sloupu
- α závisí na návrhové kategorii. Rovná se $\gamma_{sh} \cdot \gamma_{ov}$ pro styčníky s plnou únosností (γ_{ov} součinitel zvýšené pevnosti zahrnující vliv materiálové náhodnosti, a γ_{sh} součinitel zpevnění materiálu, který odpovídá poměru mezi konečným a plastickým momentem nosníku). U styčníků se stejnou únosností se rovná 1 a menší než 1 je u částečně únosných styčníků. Aby se zabránilo koncentracím poruch v přípoji, předpokládá se poměr únosnosti u styčníků s částečnou únosností 0,6 nebo 0,8.
- $M_{B,Rd}$ plastická únosnost v ohybu připojeného nosníku
- s_h vzdálenost mezi pásnicí sloupu a výztuhou nebo náběhem
- $V_{B,Ed}$ smyková síla při vzniku plastického kloubu v připojeném nosníku a je dána jako:

$$\underline{V_{B,Ed} = V_{B,Ed,M} + V_{B,Ed,G}}$$
(4.2)

kde:

- $V_{B,Ed,G}$ je příspěvek od gravitačního zatížení; jeho velikost nezohledňuje vzdálenost mezi plásnicí sloupu a plastickým kloubem
- $V_{B,Ed,M}$ smyková síla způsobená vytvořením plastických kloubů na obou koncích nosníku o délce L_h a stanovena je jako

$$\underline{V_{B,Ed,M} = \frac{2 \cdot M_{B,Rd}}{L_h}}$$
(4.3)

Pokud jde o oba součinitele navýšující pevnost, je třeba provést další předpoklady: γ_{ov} se předpokládá, že je rovno 1,25, jak doporučuje EN1998-1:2005. Součinitel zpevnění materiálu γ_{sh} se liší podle EN 1993-1-8 a EN 1998-1. Zejména v EN 1993-1-8 se doporučuje součinitel zvýšené pevnosti uvažovat rovno 1,2 u styčníků s plnou únosností, zatímco v EN 1998-1 se předpokládá jeho hodnota rovna 1,1. Několik analytických vztahů odhadujících zvýšení pevnosti v ohybu γ_{sh} ocelového nosníku je uvedeno v dostupné literatuře. Na základě poznatků, které publikovali Mazzolani a Piluso (1992), D'Aniello a kol. (2012), Güneyisi a kol. (2013, 2014) lze tvrdit, že součinitel γ_{sh} se pohybuje v rozmezí 1,1-1,2 pro evropské profily běžně užívané pro nosníky (tj. IPE). Toto rozpětí je větší než hodnota doporučená v EN1998-1:2005, a v souladu s normou AISC358-10, která předpokládá součinitel zvýšené pevnosti:

$$\gamma_{sh,AISC} = \frac{f_y + f_u}{2 \cdot f_y} \leq 1.20 \quad (4.4)$$

Proto se v současném postupu konzervativně předpokládá, že γ_{sh} se rovná 1,20. Předpoklad je založený na charakteristických hodnotách meze kluzu a meze pevnosti evropských uhlíkatých ocelí.

Mimo jiné z hlediska únosnosti přípoje a panelu stěny sloupu pro styčníky se stejnou a částečnou únosností je rozlišeno:

- Silný panel stěny sloupu: plastifikace je koncentrována v přípoji (pro styčníky s částečnou únosností) nebo v přípoji a nosníku (pro styčníky se stejnou únosností);
- Vyvážený panel stěny sloupu: plastifikace je rozdělena mezi přípoj a panel stěny sloupu (pro styčníky s částečnou únosností) nebo mezi přípoj, panel stěny sloupu a připojovaný nosník (pro styčníky se stejnou únosností);
- Slabý panel ve smyku: plastifikace je koncentrována v panelu stěny sloupu (pro styčníky s částečnou únosností) nebo v panelu stěny sloupu a v připojovaném nosníku (pro styčníky se stejnou únosností);

Kritérium duktility

Duktilita styčníku závisí na způsobu porušení a příslušné deformační kapacitě aktivované komponenty. Obrázek 4.2 znázorňuje závislost tvaru porušení na geometrických vlastnostech a poměru únosnosti čelní desky a šroubů (Jaspart, 1997). Uvádí se poměr β mezi únosností v ohybu $M_{pl,Rd}$ příčného průřezu čelní desky nebo pásnice sloupu a axiální únosností šroubů $F_{t,Rd}$, zatímco η udává poměr mezi únosností T-profilu F a únosností šroubů $F_{t,Rd}$. Únosnost pro tvar porušení 1 pro nekruhové porušení závisí na poměru $v = n/m$, kde m je vzdálenost mezi šroubem a očekávanou

polohou plastického kloubu mezi pásnicí a stojinou a n je minimální vzdálenost mezi hranou pásnice a šrouby nebo 1,25 m.

Tvaru porušení 3 lze zabránit, když jsou přijata kritéria duktility, viz obrázek 4.2, ve tvaru

$\beta \leq 1$ podmínka způsobuje buď tvar porušení 1, nebo 2 (ale velmi blízko k tvaru 1) a má velmi vysokou duktilitu.

$\beta < 2$ a $\eta \leq 0.95$, podmínka zajišťuje tvar porušení 2 s omezenou duktilitou, ale zabraňuje křehkému porušení.

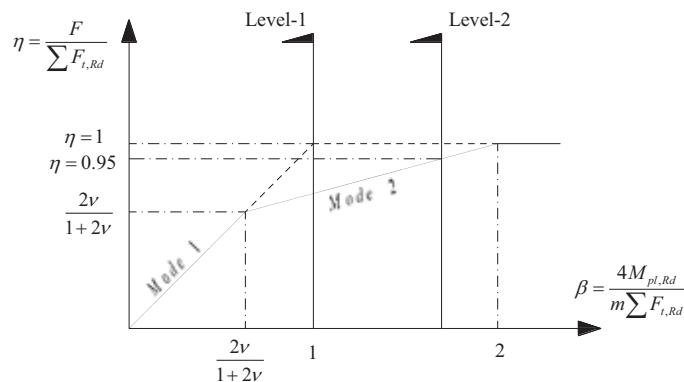
Úroveň duktility, která má být zaručena, závisí na požadavcích návrhu: je důležité zajistit větší duktilitu styčníků se stejnou a částečnou únosností a méně pro styčníky s plnou únosností.

Rotační kapacitu styčníku je třeba kontrolovat, pokud je $M_{j,Rd}$ menší než 1,2 $M_{B,pl,Rd}$. Alternativně lze rotační kapacitu ověřit experimentálně nebo upravit tloušťku čelní desky t_p nebo pásnice sloupu t_{cf} aby platilo

$$t \leq 0.36d \sqrt{\frac{f_{ub}}{f_y}} \quad (4.5)$$

kde

- t je tloušťka plechu pásnice T profilu
- d je jmenovitý průměr šroubu
- f_y mez kluzu příslušné komponenty
- f_{ub} pevnost šroubu



Obrázek 4.2: Kritérium duktility, únosnost T-profilu a odpovídající tvar porušení

Rov. (4.5) by teoreticky odpovídala duktilitě při Úrovni 1 zobrazené na obrázku 4.2 za předpokladu, že únosnost každého jednotlivého šroubu $F_{t,Rd}$ je větší než

únosnost $F_{p,Rd}$ připojovaných desek, čelní desky nebo pásnice sloupu. Konkrétně návrhová únosnost šroubu v tahu $F_{t,Rd}$ je dána:

$$F_{t,Rd} = \frac{0.9 A_s f_{ub}}{\gamma_{M2}} \quad (4.6)$$

kde:

A_s plocha šroubu účinná v tahu

γ_{M2} příslušný dílčí součinitel bezpečnosti, doporučená hodnota 1,25

Rov. (4.5) využívá návrhovou únosnost $F_{p,Rd}$ pro kruhové porušení

$$F_{p,Rd} = \frac{\pi t^2 f_y}{\gamma_{M0}} \quad (4.7)$$

kde:

t tloušťka plechu

γ_{M0} příslušný dílčí součinitel bezpečnosti, doporučen rovno 1,0

Rov. (4.6) a (4.7) předpokládají ideální plastické chování ocelových plechů. Pro seismicky odolné styčníky s částečnou únosností s ohledem na náhodnou variabilitu materiálu a jeho zpevnění platí

$$F_{t,Rd} \geq \gamma \cdot F_{p,Rd} = \gamma_{ov} \cdot \gamma_{sh} \cdot F_{p,Rd} \quad (4.8)$$

Součinitel γ v rovnici (4.8) se rovná 1,5, přestože doporučená hodnota Eurokódu pro γ_{ov} se rovná 1,25, hodnota γ_{sh} se rovná 1,2 pro evropskou uhlíkatou ocel a doporučený dílčí součinitel bezpečnosti γ_{M0} se rovná 1,0. Dosazením rovnice (4.5) a (4.8) lze podmíinku duktility vyjádřit následovně:

$$t \leq \frac{0.42 \cdot d}{\sqrt{\gamma_{ov} \cdot \gamma_{sh}}} \cdot \sqrt{\frac{\gamma_{M0} \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2} \cdot f_y}} \cong 0.30 \cdot d \cdot \sqrt{\frac{f_{ub}}{f_y}} \quad (4.9)$$

Styčníky s plnou únosností s žádnou nebo nízkou duktilitou by se neměly používat. Doporučuje se použít lokální kritérium posloupnosti, aby se předešlo nežádoucímu

porušení v křehkých komponentách v důsledku variability materiálu. V souladu s úrovní 2 by únosnost šroubů měla splnit nerovnosti:

$$F_{t,Rd} \geq \gamma_{ov} \cdot F_{p,Rd} \quad (4.10)$$

Rovnici (4.10) lze přepsat a po některých algebraických operacích poskytuje podobné kritérium jako je uvedené v rovnici (4.5). Je důležité zdůraznit, že všechna dříve popsaná kritéria vyžadují, aby bylo vyloučeno porušení svarů, protože jejich porušení je křehké.

4.2. Předpoklady návrhu

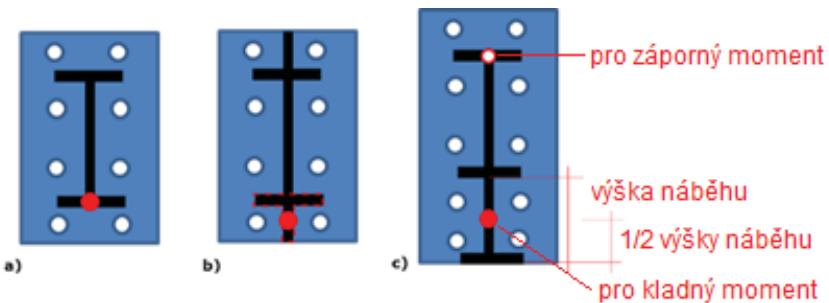
Oblast připoje, viz obrázek 4.1b, obsahuje ekvivalentní T-profily pro řady šroubů, které jsou na čelní desce a pásnici sloupu.

4.2.1. Řady šroubů v tahu

Na rozdíl od metody komponenty v normě EN 1993-1-8, kde jsou všechny řady šroubů v tahu stanoveny zavedením rovnováhy s výslednou únosností v tlaku, se počet aktivních řad šroubů v tahu předpokládá tak, jak je zobrazeno, protože příspěvek řad šroubů pod středovou osou styčníku je relativně zanedbatelný pro namáhání v ohybu (Maris et al., 2015, Stratan et al., D'Aniello a kol., 2017, Tartaglia a D'Aniello, 2017),

4.2.2. Střed tlaku a rameno sil

U styčníků s čelní deskou, na které se vztahuje doporučení v EN 1993-1-8, se střed tlaku nachází ve středu tloušťky pásnice nosníku nebo na konci náběhu v případě styčníku s náběhem. Experimentální a numerické výsledky ukázaly, že umístění středu tlaku závisí jak na typu styčníku, tak na požadavku na rotaci v důsledku vzniku plastických tvarů s různým zapojením jednotlivých komponent. Podle navrženého návrhového postupu a na základě experimentálních a numerických výsledků z literatury (Lee, 2002, Lee a kol., 2005; Abidelah a kol., 2012) a výsledků dosažených v projektu (Maris a kol., 2015, Stratan a kol., D'Aniello a kol., 2017, Tartaglia a D'Aniello, 2017), se předpokládá umístění středu tlaku takto: (i) uprostřed tloušťky pásnice nosníku pro nevyztužené styčníky s čelní deskou, viz obrázek 4.3a; (ii) ve středu průřezu vytvořeného pásnicí nosníku a výztuhou pro vyztužené styčníky s čelní deskou, viz obrázek 4.3b; (iii) v polovině výšky náběhu pro styčníky s náběhem, viz obrázek 4.3c.



Obrázek 4.3 Poloha středu tlaku (červený bod) pro různé typy styčníků: (a) s nevyzkušenou čelní deskou (b) s vyzkušenou čelní deskou (c) s náběhem.

4.2.3. Výztaha ve styčnících s vyzkušenou čelní deskou

V současnosti není v EN1993-1-8:2006 řešena výztaha čelní desky nad pásnicí nosníku. Z tohoto hlediska se v návrhovém postupu používají analytické a empirické vzorce uvedené ve vedeckých publikacích a verifikované numerickými modely. Návrhová únosnost a tuhost výztuh jsou stanoveny na základě ekvivalentního příhradového modelu, který publikoval Lee (2002), viz obrázek 1.2, který definuje ekvivalentní plochu výztuh, A_e , následovně:

$$A_e = \eta \cdot h_e \cdot t \quad (4.11)$$

kde:

- η je ekvivalentní součinitel plochy výztuh a je roven 1,5
- t tloušťka výztuh
- h_e šířka kolmá na linii příhrady (viz obrázek 1.2a) a je definována jako

$$h_e = \frac{ab - c^2}{\sqrt{(a-c)^2 + (b-c)^2}} \quad (4.12)$$

kde:

- a, b, c jsou rozměry výztuh, viz obrázek 1.2.

Na základě dostupných experimentů a analytických modelů (Lee, 2002; Lee a kol., 2005; Abidelah a kol., 2012; Tartaglia a kol., 2016; D'Aniello a kol., 2017) lze předpokládat sklon výztuh θ v rozsahu 30° až 40° . Spodní hranice 30° je předepsána v AISC 358-10, zatímco horní hranice 40° se předpokládá v této studii, aby se minimalizoval návrhový ohýbový moment působící na přípoj.

Návrhové síly působící na výztuhu na rozhraní nosníku/sloupu a výztuhu, viz obrázek 1.2b, mají být stanoveny následovně:

$$N = \left(\frac{b}{a} \right) \cdot Q \quad (4.13)$$

$$Q = \frac{\frac{ad_b \cdot (0.21a + 0.51L)}{I_b}}{\frac{1 \cdot 0.6\sqrt{a^2 + b^2}\sqrt{(a-c)^2 + (b-c)^2}}{\eta \cdot (ab - c^2) \cdot t} + \frac{(0.81b + 0.13d_b)(ad_b)}{I_b}} \cdot V_{B,Ed} \quad (4.14)$$

kde:

d_b je hloubka nosníku

I_b moment setrvačnosti nosníku

$V_{B,Ed}$ návrhová smyková síla

Výztuha čelní desky ovlivňuje tvar porušení T-profilu, který závisí na počtu řad šroubů v důsledku možného porušení skupiny šroubů. Objevují se dvě konfigurace s jedním nebo se dvěma řadami šroubů umístěnými nad pásnicí nosníku. V prvním případě se předpokládá účinná délka jako u vyztužené pásnice sloupu. Ve druhém případě se účinná délka pro porušení skupiny šroubů stanoví podle (P398, 2008). Výztuha ovlivňuje únosnost komponenty stojina nosníku v tlaku. Podle EN 1993-1-8 jsou návrhové tlakové síly působící na komponentu stojina nosníku dány jako:

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{M_{b,Rd}}{d_b - t_{fb}} \quad (4.15)$$

kde:

$M_{b,Rd}$ je ohybová únosnost průřezu nosníku;

d_b výška nosníku;

t_{fb} tloušťka pásnice nosníku.

Rovnice (4.15) je určena pro nevyztužené styčníky s čelní deskou s přesahem, kde maximální ohybový moment odpovídá plastické únosnosti v ohybu nosníku $M_{b,Rd}$. V případě vyztužených styčníků s čelní deskou mohou být tlakové síly působící na komponentu stojina nosníku získány m způsobem:

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{M_{j,Ed}}{z} = \frac{M_{con,Ed}}{d_b + \xi b - 0.5t_{fb}} \quad (4.16)$$

kde

ξb je poloha středu tlaku, viz obrázek 4.3b.

4.2.4. Panel stěny sloupu

Návrhová smyková síla $V_{wp,Ed}$ působící na panel stěny sloupu závisí na poloze středu tlaku a ramenu sil z_{wp} . Jak bylo výše uvedeno, poloha středu tlaku a tím ramena sil závisí na typu styčníku a podílu na plastifikaci jednotlivých komponent. Příhradový mechanismus výztuhy zvětší rameno sil z_{wp} . V důsledku toho je panel stěny součástí mechanismu přenosu ohybu. U nevyztužených styčníků není tento vliv tak výrazný, což znamená snížení návrhových smykových sil. Proto se v této studii $V_{wp,Ed}$ stanoví jako

$$V_{wp,Ed} = \frac{\sum M_{con,Ed}}{z_{wp}} - V_c \quad (4.17)$$

kde

- $\sum M_{con,Ed}$ je součet ohybového momentu na nosníku a na pásnici sloupu
- V_c smyková síla ve sloupci
- z_{wp} vnitřní rameno sil

Pouze u styčníků s náběhem a s vyztuženou čelní deskou se rameno sil z_{wp} blíží k hodnotě získané podle obrázku 6.15 v EN 1993-1-8.

$z \approx (d_b + \xi b - 0.5t_{f,b})$ pro zkoušené styčníky s náběhem a s vyztuženou čelní deskou

$z \neq (d_b - t_{f,b})$ pro zkoušené styčníky s nevyztuženou čelní deskou

(4.18)

Pro zkoušené vyztužené styčníky nejsou vnitřní řady šroubů aktivní, nebo velmi málo zapojené. Odpovídající rameno sil je podle obrázku 6.15 v EN 1993-1-8 za předpokladu, že je správně určen střed tlaku. Naopak nevyztužené styčníky mají více vnitřních řad šroubů a jejich vzájemná interakce s panelem stěny sloupu je velmi významná. Pro zkoušené nevyztužené styčníky je nutné zvážit interakci chování panelu a připoje a určit celkovou odezvu styčníku, únosnost ve smyku a následně vnitřní rameno sil podle EN 1993-1-8, čl. 6.2.7.2.

Únosnost ve smyku $V_{wp,Rd}$ panelu stěny sloupu lze podrobněji komentovat. Podle EN 1993-1-8 $V_{wp,Rd}$ je dána

$$V_{wp,Rd} = \frac{0.9 \cdot A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} + V_{wp,add,Rd} \quad (4.19)$$

kde

$V_{wp,add,Rd}$ je příspěvek k únosnosti panelu stěny ve smyku v důsledku plastických kloubů, které mohou vzniknout v pásnících sloupů nebo výztuhách sloupu.

Požadavek umožňuje plastickou deformaci panelu sloupu, což by mohlo být přijatelné pro mezní stav únosnosti pro neseismické a seismické aplikace, pokud jsou uvažovány dissipativní styčníky. Čl. 6.6.4(4) v EN 1998-1:2005 připouští, že deformace panelu stěny sloupu může přispět až 30 % k rotační kapacitě styčníku za předpokladu, že tento požadavek bude ověřen na základě experimentálního testu. Tento požadavek nesouhlasí s požadavky uvedenými v čl. 6.6.1(1)P, což jasně naznačuje, že plastické klouby by se měly tvořit v nosnících nebo v přípojích nosníku na sloup. V obou případech obecná pravidla EN 1998-1:2005 předpokládají, že pro vypočítané styčníky (tj. nejsou experimentálně navržené) jsou plastické deformace povoleny v nosníku nebo v přípoji, čímž se udržuje panel sloupu v pružné oblasti. V souladu s tímto tvrzením by podle dosavadního návrhového postupu měl být příspěvek ke smykové únosnosti $V_{wp,add,Rd}$ zanedbán, pokud má návrh zaručit, že nevznikne poškození sloupu. Příspěvek pásnice sloupu je plně využit, když je panel sloupu v plastické oblasti při smykové deformaci přibližně čtyřnásobné v porovnání s natočením panelu stěny sloupu (Brandonisio a kol., 2012).

Při deformaci panelu stěny $V_{wp,add,Rd}$ dochází ke vzniku residuálních deformací po zemětřesení s velkými náklady na opravy. Panel stěny sloupu by měl být využit příložkami, aby se zvýšila plocha stěny. To je obtížné podle EN 1993-1-8:2006, kde se požaduje, aby tloušťka příložky byla menší nebo rovna tloušťce stojiny sloupu a zanedbává jakékoli zvýšení smykové plochy pro tlustší příložky nebo pro příložku na opačné straně stojiny sloupu. AISC358-16 tento požadavek nemá. Zkoušky s cyklickým zatížením prováděné Ciutinou a Dubinou (2008) ukázaly, že únosnost ve smyku panelu stěny sloupu se zvyšuje úměrně ke smykové ploše. Proto může být smyková plocha zvýšena o celkovou plochu příložek. Navíc panel stěny sloupu využitý pomocí příložek vykazuje stabilní chování s dobrou duktilitou a natočením větším než 0,035 rad. V souladu s tímto předpokladem je v návrhovém postupu vyvinutém v projektu příspěvek $V_{wp,add,Rd}$ zanedbáván jak pro styčníky s plnou, tak i pro styčníky se stejnou únosností. Navíc se předpokládá, že smyková plocha A_v je součtem smykové plochy $A_{v,c}$ a plochy případných dalších příložek $A_{v,p}$.

4.3. Konstrukční požadavky

Výstavba ocelové konstrukce prochází několika etapami, z nichž každá musí být důkladně promyšlena. V konstrukcích, které mohou být vystaveny zemětřesení v určitém okamžiku jejich životnosti, jsou tyto úvahy zvláště důležité. Styčníky mezi ocelovými prvky v tomto typu konstrukcí by měly být vždy navrženy, vyráběny a postaveny tak, aby se zabránilo křehkému porušení a tvar porušení byl duktilní.

Inženýři musí vždy mít na paměti konstrukční požadavky stanovené příslušnými návrhovými normami. V Evropě musí být dodržena norma EN 1998 pro návrh konstrukcí při zemětřesení, s odkazem na EN 1993 pro návrh ocelových konstrukcí a EN 1993-1-8 pro návrh styčníků ocelových konstrukcí.

EN 1993-1-8 definuje všechny parametry relevantní pro návrh přípojů s ohledem na jejich únosnost a tuhost. Přípoje mohou být svařované, šroubované nebo mohou být kombinací předchozích.

Šroubované přípoje musí být navrženy v souladu s kap. 3 v EN 1993-1-8. Tabulka 3.1 v EN 1993-1-8 definuje třídy šroubů a jejich jmenovité meze kluzu a meze pevnosti. Tabulka 3.3 v EN 1993-1-8 stanoví minimální a maximální rozteče, vzdálenosti od konců a hran, aby byla zajištěna dostatečná únosnost. Přípoje jsou navrženy podle metody komponent. Při výpočtu únosnosti každé komponenty musí být duktilní porušení rozhodujícím kritériem (např. otlačení šroubů).

Kritéria návrhu pro svařované spoje jsou popsány v EN 1993-1-8, část 4. V návrhu na účinky zemětřesení jsou svary navrženy na plnou únosnost a tím se zabránilo selhání svaru (křehkému porušení).

Při specifikaci materiálů a rozměrů by se měly vždy vzít v úvahu dostupné standardní rozměry prvků a vlastnosti materiálů. Například výrobce může dodat standardní desky o tloušťce 10 nebo 12 mm, a proto by se neměly v návrhu používat desky o tloušťce 11 mm, aby se co nejvíce zabránilo zbytečným úpravám.

Houževnatost a vlastnosti napříč tloušťkou jsou uvedeny v normě EN 1993-1-10. Norma obsahuje návrhové pokyny pro výběr oceli s ohledem na houževnatost a vlastnosti svařovaných prvků napříč tloušťkou, u kterých existuje značné riziko vzniku lamelárních trhlin při výrobě konstrukcí podle EN 1090-2.

Podrobné informace o požadavcích na houževnatost v EN 1993-1-10 jsou k dispozici v Nussbaumer a kol. (2011). Hodnota $\sigma_{Ed} = 0,75 \text{ fy}$ odpovídá maximálním možným častým napětím. Pro ověření mezního stavu únosnosti předpokládá plastifikace krajního vlákna v elastickém průřezu $\sigma_{Ed} = fy / 1,35 = 0,75 \text{ fy}$. Hodnota $\sigma_{Ed} = 0,75 \text{ fy}$ v EN 1993-1-10 by odpovídala případu plastifikace průřezu a hodí se pro volbu houževnatosti a tloušťky materiálu v návrhu konstrukce při zemětřesení.

Pro výběr materiálu pro novou konstrukci se použije návod uvedený v kap. 2 EN 1993-1-10. Pravidla se použijí pro výběr vhodné třídy oceli podle evropských

norem pro výrobky z oceli v EN 1993-1-1. Výběr třídy oceli se má vybrat z tab. 3.1 v EN 1993-1-10 v závislosti na možných následcích při vzniku lamelárních trhlin.

V závislosti na třídě oceli vybrané z tabulky 3.1 se buď vlastnosti napříč tloušťkou oceli stanoví z EN 10164, nebo se výrobek kontroluje po výrobě, zda nevznikly k lamelárním trhlinám. Pokyny k zamezení vzniku lamelárních trhlin během svařování jsou uvedeny v EN 1011-2. Národní příloha je povolena prostřednictvím ustanovení uvedených v předmluvě k EN 1993-1-10.

Při návrhu a výrobě konstrukce se musí úzce spolupracovat, aby se zajistila přesnost a správnost výkresů, které mají obsahovat detailly přípojů, velikosti profilů a třídu jakosti šroubů a svarů a třídu oceli podle EN 1998-1. V některých případech se stane, že nemůže být skutečně provedeno to, co bylo nakresleno, například kvůli nedostatku prostoru pro svařování. Často je třeba několik setkání, než se obě strany přesvědčí, že výkresy jsou správné a vše může být vyrobeno. Výroba prvků, včetně přípravy, dopravy a montáže na místě, musí být pečlivě řízena, aby byla zajištěna kvalita konstrukce.

Konstrukce se vyrábí v souladu s prováděcími normami, EN 1090-2 v Evropě a AISC 303-10 v USA, které stanoví minimální požadavky na kvalitu.

5. Metoda komponent

5.1. Všeobecně

Pracovní diagram styčníků lze předpovědět pomocí metody komponent implementované v normě EN 1993-1-8:2006. Metoda spočívá v identifikaci zdrojů pevnosti a deformace, které jsou obecně známé jako komponenty. Komponenta je modelována pružinou s pružně-plastickou závislostí působící síly na deformaci ($F-\Delta$) a následně kombinována do mechanického modelu tvořeného těmito pružinami a pevnými spoji. Střed tlaku se předpokládá ve středu tloušťky tlačené pásnice nosníku. Podle modelu přijatého v EN 1993-1-8:2006 jsou účinky zpevnění materiálu a geometrické nonlinearity zanedbávány. Výpočet únosnosti v metodě komponent zahrnuje tři kroky:

1. Stanovení únosnosti každé řady šroubů aktivních v tahu;
2. Posouzení, zda lze dosáhnout celkové únosnosti tahu, protože může být omezena buď smykovou únosností panelu stěny sloupu, nebo únosností spoje v tlaku (tj. pásnice nosníku v tlaku, porušení nebo ztráta stability stojiny sloupu).
3. Výpočet ohybové únosnosti $M_{j,Rd}$ jako součtu tahových sil vynásobených jejich příslušnými rameny

$$\sum_r h_r F_{tr,Rd} = M_{j,Rd} \quad (5.1)$$

kde

$F_{tr,Rd}$ je efektivní návrhová únosnost řady šroubů r v tahu

h_r vzdálenost řady šroubů r k působišti tlaku

r označení řady šroubů

Jelikož únosnost řady šroubů v tahu může být omezena působením sil v jiných řadách ve skupině šroubů, efektivní návrhová únosnost samostatné řady šroubů v tahu jako taková je považována za potenciální únosnost. Potenciální návrhová únosnost $F_{tr,Rd}$ pro každou řadu šroubů by měla být určena postupně, přičemž se vychází z řady šroubů s maximálním ramenem vnitřních sil až k neutrální ose. Navíc efektivní návrhová únosnost v tahu $F_{tr,Rd}$ každé řady šroubů účinné v tahu má splňovat kritérium:

$$F_{tr,Rd} = \min(F_{t,fc,Rd}; F_{t,wc,Rd}; F_{t,ep,Rd}; F_{t,wb,Rd}) \quad (5.2)$$

kde

$F_{t,fc,Rd}$ je únosnost v ohybu pásnice a šroubu

$F_{t,wc,Rd}$ únosnost stojiny sloupu v příčném tahu

$F_{t,ep,Rd}$ únosnost v ohybu čelní desky a šroubu

$F_{t,wb,Rd}$ únosnost stojiny nosníku v tahu

Aby byla zaručena rovnováha při plastickém rozložení vnitřních sil v každé řadě šroubů, musí celková návrhová únosnost $\sum_r F_{tr,Rd}$ splňovat podmínu:

$$\sum_r F_{tr,Rd} \leq \min(V_{wp,Rd}; F_{c,wc,Rd}; F_{c,fb,Rd}) \quad (5.3)$$

kde $V_{wp,Rd}$ je únosnost panelu stěny sloupu; $F_{c,wc,Rd}$ je návrhová únosnost stojiny sloupu v tlaku; $F_{c,fb,Rd}$ je návrhová únosnost stojiny a pásnic nosníku v tlaku.

V případě polotuhých šroubovaných styčníků s čelní deskou je natočení ovlivněno deformací tažených částí přípoje, které jsou tvořeny pásnicí sloupu, čelní deskou v tahu a protažením šroubů. Tažená část přípoje je modelována pomocí konceptu ekvivalentního T-profilu, který odpovídá dvěma T-prvkům spojeným pásnicemi pomocí jedné nebo více řad šroubů. Mechanická rovnováha mezi T-profilem a odpovídajícím prvkem v řadě šroubů se získá pomocí efektivní délky l_{eff} , která převádí vzory skutečných plastických linií (kruhové i nekruhové) na ekvivalentní Tprofil. V závislosti na geometrii styčníku jsou možné různé vzory plastických linií, z nichž každá je charakterizována efektivní délkou ekvivalentního T-profilu. Nejkratší

délka odpovídá minimální pevnosti a je považována za únosnost této řady šroubů. Vzdálenost šroubu a výztuhy, tj. pásnice nosníku, stojiny a výztuhy, významně ovlivňuje pevnost ekvivalentního T-profilu. Čím blíže je šroub výztuze, tím větší má náhradní T profil pevnost. Naopak, šrouby nad nevyztuženým volným okrajem mají kratší délku ekvivalentního T-profilu a mají menší únosnost. Ve všech případech poskytuje EN1993-1-8:2005 efektivní délky ekvivalentních T-profilů jak pro samostatné řady šroubů, tak pro řady šroubů jako součást skupiny. EN1993-1-8:2005 neposkytuje efektivní délky pro řady šroubů nad pásnicí nosníku v případě vyztužených styčníků s čelní deskou s přesahem.

Únosnost náhradního T profilu se stanoví jako minimální ze tří tvarů porušení, jak je zobrazeno na Obrázek 5.1, které lze popsat jako

Tvar 1 je charakterizován plnou plastifikací pásnic, zatímco šrouby se nepodílejí na mechanismu porušení, viz obrázek 5.1a.

Tvar 2 je charakterizován kombinovaným mechanizmem plastifikací pásnic a porušení šroubů, viz obrázek 5.1b.

Tvar 3 je charakterizován porušením šroubů, při kterém nedochází k plastifikaci náhradního T profilu pásnice, viz obrázek 5.1c.

EN1993-1-8:2006 stanoví kritéria pro určení počáteční tuhosti styčníku $S_{j,ini}$, která se stanovuje kombinací tuhostí všech základních komponent podle:

$$S_{j,ini} = \frac{Ez^2}{\mu \sum_i \frac{1}{k_i}} \quad (5.4)$$

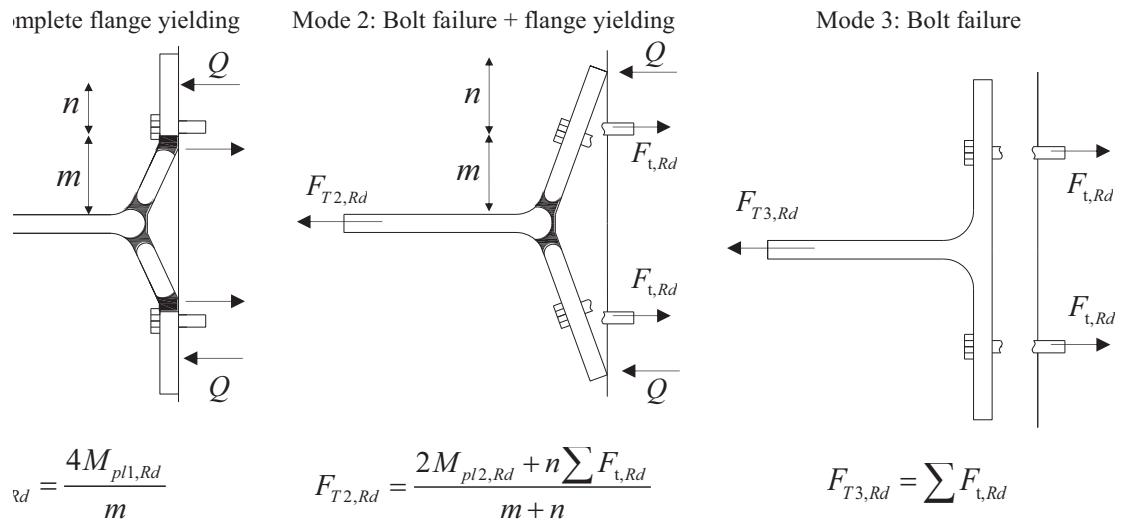
kde

E je modul pružnosti pro ocel

k_i koeficient tuhosti pro základní komponenty styčníku i

z rameno vnitřních sil

μ poměr tuhostí závisející na poměru působícího ohybového momentu a únosnosti styčníku v ohybu



Obrázek 5.1 tvary porušení náhradního T profilu

5.2. Validace přípoje s náběhem

Závislost natočení na momentu pro přípoj s náběhem pro validaci testy je stanovena podle EN1993-1-8. Navíc na základě výsledků projektu EQUALJOINTS byl použit upravený přístup založený na EN 1993-1-8. Hlavní rozdíly mezi těmito dvěma přístupy se týkají:

- pozice působiště tlaku
- počet aktivních šroubů
- únosnost panelu stěny sloupu ve smyku
- únosnost komponent pásnice a stojiny nosníku v tlaku

EN 1993-1-8 vychází z předpokladu, že při záporném ohybovém momentu u šroubovaného styčníku s náběhem a s čelní deskou se střed tlaku nachází ve středu pásnice náběhu. Podle nedávných numerických simulací (Maris et al., 2015 a Stratan et al., 2016) bylo zjištěno, že se střed tlaku nachází mnohem výše, přibližně v polovině výšky náběhu. Proto se v modifikovaném konstrukčním přístupu předpokládalo, že střed tlaku pod zápornými momenty se nachází ve středu výšky náběhu. V případě kladného ohybového momentu se předpokládá, že je střed tlaku umístěn ve středu horní pásnice nosníku.

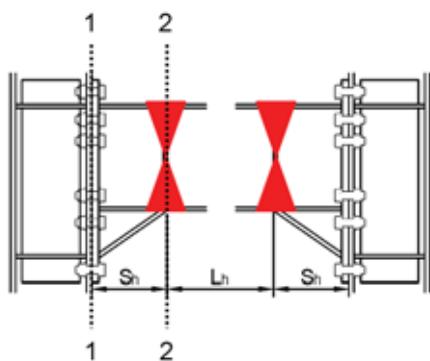
Druhý rozdíl se týká aktivních řad šroubů. V modifikovaném konstrukčním přístupu se předpokládalo, že pouze řady šroubů, které jsou nad středem průřezu nosníku (bez náběhu), jsou aktivní při působení záporného momentu. Při kladném momentu se předpokládaly aktivní pouze řady šroubů, které se nacházely za středem průřezu nosníku, včetně náběhu.

Pokud jde o panel stěny sloupu ve smyku podle čl. 6.2.6.1 (6) v EN 1993-1-8, v případě využitěného panelu stěny sloupu je uvedeno, že smyková plocha sloupu A_{vc} může být zvětšena pomocí $b_s t_{wc}$ (kde b_s je šířka příložky na stojině sloupu

a t_{wc} tloušťka stojiny sloupu). Únosnost zůstává stejná i případech, kdy je na druhé straně stojiny přidána další příložka. Podle postupu z EQUALJOINTS byla pro smykovou únosnost panelu stěny sloupu uvažována celá plocha odpovídající přidaným příložkám.

Pro nosníky s náběhem stanovuje EN 1993-1-8 únosnost pásnic a stojiny nosníku v tlaku jako únosnost odpovídajícího průřezu nosníku (včetně náběhu) v části 1-1 na obrázku 5.2. Prostřední pásnice nosníku se zanedbává. Předpoklad únosnosti na konci náběhu, 2-2 na obrázku 5.2, což je zamýšlené umístění plastického kloubu. Proto, místo $M_{c,Rd}$ definovaného v odstavci 6.2.6.7 v EN1993-1-8, modifikovaný postup zvažoval plastický moment nosníku, v líci sloupu, $M_{pl,Rd}^*$, určen podle

$$\begin{aligned} M_{con,Ed} &= M_{pl,Rd}^* + V_{Ed}^* \cdot s_h \\ M_{pl,Rd}^* &= \gamma_{sh} \cdot \gamma_{ov} \cdot W_{pl,beam} \cdot f_{y,beam} \\ V_{Ed}^* &= \frac{2M_{pl,Rd}^*}{L_h} + V_{Ed,G} \end{aligned}$$

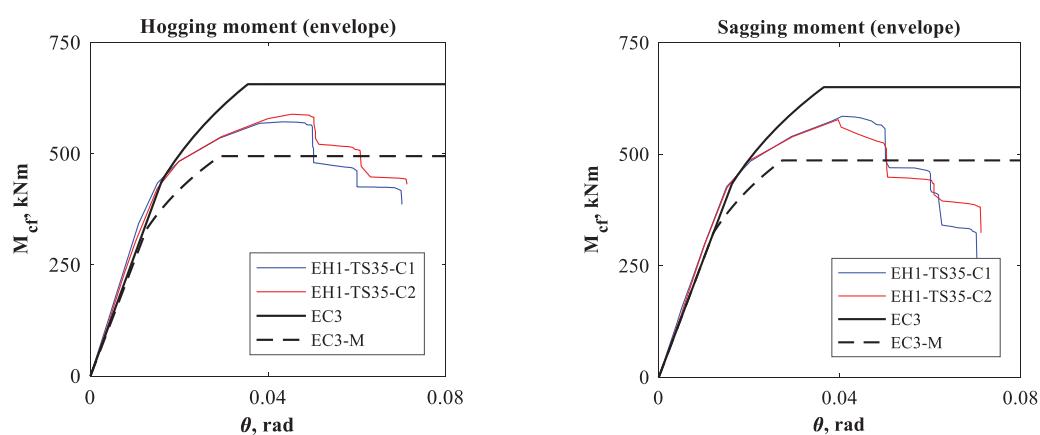


Obrázek 5.2 Umístění plastických kloubů u styčníků s náběhem

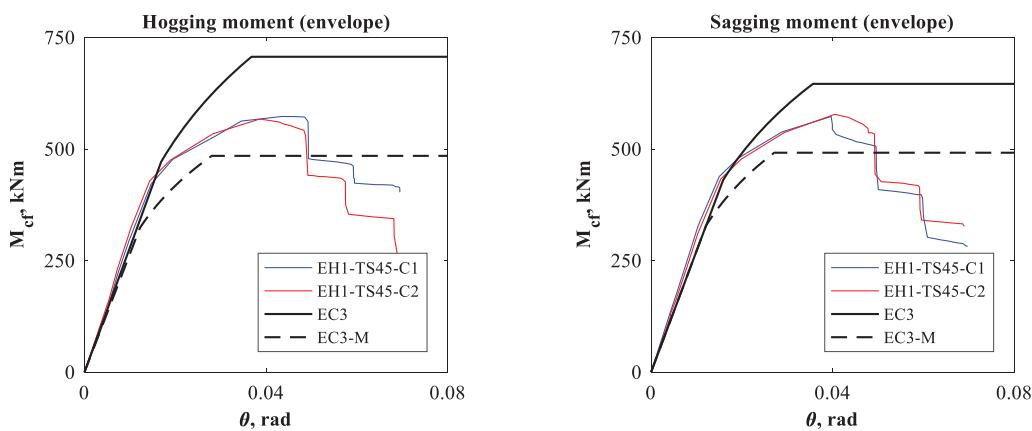
Pro zjednodušení lze uvažovat, že se plastický kloub s_h nachází na konci náběhu. Nicméně experimentální testy ukazují, že skutečná poloha plastických kloubů je přibližně 0,3krát výška průřezu za koncem náběhu.

Odezva přípoje a panelu stěny byla pro styčníky s náběhem pružná. Porovnání analytických výsledků s odezvou experimentálních obálek pro každou z těchto komponent lze provést jen z hlediska tuhosti. Proto bylo rozhodnuto porovnat analytické modely s experimentálními výsledky na křivkách závislosti poměrného natočení nosníku a působícího momentu $M_{cf} - \theta$. Poměrné natočení bylo v analytickém modelu získán přidáním natočení styčníku (jak je určeno v příspisu podle EN 1993-1-8 k pružnému natočení prvku). Únosnost styčníku byla stanovena pomocí EN 1993-1-8 s použitím měřené geometrie a materiálových charakteristik. Dílčí součinitele spolehlivosti materiálu byly uvažovány rovny 1,0. Obrázky 5.3, 5.4

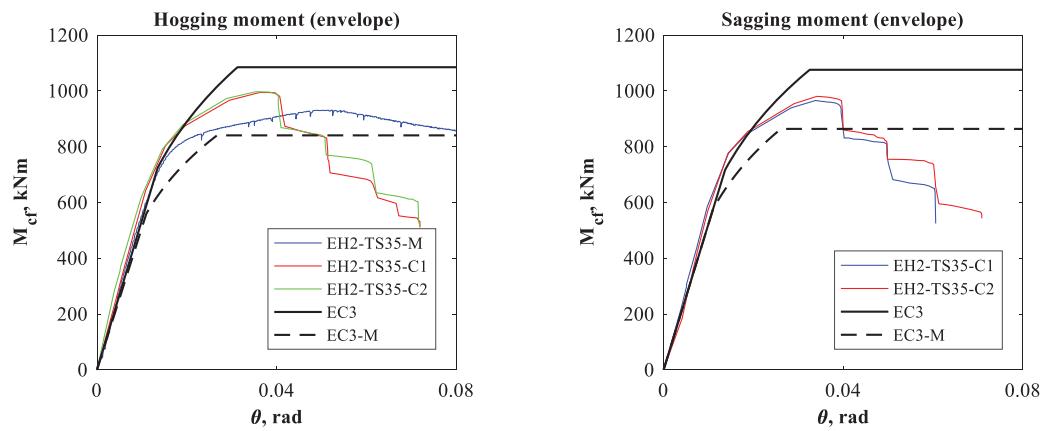
a 5.5 prezentují experimentální obálky v porovnání s analytickými modely pro vzorky EH2-TS35 a EH2-TS45. Z obrázků je patrné, že model použitý v EN 1993-1-8 do značné míry přečeňuje únosnost styčníku jak pro kladný, tak pro záporný ohybový moment. To je dánou skutečností, že EN 1993-1-8 nezahrnuje únosnost nosníku v ohybu na konci náběhu. Modifikovaný přístup založený na EN 1993-1-8 poskytuje poměrně dobrou shodu s experimentálními obálkami z hlediska momentové únosnosti. Pro počáteční tuhost může být pro oba modely pozorována dobrá shoda. Degradace tuhosti pro momenty mezi $2/3M_{j,Rd}$ a $M_{j,Rd}$ není samozřejmě vhodná pro styčníky s plnou únosností.



Obrázek 5.3 Validace modelu komponent na křivce závislosti natočení na momentu pro styčník EH1-TS35



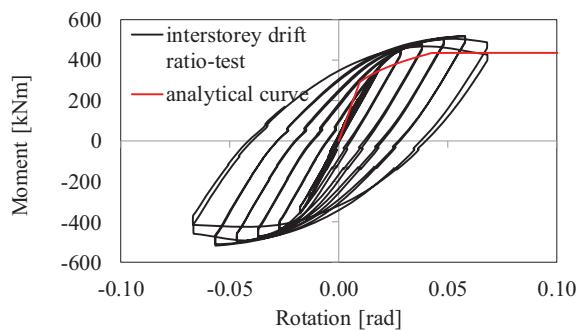
Obrázek 5.4 Validace modelu komponent na křivce závislosti natočení na momentu pro styčník EH1-TS45



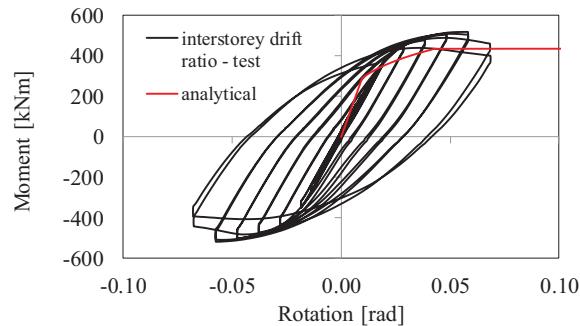
Obrázek 5.5 Validace modelu komponent na křivce závislosti natočení na momentu pro styčník EH2-TS35

5.3. Validace přípoje s vyztuženou čelní deskou

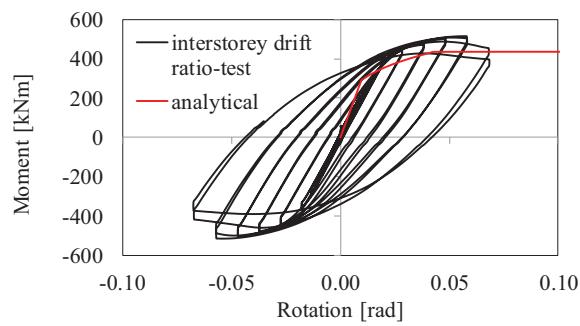
Testy byly prováděny jak na jednostranném, tak i na oboustranném uspořádání styčníku zahrnujícím jeden nebo dva přípoje. Analytické modely styčníku byly porovnány s experimentálně změřenými křivkami. Tento moment se nachází na rozhraní mezi pásnicí sloupu a čelními deskami. Únosnost přípoje byla stanovena pro případ, že jsou aktivní všechny řady šroubů nad vodorovnou osou symetrie styčníku (jmenovitě všechny řady vně nosníku a jedna vnitřní řada v blízkosti pásnice nosníku). Deformace panelu stěny sloupu smykem byla vypočtena v oddíle 4.2.4. Pro křivku $M_{b,Ed} - \varphi_j$ bylo φ_j natočení styčníku získáno součtem natočení φ_c a γ . Relativní natočení nosníku θ sestává z natočení styčníku φ_j a deformace nosníku vztažené k jeho délce.



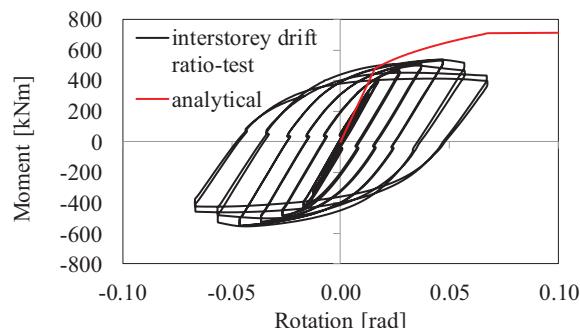
Obrázek 5.6 Validace modelu komponent na křivce závislosti natočení na momentu pro styčník ES1-TS-E vzorek C1



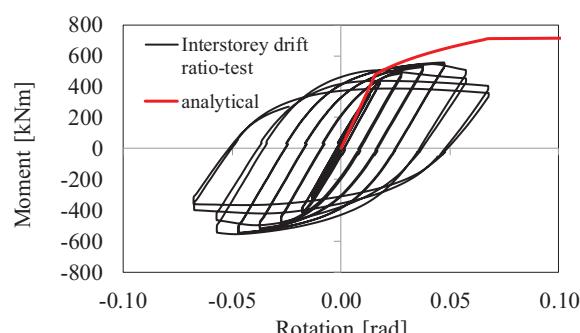
Obrázek 5.7 Validace modelu komponent na křivce závislosti natočení na momentu pro styčník ES1-TS-E vzorek C2



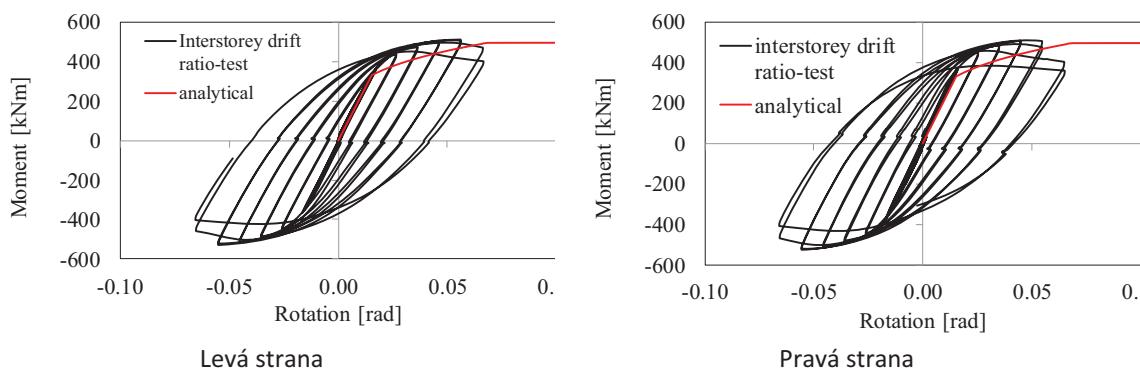
Obrázek 5.8 Validace modelu komponent na křivce závislosti natočení na momentu pro styčník ES1-TS-Esp vzorek C



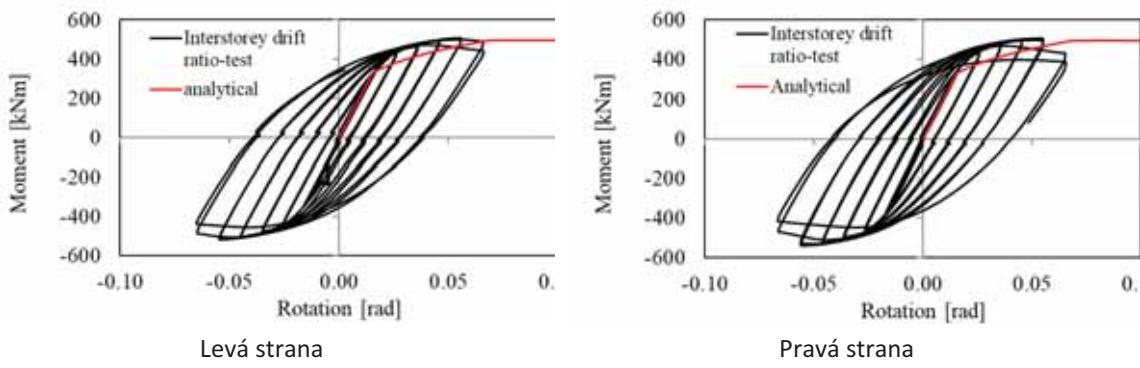
Obrázek 5.9 Validace modelu komponent na křivce závislosti natočení na momentu pro styčník ES1-TS-F vzorek C1



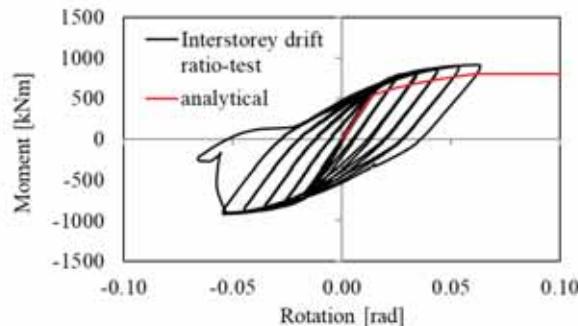
Obrázek 5.10 Validace modelu komponent na křivce závislosti natočení na momentu pro styčník ES1-TS-F vzorek C2



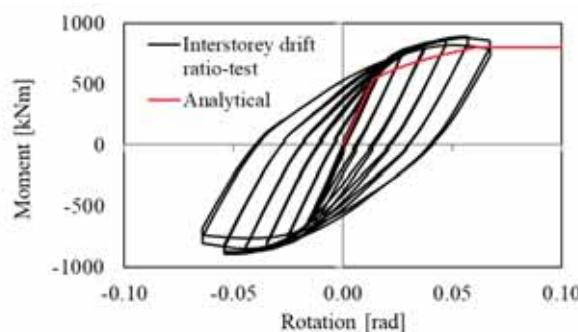
Obrázek 5.11 Validace modelu komponent na křivce závislosti natočení na momentu pro styčník ES1-XS-E vzorek C1



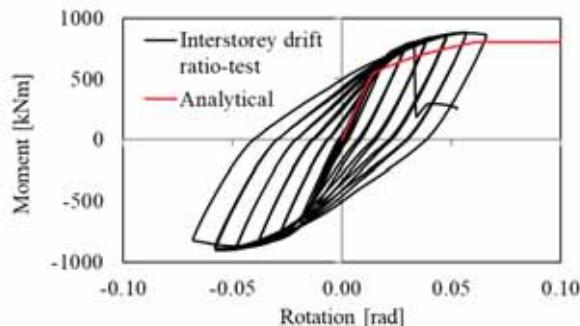
Obrázek 5.12 Validace modelu komponent na křivce závislosti natočení na momentu pro styčník ES1-XS-E vzorek C2



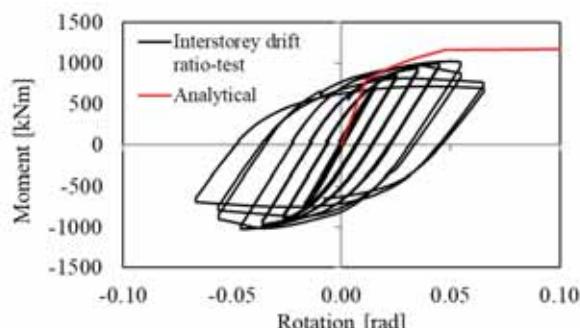
Obrázek 5.13 Validace modelu komponent na křivce závislosti natočení na momentu pro styčník ES2-TS-E vzorek C1



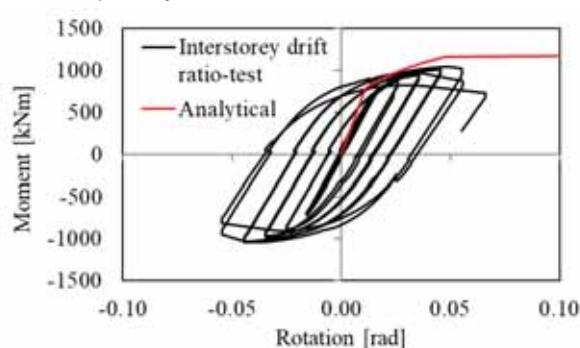
Obrázek 5.14 Validace modelu komponent na křivce závislosti natočení na momentu pro styčník ES2-TS-E vzorek C2



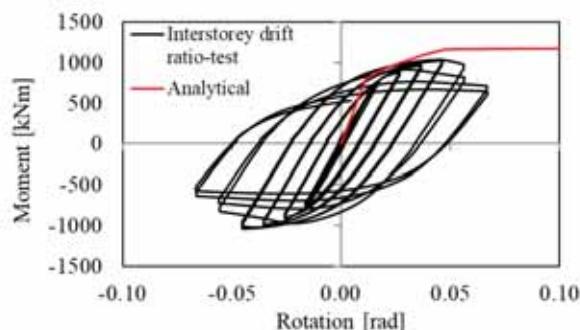
Obrázek 5.15 Validace modelu komponent na křivce závislosti natočení na momentu pro styčník ES2-TS-Esp vzorek C



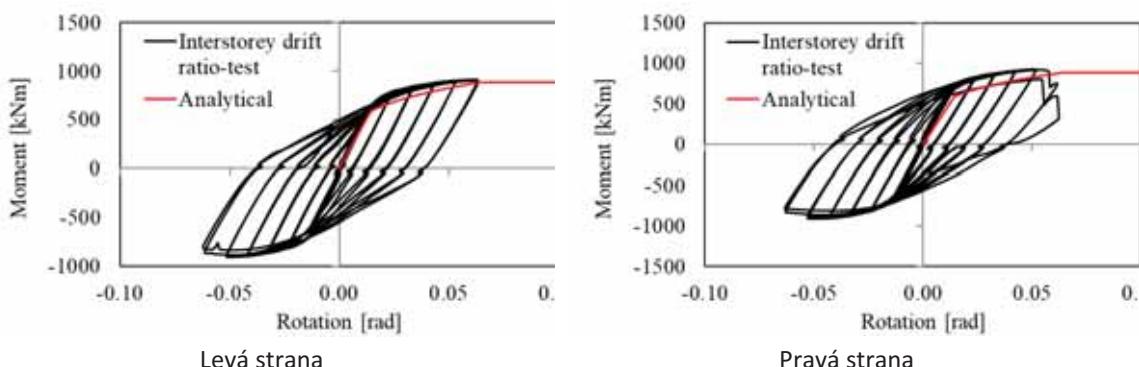
Obrázek 5.16 Validace modelu komponent na křivce závislosti natočení na momentu pro styčník ES2-TS-F vzorek C1



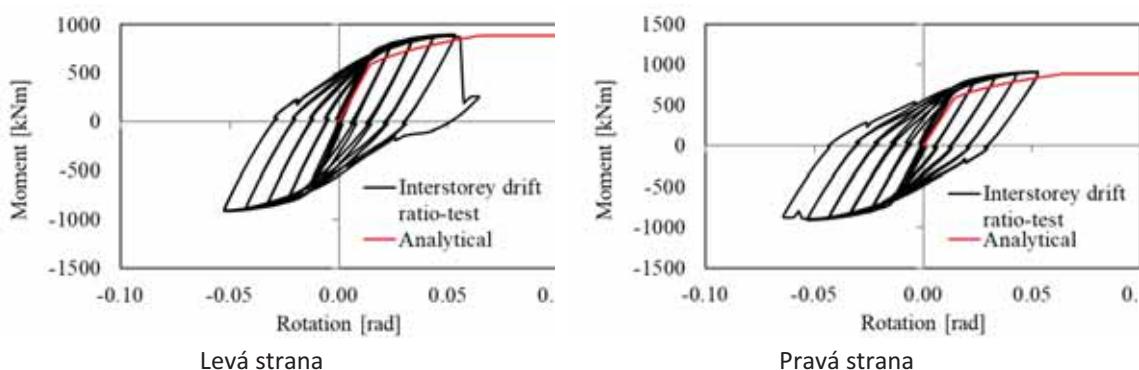
Obrázek 5.17 Validace modelu komponent na křivce závislosti natočení na momentu pro styčník ES2-TS-F vzorek C2



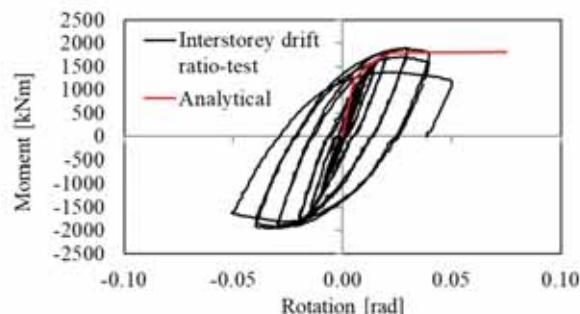
Obrázek 5.18 Validace modelu komponent na křivce závislosti natočení na momentu pro styčník ES2-TS-F vzorek CA



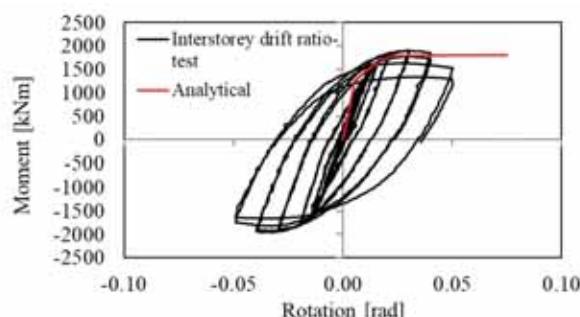
Obrázek 5.19 Validace modelu komponent na křivce závislosti natočení na momentu pro styčník ES2-XS-E vzorek C1



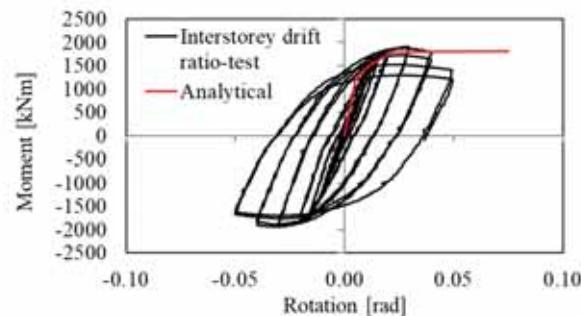
Obrázek 5.20 Validace modelu komponent na křivce závislosti natočení na momentu pro styčník ES2-XS-E vzorek C2



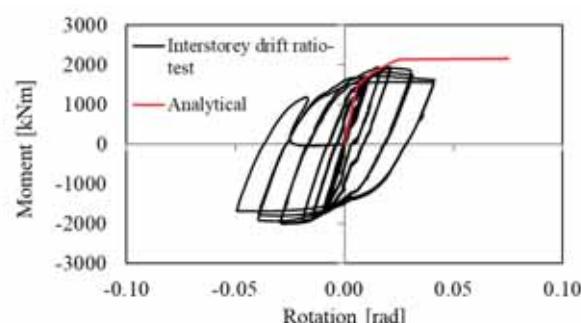
Obrázek 5.21 Validace modelu komponent na křivce závislosti natočení na momentu pro styčník ES3-TS-E vzorek C1



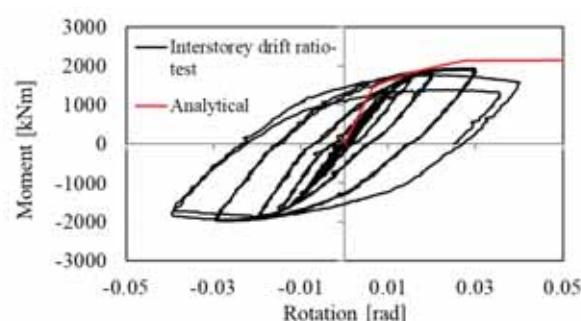
Obrázek 5.22 Validace modelu komponent na křivce závislosti natočení na momentu pro styčník ES3-TS-E vzorek C2



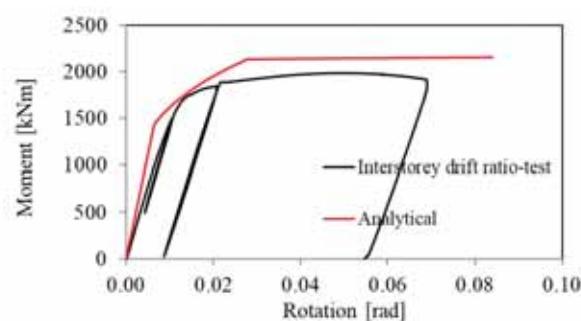
Obrázek 5.23 Validace modelu komponent na křivce závislosti natočení na momentu pro styčník ES3-TS-Esp vzorek C



Obrázek 5.24 Validace modelu komponent na křivce závislosti natočení na momentu pro styčník ES3-TS-F vzorek C1



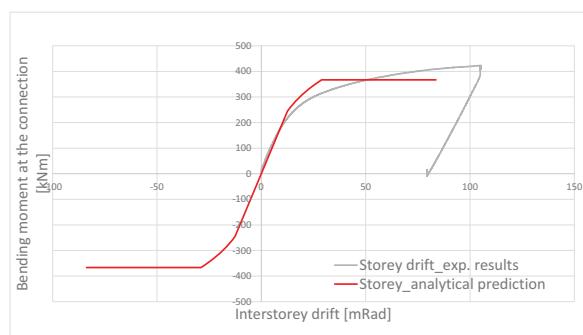
Obrázek 5.25 Validace modelu komponent na křivce závislosti natočení na momentu pro styčník ES3-TS-F vzorek C2



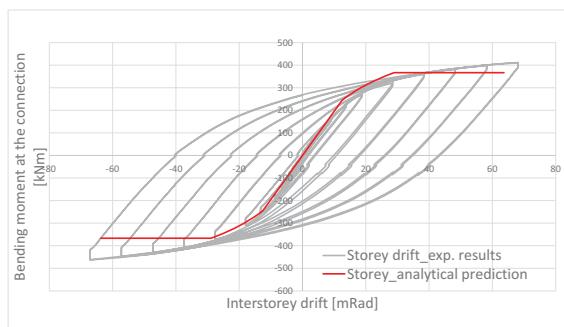
Obrázek 5.26 Validace modelu komponent na křivce závislosti natočení na momentu pro styčník ES3-TS-F vzorek M

5.4. Validace přípoje s nevyzkušenou čelní deskou

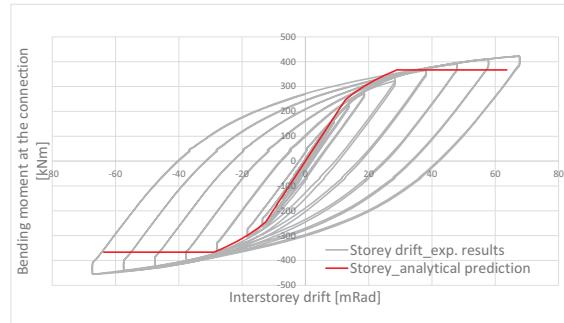
Testy byly prováděny jak na jednostranném, tak i na oboustranném uspořádání styčníku, zahrnujícím jeden nebo dva přípoje. Analytické modely styčníku byly porovnány s experimentálně změřenými křivkami závislosti celkového momentu na poměrném posunu podlaží. Únosnost styčníku, přípoje a panelu stěny sloupu, byla stanovena podle čl. 6.2.7.2EN1993:1-8). Natočení styčníku bylo stanoveno podle čl. 6.3.1EN1993:1-8.



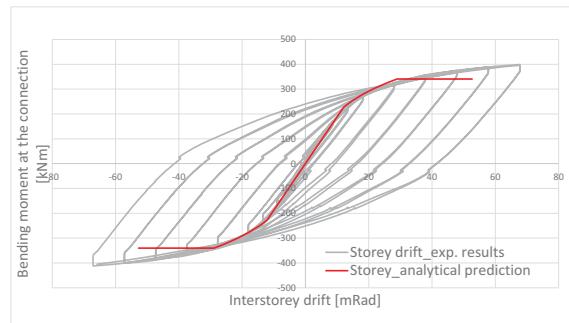
Obrázek 5.27 Validace modelu komponent na křivce závislosti natočení na momentu pro styčník E1-TB-E



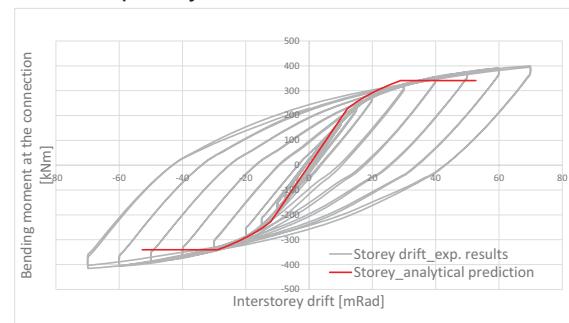
Obrázek 5.28 Validace modelu komponent na křivce závislosti natočení na momentu pro styčník E1-TB-E vzorek 1



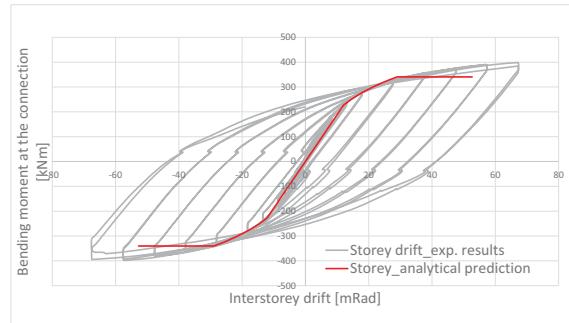
Obrázek 5.29 Validace modelu komponent na křivce závislosti natočení na momentu pro styčník E1-TB-E vzorek 2



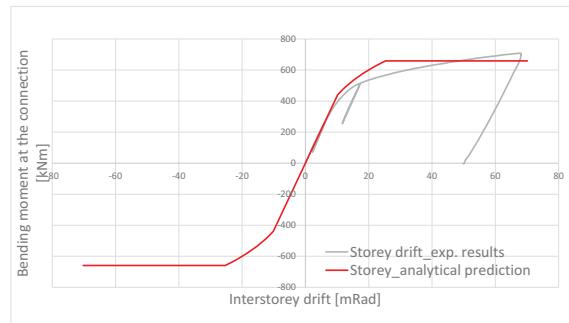
Obrázek 5.30 Validace modelu komponent na křivce závislosti natočení na momentu pro styčník E1-TB-P vzorek 1



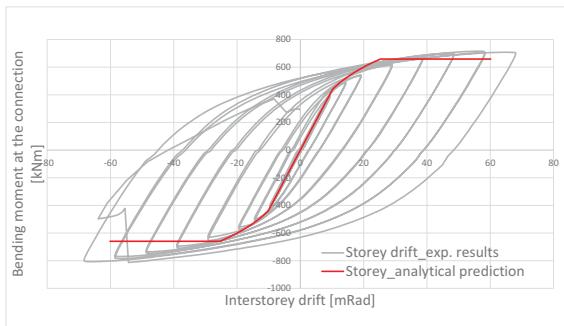
Obrázek 5.31 Validace modelu komponent na křivce závislosti natočení na momentu pro styčník E1-TB-P vzorek 2



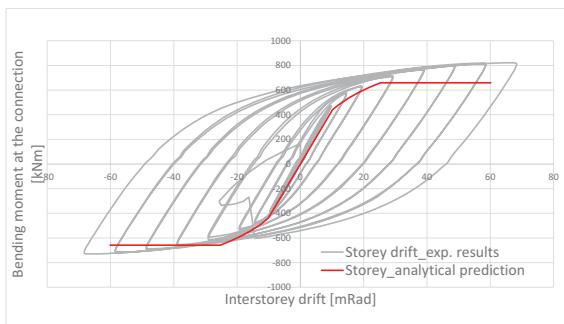
Obrázek 5.32 Validace modelu komponent na křivce závislosti natočení na momentu pro styčník E1-TB-PP



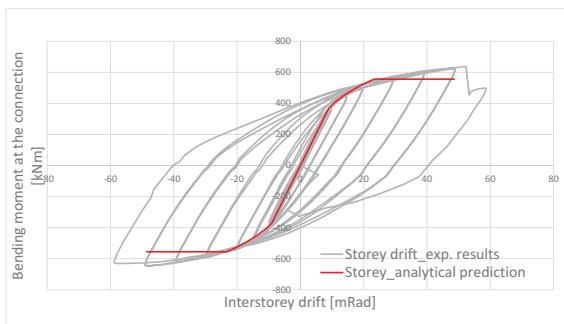
Obrázek 5.33 Validace modelu komponent na křivce závislosti natočení na momentu pro styčník E2-TB-E



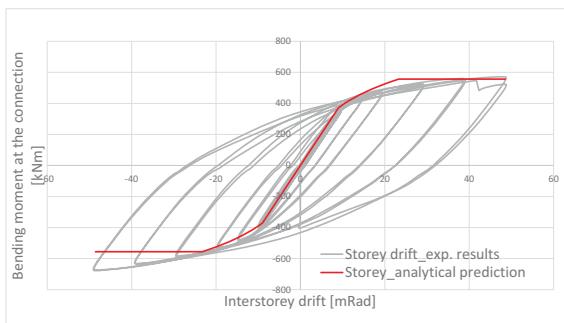
Obrázek 5.34 Validace modelu komponent na křivce závislosti natočení na momentu pro styčník E2-TB vzorek 1



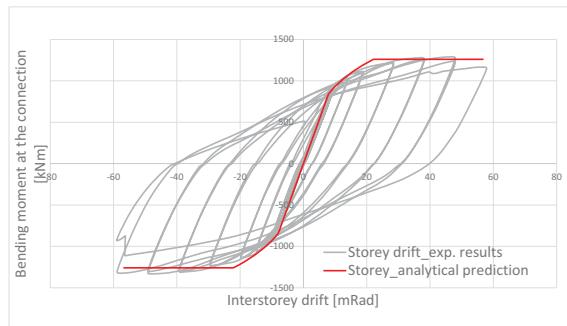
Obrázek 5.35 Validace modelu komponent na křivce závislosti natočení na momentu pro styčník E2-TB vzorek 2



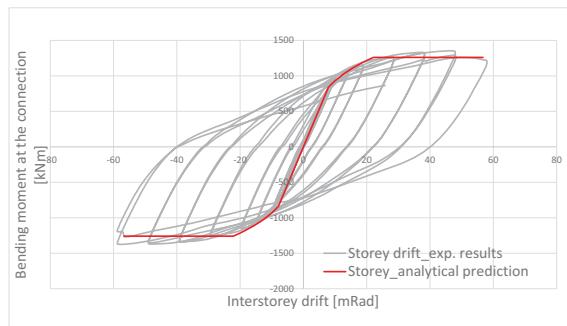
Obrázek 5.36 Validace modelu komponent na křivce závislosti natočení na momentu pro styčník E2-TB-P vzorek 1



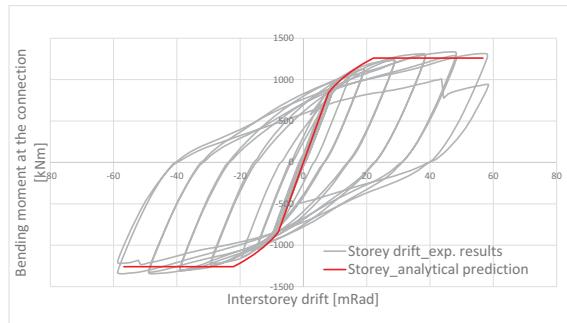
Obrázek 5.37 Validace modelu komponent na křivce závislosti natočení na momentu pro styčník E2-TB-P vzorek 2



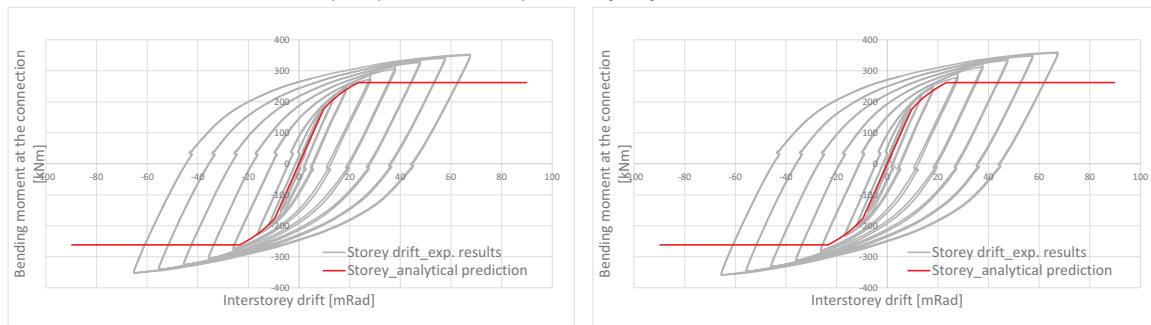
Obrázek 5.42 Validace modelu komponent na křivce závislosti natočení na momentu pro styčník E3-TB-P vzorek 1



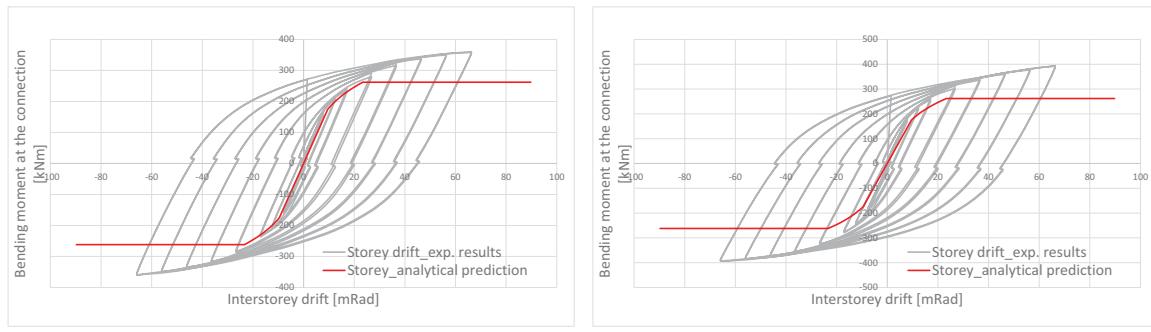
Obrázek 5.43 Validace modelu komponent na křivce závislosti natočení na momentu pro styčník E3-TB-P vzorek 2



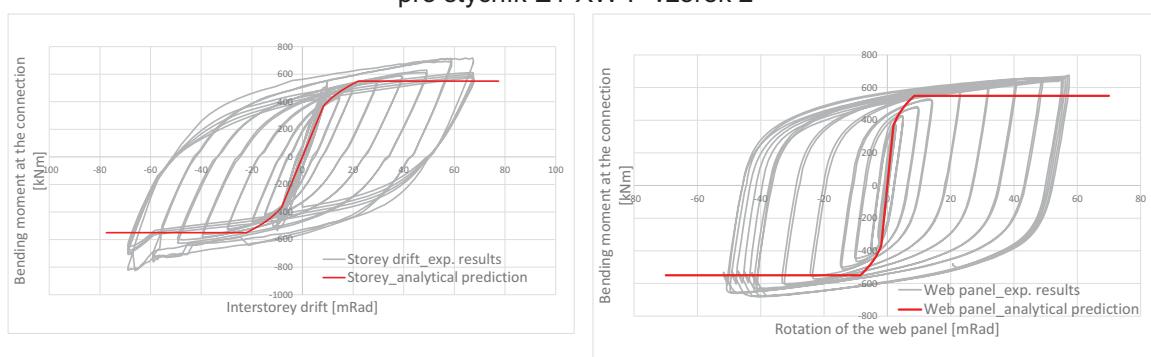
Obrázek 5.44 Validace modelu komponent na křivce závislosti natočení na momentu pro povrchově zpevněný styčník E3-TB-P



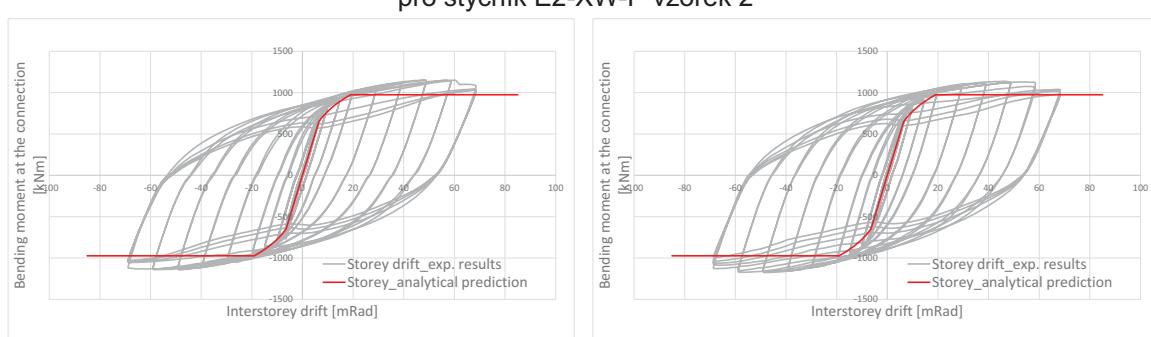
Obrázek 5.45 Validace modelu komponent na křivce závislosti natočení na momentu pro styčník E1-XW-P vzorek 1



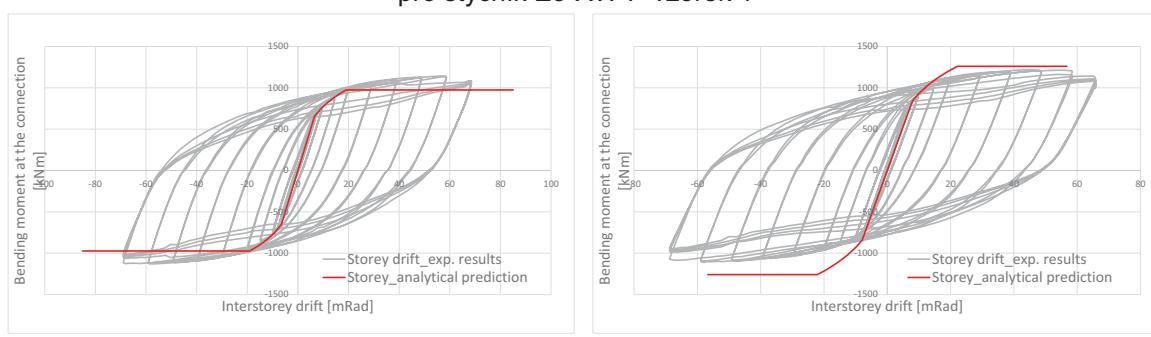
Obrázek 5.46 Validace modelu komponent na křivce závislosti natočení na momentu pro styčník E1-XW-P vzorek 2



Obrázek 5.47 Validace modelu komponent na křivce závislosti natočení na momentu pro styčník E2-XW-P vzorek 2



Obrázek 5.48 Validace modelu komponent na křivce závislosti natočení na momentu pro styčník E3-XW-P vzorek 1

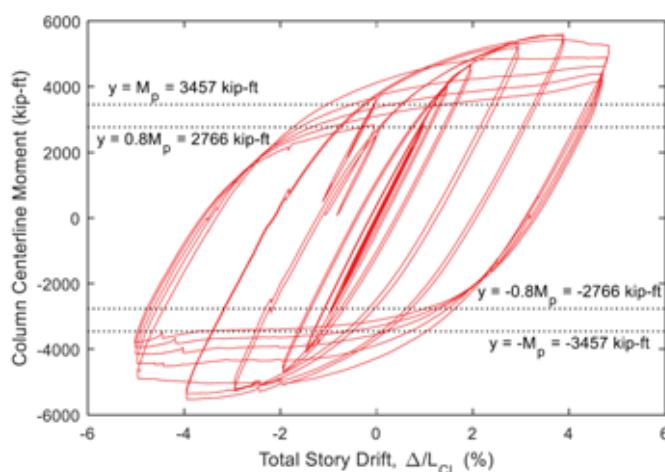


Obrázek 5.49 Validace modelu komponent na křivce závislosti natočení na momentu pro styčník E3-XW-P vzorek 2

Obrázky 5.27 až 5.49 dokládají, že analyticky stanovené hodnoty únosnosti a tuhosti se dobře shodují s experimentálními výsledky pro všechny přípoje a styčníky. Pro panely stěn sloupů, které mají výšku panelu stěny sloupu ve smyku podle čl. 6.2.7.2 v EN 1993-1-8:2006 jsou výsledky dobré. Když je výška panelu uvažována jako vzdálenost mezi těžištěm a pásnicí nosníku obr. 6.15 v EN 1993-1-8:2006 není odhad únosnosti panelu bezpečný.

5.5. Validace přípoje s oslabeným nosníkem

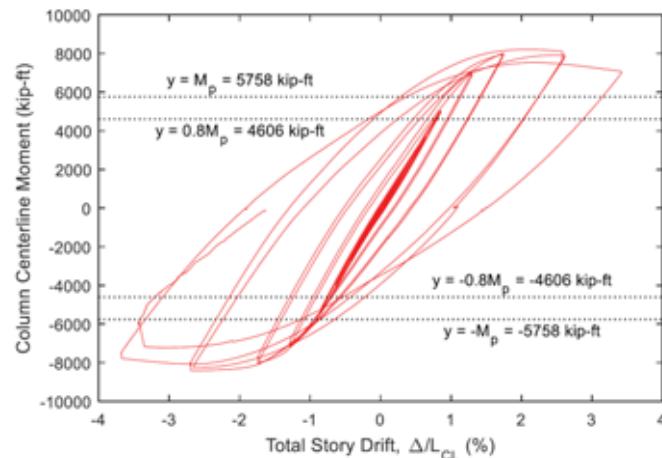
Obrázky 5.50 a 5.51 ukazují závislost působícího momentu na poměrném natočení styčníku vzorků SP2 a SP4. U vzorku SP2, byla dosažena maximální síla 293 kips (1 303,33 kN) během cyklu při 4 % poměrném natočení nosníku. Pružná tuhost vzorku byla přibližně 75 k/in (13,13 kN/mm). Vzorek do 1 % poměrného natočení vykazoval pružné chování. Nelineární chování nastalo při 2 % poměrného natočení nosníku. K lokální ztrátě stability stojiny začalo docházet při 3 %, viditelná lokální ztráta stability pásnic nastala při 4 %. Následující dva cykly byly provedeny při 4 % poměrném natočení nosníku. Pět vzorků bylo zkoušeno při 5 % poměrném natočení nosníku. K porušení došlo nízkocyklovou únavou. Během posledního cyklu horní i dolní pásnice v redukované části místo boulily.



Obrázek 5.50 Závislost poměrného natočení nosníku na momentu ve středu sloupu pro svařovaný styčník s oslabeným nosníkem, vzorek SP2

Jak je uvedeno, odezva SP2 při cyklech se 4 % poměrném natočení nosníku, moment přenesený testovaným nosníkem dosáhl hodnoty 80% plastické ohybové únosnosti M_p . Totéž platí pro experimenty s 5 % poměrným natočením nosníku. To splňuje kritéria pro speciální rámy přenášející moment, jak je popsáno v oddílu E3.6 normy AISC 341-10 (2010). Po prvních cyklech testování dominantně přispívá k poměrnému natočení nosníku plastická deformace. Vzhledem k tomu, že nosníky s redukovanou pásnicí začínají plastifikovat s následně většími deformacemi, vzniká v redukované části nosníku plastický kloub a většina natočení ve spoji nastane v

redukovaném úseku. Také na začátku testu, kdy je odezva z velké části pružná, je příspěvek zóny panelu významný. Toto se postupně snižuje se zvyšujícími se úrovněmi plasticity, protože disipace se koncertuje v redukované části nosníku.



Obrázek 5.51: Závislost poměrného natočení nosníku na momentu ve středu sloupu pro svařovaný styčník s oslabeným nosníkem, vzorek SP4

Pro vzorek SP4 byla získána velmi podobná odezva. Byl použit stejný postup jako pro SP2 založený na AISC341-10 (2010). Test byl proveden s poměrným natočením nosníku na 4% a následně byl ukončen kvůli omezení z důvodu ztráty příčné a torzní stability, což mělo za následek významnou deformaci v rovině a významné torzní deformace průřezu sloupu.

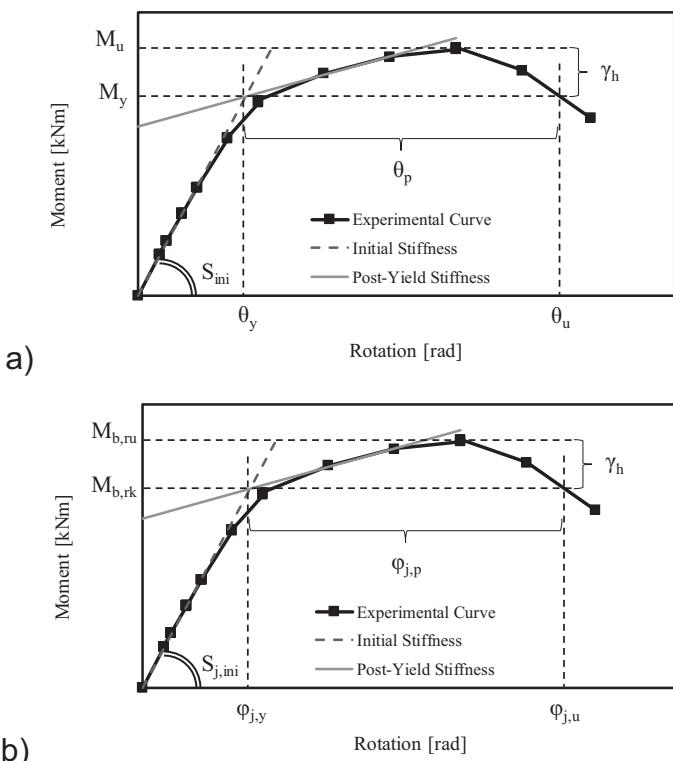
Vzorek vykazoval převážně lineární elastickou odezvu až do 1 % poměrného natočení nosníku. Při 2 % poměrném natočení nosníku se začalo projevovat značné neelastické chování. Plastifikace a lokální ztráta stability stojiny se začala projevovat kolem 3 % poměrného natočení nosníku. Při poměrné natočení nosníku 4 % došlo k viditelné lokální ztrátě stability pásnic, k významné degradaci pevnosti a závažnějšímu vybočení stojiny. Zkouška byla ukončena při poměrném natočení nosníku blížícímu se 4 % kvůli omezení použitého výztužného systému.

Podobně jako u spoje SP2, únosnost spoje SP4 překročila hodnotu 80 % plastické ohybové únosnosti nosníku při cyklu 4 % poměrného natočení nosníku. Nutno zdůraznit, že na obrázku je moment vypočítán k těžišti sloupu v souladu s AISC 341-10, tudíž se zdá, že výrazně překračuje M_p , zatímco rozpětí zvýšené pevnosti je ve skutečnosti nižší. Poměr mezi aplikovaným momentem v redukované části nosníku a momentovou únosností redukované části nosníku je stále větší než 80% plastické únosnosti.

V části K2.8 v AISC 341-10 (2010) se pro předem navržené přípoje nosníku na sloup uvádí, že požadavky musí být splněny jak pro únosnost, tak pro poměrné natočení nosníku. Pro speciální prutové ohybové tuhé konstrukce se pro poměrné

6. Model cyklického namáhání

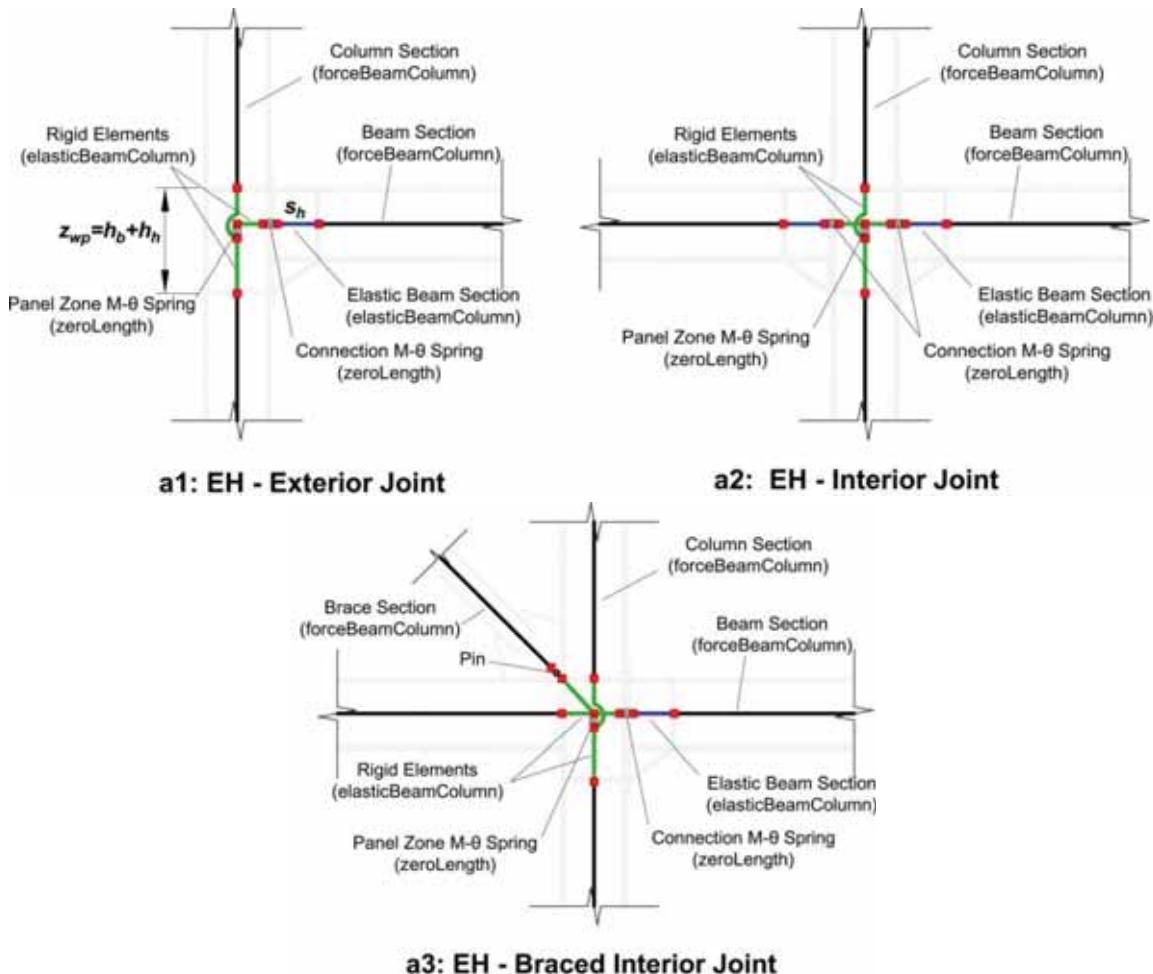
Součinitele popisující parametry chování styčníku při cyklickém namáhání jsou shrnutý na obrázku 6.1. Pro spoje s náběhem a s čelní deskou jsou na obrázku 6.1a. Energie se zde disipuje v nosníku, jehož chování ovlivní náběh a výztuha. U nevyzkušeného přípoje se deformuje a disipuje energii přípoj a panel stěny sloupu ve smyku. Chování je popsáno namáháním a natočením, obrázek 6.1b. Tomu odpovídají použité symboly.



Obrázek 6.1: Definice popisu chování a) na natočení pasu nosníku podle AISC341-16 a EN1998-1; b) na natočení přípoje a panelu sloupu ve styčníku podle EN1993:1-8.

6.1. Přípoj s náběhem

Model styčníku s náběhem se uvažuje jako a1) vnější, a2) vnitřní pro ohybově tuhou prutovou soustavu a a3) vnitřní pro vyzkušenou prutovou soustavu s ohybově tuhými styčníky, tj. pro ohybově tuhou soustavu s centricky nebo excentricky připojenými diagonálami. Výška panelu se předpokládá $h_b + h_h$, obrázek 6.2. Ohybově tuhé nosníky jsou na konci o délce s_h od líce sloupu navrženy, aby se chovaly pružně. Předpokládá se, že diagonála ztužidla je připojena k tuhému rameni panelu stěny sloupu.



Obrázek 6.2: Uvažování styčníku s náběhem v globální analýze,
a1) vnější, a2) vnitřní a a3) s diagonálou

Pro základní geometrie prutových soustav s předem navrženými styčníky byl numerickou simulací validovanou experimenty připraven předběžný odhad tuhosti a únosnosti. Řešení je správné v hranicích studie. Uvažovaly se nosníky IPE360 - IPE600 na rozpětí 6,0 m - 8,0 m, konstrukční výška podlaží 3,5 m - 4,0 m. Únosnost je vztažena k plastické momentové únosnosti nosníku v lící sloupu $M_{el,b,cg,Rd}$. Ohybová tuhost pak k ohybové tuhosti nosníku $s_b = EI_b / L_b$

Styčník	Geometrie	Únosnost		Tuhost	
		Připoj	Panel stěny sloupu	Připoj	Panel stěny sloupu
EH-S: Styčník a panel s	$h_h / h_b = 0.45$ $s_h / h_b = 0.65$ $z_{wp} = h_b + h_h$	$\frac{M_{j,Rd}^n}{M_{pl,b,cg,Rd}^e} = 1.3$	Vnější styčník $\frac{V_{wp,Rd}^n \cdot z_{wp}}{M_{pl,b,cg,Rd}^e} = 1.65$	$\frac{s_{con,ini}}{s_b} = 80$	Vnější styčník $\frac{s_{wp,ini}}{s_b} = 55$

plnou únosností			Vnější styčník $\frac{V_{wp,Rd}^n \cdot z_{wp}}{2 \cdot M_{pl,b,cf,Rd}^e} = 1.65$		Vnitřní styčník $\frac{s_{wp,ini}}{2 \cdot s_b} = 55$
EH-B: Styčník s plnou a panel se stejnou únosností	$h_h / h_b = 0.45$ $s_h / h_b = 0.65$ $z_{wp} = h_b + h_h$	$\frac{M_{j,Rd}^n}{M_{pl,b,cf,Rd}^e} = 1.3$	Vnitřní styčník $\frac{V_{wp,Rd}^n \cdot z_{wp}}{M_{pl,b,cf,Rd}^e} = 1.0$ Vnitřní styčník panelu	$\frac{s_{con,ini}}{s_b} = 65$	Vnitřní styčník $\frac{s_{wp,ini}}{2 \cdot s_b} = 31$

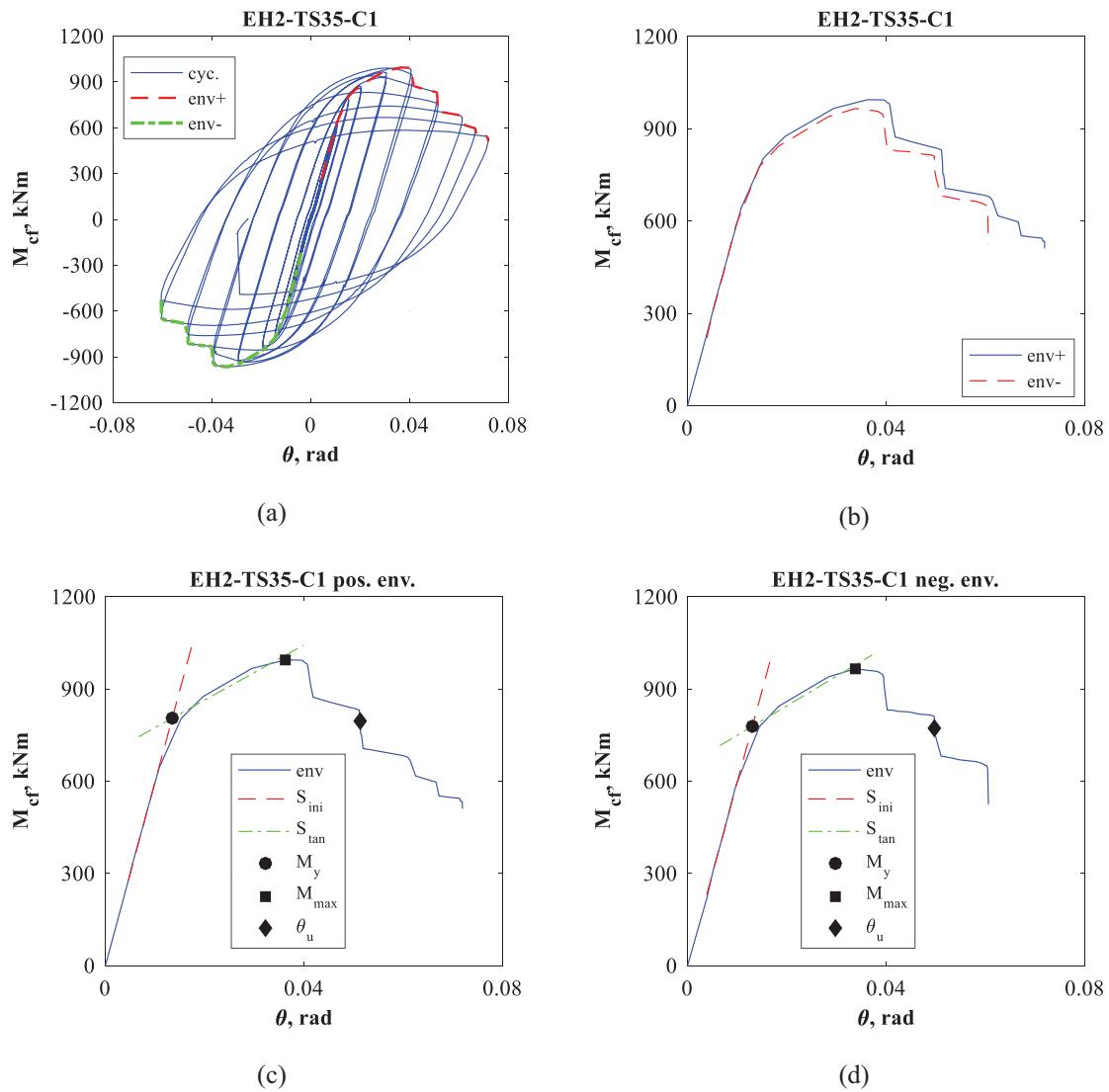
Poznámka:

- i) U přípoje se předpokládá pružné plasticke chování se zpevněním 1 %. Předpokládá se omezení podle tabulky 9-6 v ASCE 41-13 na 18 mrad. Chování styčníku lze uvažovat jako bilineární podle modifikovaného Ibarra-Medina-Krawinkler modelu.
- ii) Panel stěny sloupu ve smyku se uvažuje trilineární, viz (Gupta a Krawinkler, 1999). Únosnost odpovídá počátku plastifikace. Zpevnění se předpokládá 1,5 %. V nástroji OpenSEES se uvažuje materiál Hysteretic nebo Steel02.
- iii) Pro model panelu (a) je schéma tvořeno tuhými prvky a klobuby nebo (b) pro Joint2D makro-model se využije stejný model ale s pružinou, Tuhost pružiny je pak případě $s_{wp} = (V_{wp} / \gamma) z_{wp}$.
- iv) Pokud se panel modeluje nůžkami pomocí Krawinklerova postupu, je třeba modifikovat hodnoty únosnosti a tuhosti podle (Charney a Downs, 2004).

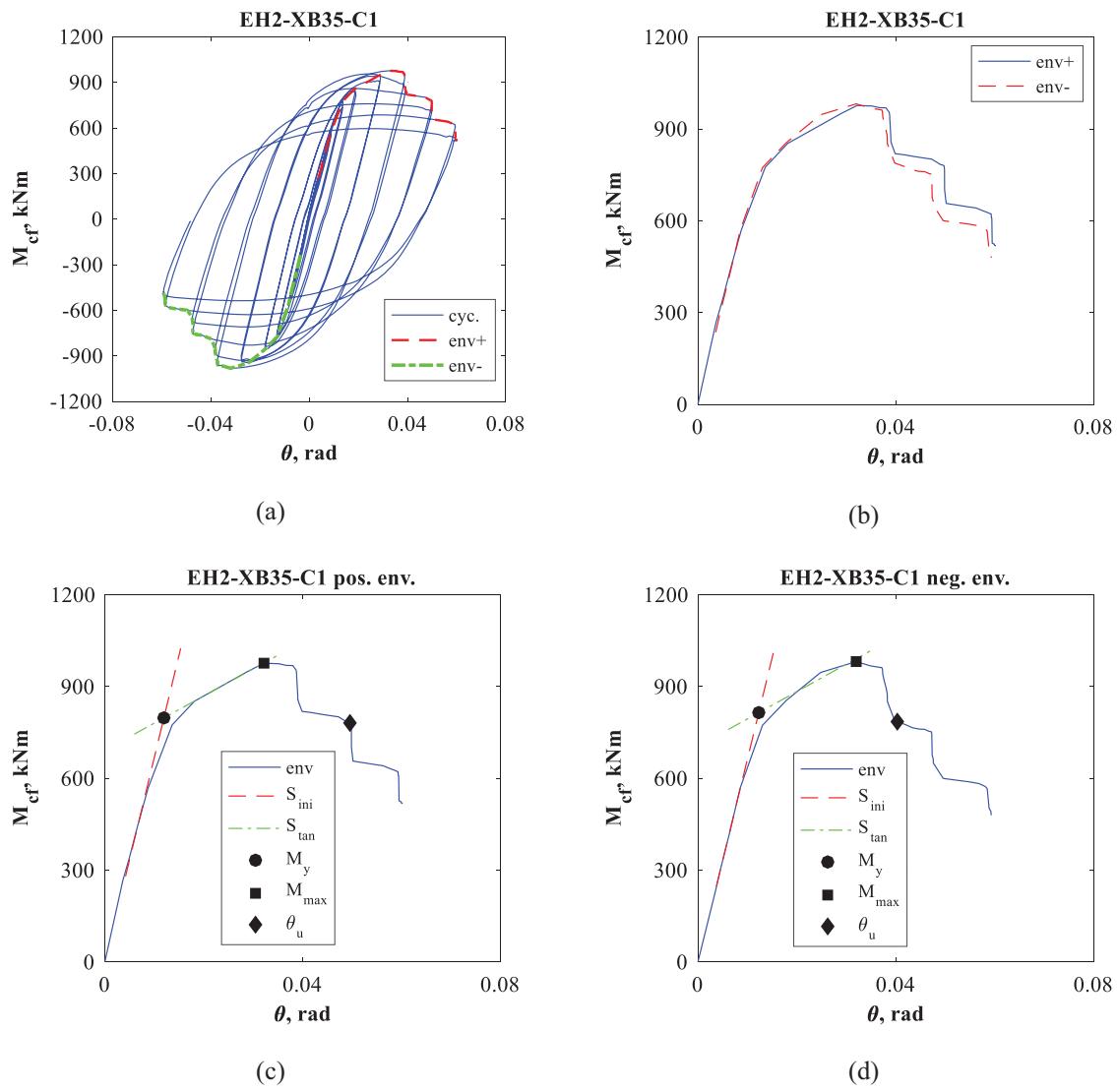
6.1.1. Výsledky zkoušek

Součinitele popisujících chování jsou připraveny z obálky výsledků experimentů. Do největšího ohybového momentu byla obálka zkonstruována z nejvyšších hodnot v každém cyklu. Za nejvyšším momentem se využila daná deformace. Obrázek 6.3a ukazuje obálku pro kladné a záporné hodnoty pro jednostranný styčník EH2-TS35-C1. Obrázek 6.4a obálku pro kladné a záporné hodnoty pro oboustranný styčník EH2-XB35-C1. Počáteční tuhost S_{ini} byla určena pro sečnou tuhost při 0,7 únosnosti M_{max} . Průžný ohybový moment M_y byl stanoven jako průsečík počáteční a sečné tuhosti, obrázky 6.3b a 6.4b, která protíná body 0,8 M_{max} a M_{max} . Mezní deformace byla určena pro pokles momentu na 80 %, obrázky 6.3b a 6.4b. Charakteristiky byly pro každý experiment počítány pro kladnou i zápornou část křivky. Pro počáteční tuhost S_{ini} , průžný ohybový moment M_y a maximální moment M_{max} byly stanoveny průměrné hodnoty z kladné a záporné části křivky. Pro mezní natočení θ_u se uvažovala nejmenší hodnota. Takto stanovené hodnoty jsou shrnutы v 6.1. Dále byl

jako poměr M_{max} a M_y stanoven součinitel zpevnění γ_h a plastické mezní natočení $\theta_{pl,u}$, které se stanoví z θ_u odečtením pružné části, která odpovídá M_y .



Obrázek 6.3: Styčník v experimentu EH2-TS35-C1, a) Hysterická křivka její obálka; b) kladná a záporná část c); popis křivky moment natočení $M_{cf} - \theta$ pro kladnou část obálky; d) popis křivky moment natočení $M_{cf} - \theta$ pro zápornou část obálky



Obrázek 6.4: Styčník v experimentu EH2-XB5-C1, a) Hysterická křivka její obálka; b) kladná a záporná část c); popis křivky moment natočení M_{cf} - θ pro kladnou část obálky; d) popis křivky moment natočení M_{cf} - θ pro zápornou část obálky

Součinitel zpevnění je pro různé vzorky obdobný, asi $\gamma_h = 1,21$. Mezní natočení θ_u je obecně větší než 0,04 rad, což je více než se pro prutové konstrukce požaduje v ANSI/AISC 341-16. Mezní natočení θ_u se s výškou nosníku zvyšuje. Pro velké nosníky s náběhem sklonu 45° , vzorky EH3-TS45-C1 a EH3-TS45-C2, hodnota poklesla pod požadovanou hodnotu jen na asi 0,037 rad. Také plastické natočení θ_p je větší než 0,03 rad vyjma velkých vzorků, EH3-TS45-C1 a EH3-TS45-C2, s náběhem sklonu 45° , pro které bylo získáno 0,027.

Vzorek EH2-XB35-C1, oboustranný styčník nosníku průřezu IPE450 s náběhem 35°, vykázal malá mezní $\theta_u = 0,040$ rad a $\theta_p = 0,038$ rad). Pro vysoké průřezy nosníků a malá rozpětí začíná mít smykové chování významnější vliv.

Tabulka 6.1: Hodnoty zkoušených přípojů s náběhy (EN 1998-1)

Vzorek	S_{ini} [kNm/rad]	M_y [kNm]	M_{max} [kNm]	γ_h	θ_u [rad]	θ_p [rad]
EH1-TS35-C1	30674,5	468,1	578,4	1,24	0,057	0,041
EH1-TS35-C2	29377,0	471,6	583,3	1,24	0,050	0,034
EH1-TS35-CA	30585,9	472,4	586,5	1,24	0,052	0,036
EH1-TS45-C1	30537,6	468,1	573,1	1,22	0,050	0,035
EH1-TS45-C2	30618,6	461,8	572,4	1,24	0,049	0,034
EH1-TSO-35-C	30629,2	541,2	650,1	1,20	0,057	0,041
EH2-TS35-M	56741,9	795,5	931,7	1,17	0,118	0,105
EH2-TS35-C1	59699,5	792,0	980,2	1,24	0,050	0,037
EH2-TS35-C2	60740,4	831,5	989,1	1,19	0,050	0,036
EH2-TS35-CA	59540,6	814,5	995,5	1,22	0,049	0,034
EH2-TS45-C1	60290,7	801,8	963,5	1,20	0,042	0,029
EH2-TS45-C2	59986,7	800,4	987,0	1,23	0,049	0,035
EH2-TS45-M	60969,3	798,6	957,2	1,20	0,123	0,110
EH3-TS35-C1	149595,3	1886,5	2232,3	1,18	0,045	0,033
EH3-TS35-C2	142546,6	1956,3	2240,7	1,15	0,044	0,033
EH3-TS35-CA	146423,8	1971,4	2217,9	1,13	0,046	0,034
EH3-TSO35-C	140557,6	1962,9	2376,9	1,21	0,050	0,036
EH3-TS45-C1	153141,9	1554,7	1939,4	1,25	0,037	0,027
EH3-TS45-C2	144779,7	1560,2	1956,3	1,25	0,038	0,028
EH1-XB35-C1	27229,1	469,6	562,5	1,20	0,070	0,052
EH1-XB35-C2	29290,7	436,3	557,5	1,28	0,056	0,041
EH2-XB35-C1	66494,3	806,5	979,3	1,21	0,040	0,028
EH2-XB35-C2	65565,3	809,9	987,0	1,22	0,045	0,033
EH2-XB35-M	62344,2	807,2	952,2	1,18	0,112	0,100

V tabulce 6.1 jsou shrnutý počáteční tuhost S_{ini} , pružný ohybový moment M_y , mezní únosnost M_{max} , součinitel zpevnění γ_h , mezní natočení θ_u a plastické natočení θ_p změřené na vzorcích s náběhem.

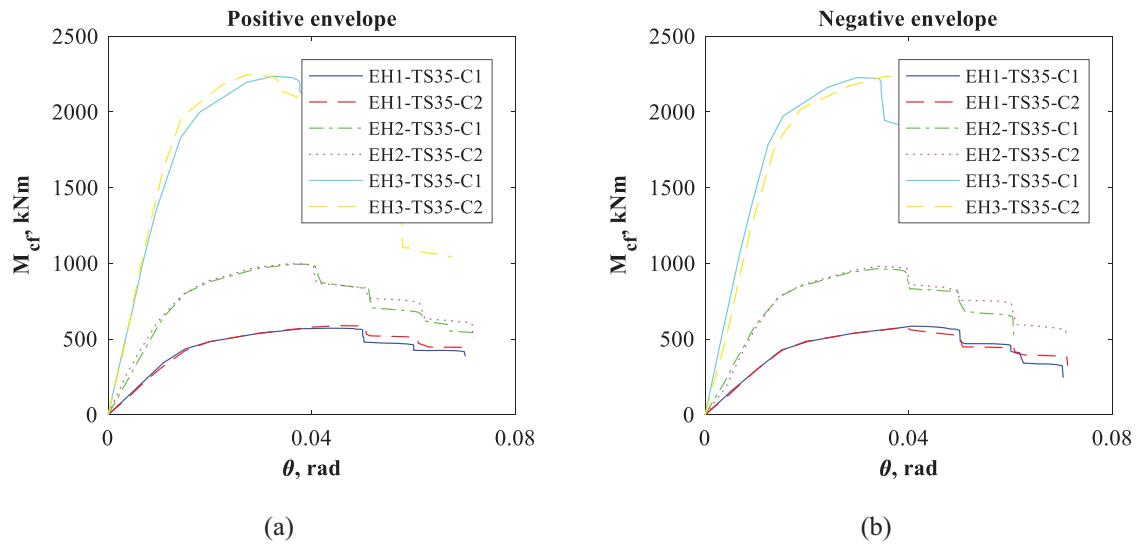
V tabulce 6.2 jsou ukázány hodnoty mezního natočení θ_u a plastického natočení θ_p pro kladnou a zápornou část obálky křivek. Negativní větev je obecně menší než kladná.

Tabulka 6.2: Hodnoty ze zkoušek styčníků s náběhem

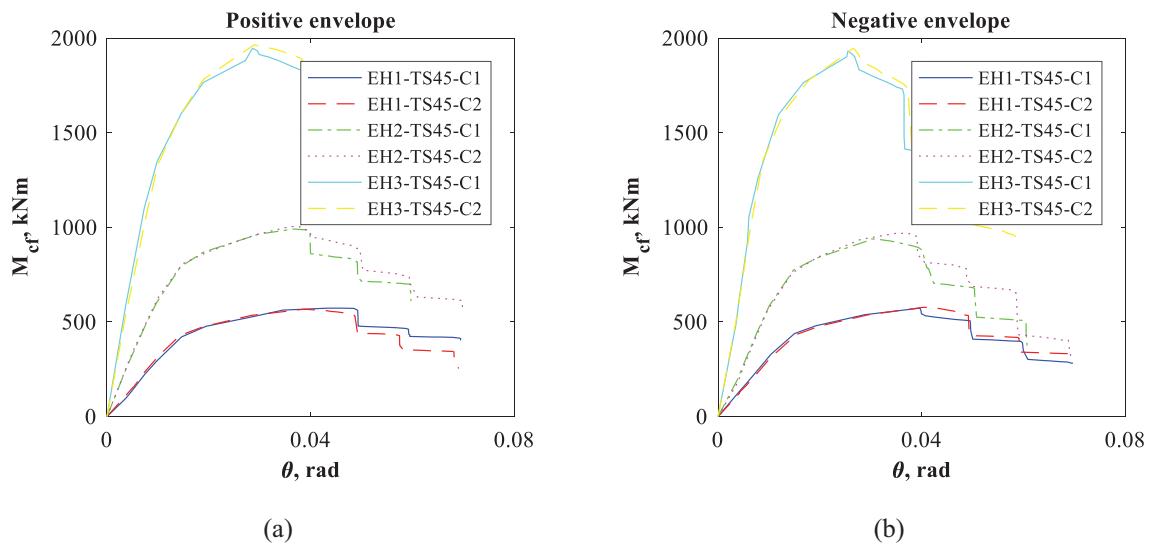
Vzorek	θ_u [rad]			θ_u [rad]		
	Kladný	Záporný	Min	Kladný	Záporný	Min
EH1-TS35-C1	0,060	0,057	0,057	0,046	0,041	0,041
EH1-TS35-C2	0,061	0,050	0,050	0,045	0,034	0,034
EH1-TS35-CA	0,052	0,065	0,052	0,036	0,050	0,036
EH1-TS45-C1	0,059	0,050	0,050	0,044	0,035	0,035
EH1-TS45-C2	0,049	0,049	0,049	0,035	0,034	0,034
EH1-TSO-35-C	0,057	0,060	0,057	0,041	0,042	0,041
EH2-TS35-C1	0,118	-	0,118	0,105	-	0,105
EH2-TS35-C2	0,051	0,050	0,050	0,038	0,037	0,037
EH2-TS35-CA	0,051	0,050	0,050	0,039	0,036	0,036
EH2-TS35-M	0,057	0,049	0,049	0,045	0,034	0,034
EH2-TS45-C1	0,049	0,042	0,042	0,037	0,029	0,029
EH2-TS45-C2	0,050	0,049	0,049	0,038	0,035	0,035
EH2-TS45-M	0,123	-	0,123	0,110	-	0,110
EH3-TS35-C1	0,048	0,045	0,045	0,036	0,033	0,033
EH3-TS35-C2	0,044	0,049	0,044	0,033	0,036	0,033
EH3-TS35-CA	0,048	0,046	0,046	0,035	0,034	0,034
EH3-TSO35-C	0,050	0,050	0,050	0,036	0,037	0,036
EH3-TS45-C1	0,040	0,037	0,037	0,029	0,027	0,027
EH3-TS45-C2	0,040	0,038	0,038	0,029	0,028	0,028
EH1-XB35-C1	0,070	0,070	0,070	0,055	0,052	0,052
EH1-XB35-C2	0,056	0,060	0,056	0,041	0,045	0,041
EH2-XB35-C1	0,050	0,040	0,040	0,038	0,028	0,028
EH2-XB35-C2	0,050	0,045	0,045	0,038	0,033	0,033
EH2-XB35-M	0,112	-	0,112	0,100	-	0,100

6.1.2. Výška nosníku

Vliv výšky nosníku je dokumentován na obrázku 6.5 pro jednostranný styčník s náběhem pod úhlem 35° a na obrázku 6.6 pro náběh pod úhlem 45° . Při nárůstu výšky nosníku se projevilo později boulení a křivka po vrcholu má menší sklon pro oba úhly náběhu. S výškou průřezu nosníků se mezní hodnota natočení výrazně zvyšuje.



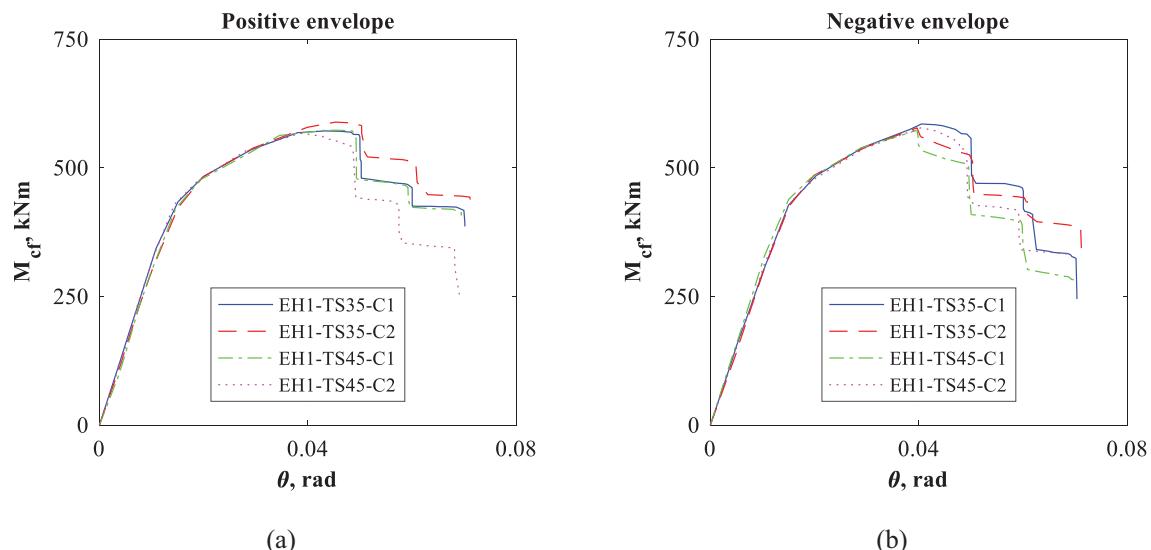
Obrázek 6.5: Vliv výšky nosníku pro jednostranný náběh se sklonem 35° ,
a) kladná část; b) záporná část



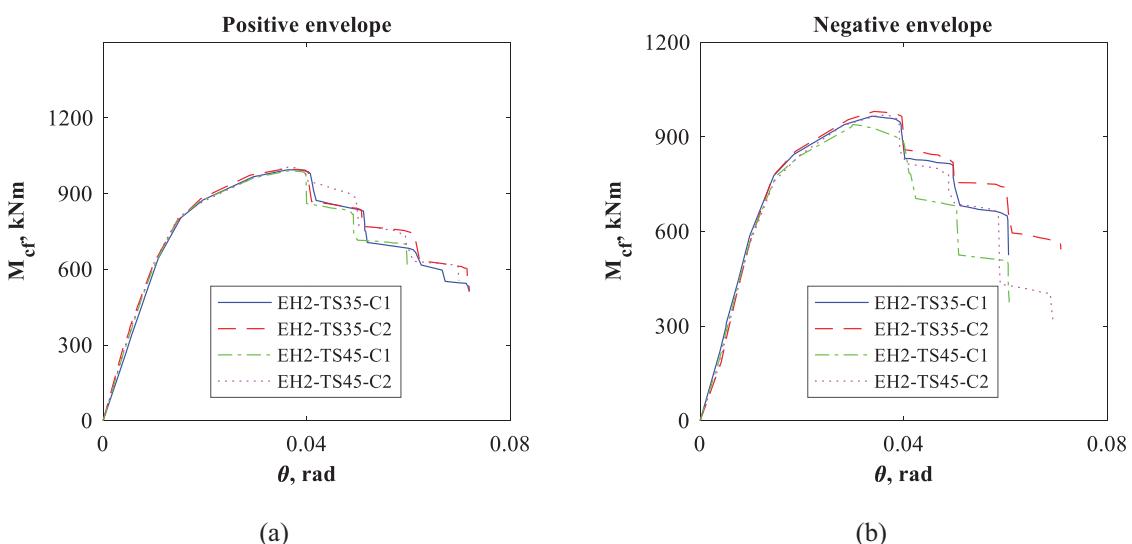
Obrázek 6.6: Vliv výšky nosníku pro jednostranný náběh se sklonem 45° ,
a) kladná část; b) záporná část

6.1.3. Výška náběhu

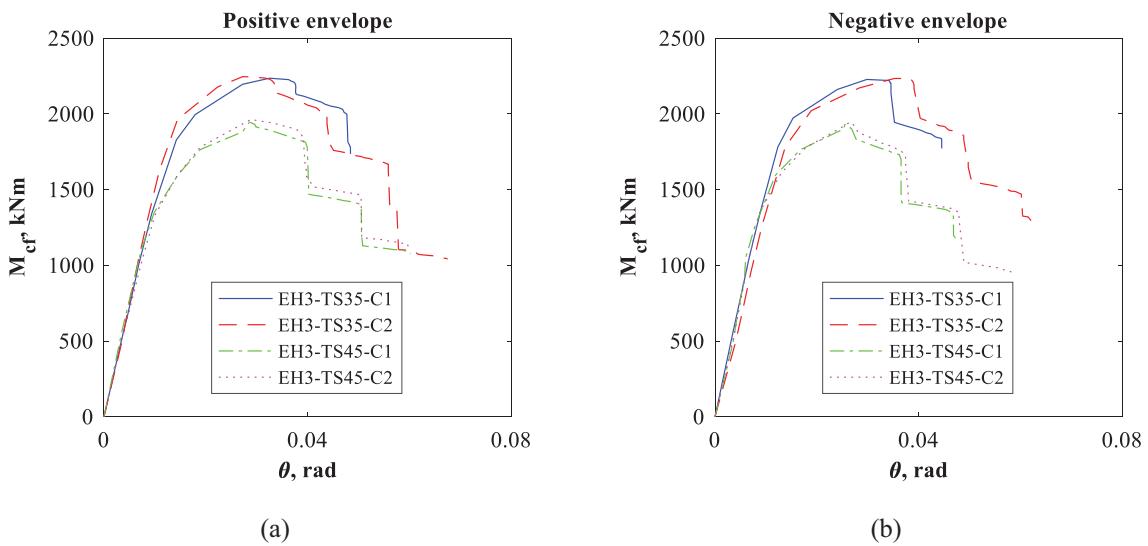
Vliv výšky náběhu byl připraven porovnáním výsledků experimentů, tabulka 2.3. Z obálky grafu na obrázku 6.7 a 6.8 a hodnot v tabulce 6.1 je vidět, že vzorek s náběhem 45° vykazuje rychlejší pokles únosnosti a menší mezní natočení. Pokles je malý pro malé nosníky IPE360 ale významný pro větší IPE450 a IPE600. Větší únosnost vzorku EH3-TS35 vůči EH3-TS45 vznikla rozdílnými materiálovými vlažnostmi obou vzorků



Obrázek 6.7: Vliv výšky náběhu pro vzorky s nosníky IPE360 a) kladná část; b) záporná část



Obrázek 6.8: Vliv výšky náběhu pro vzorky s nosníky IPE450 a) kladná část; b) záporná část

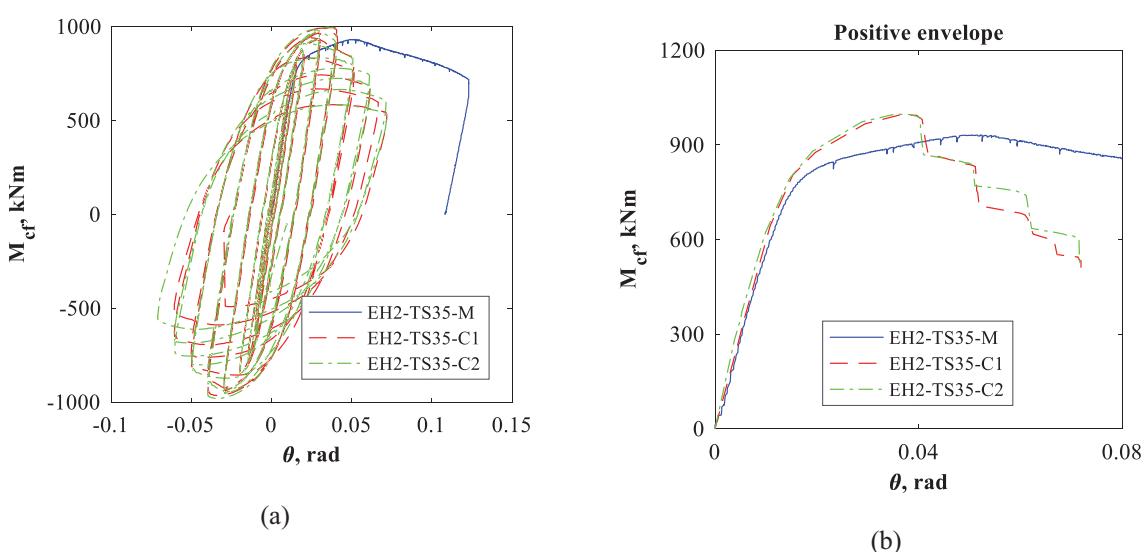


Obrázek 6.7: Vliv výšky náběhu pro vzorky s nosníky IPE600 a) kladná část; b) záporná část

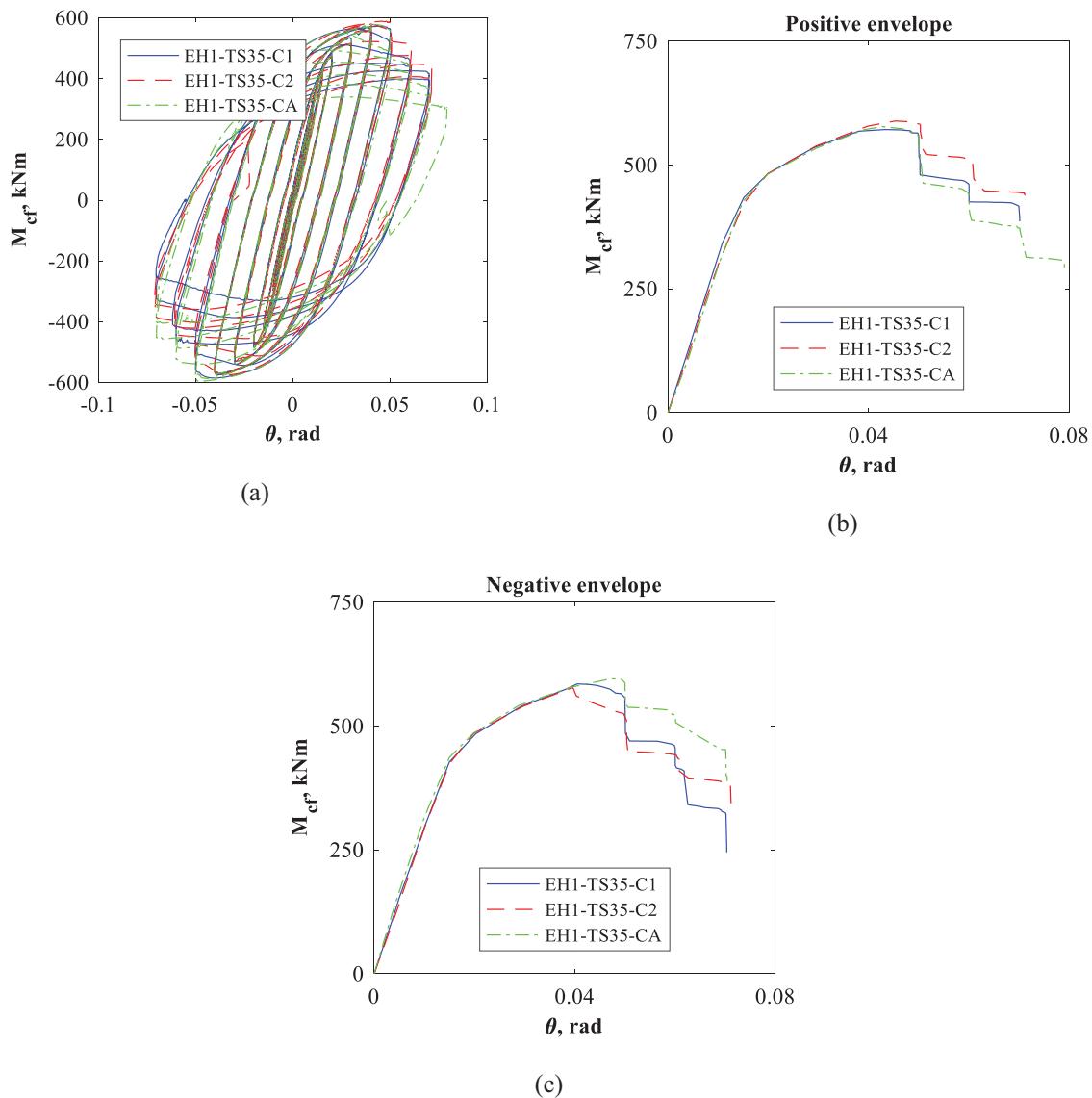
6.1.4. Zatěžování

Na obrázku 6.10 jsou porovnány pro vzorky EH2-TS35 monotónní a cyklické namáhání. Při cyklickém roste vlivem izotropického zpevnění maximální moment a klesá deformační kapacita. Počáteční tuhost se nemění.

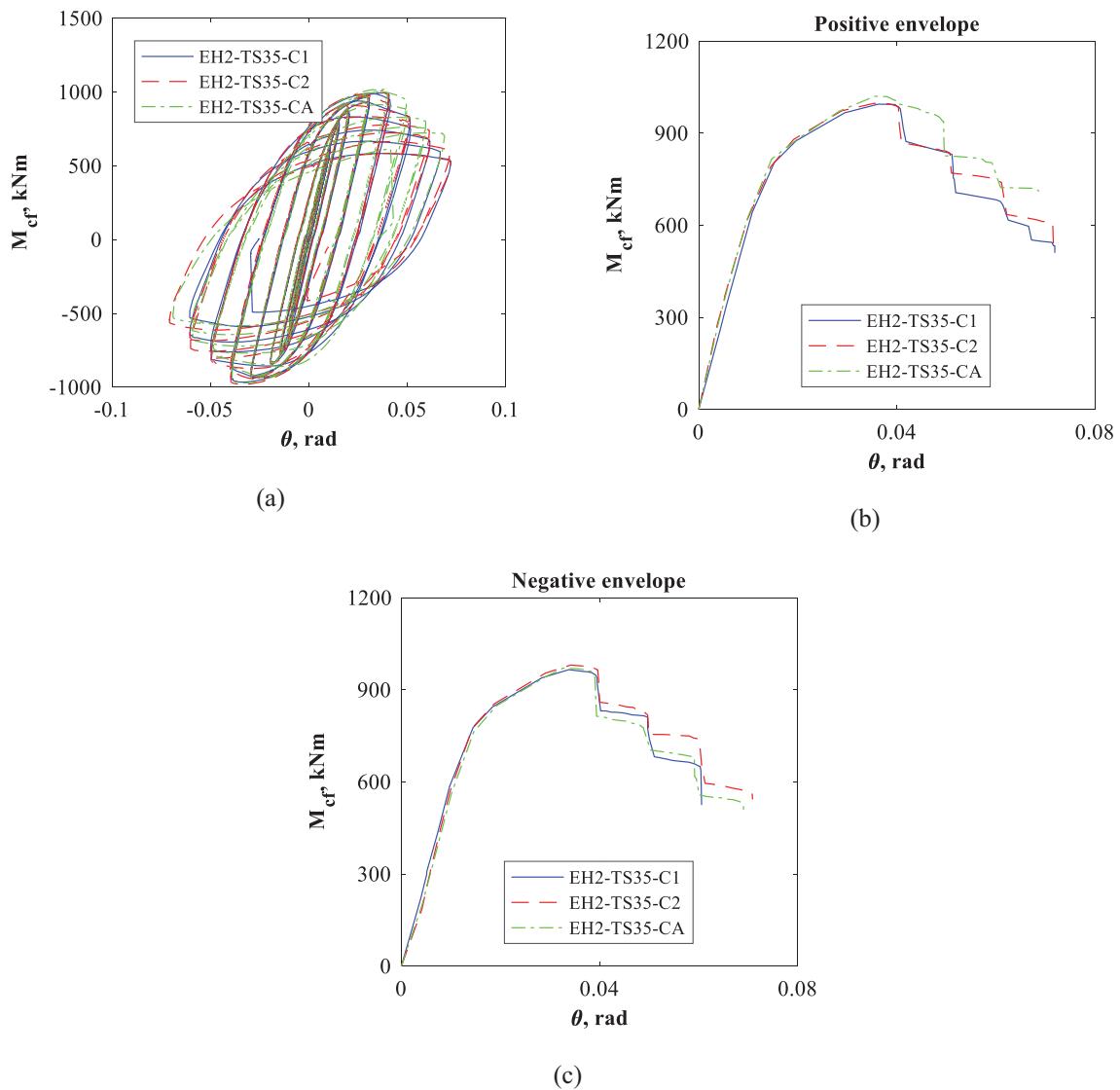
Mezi cyklickým zatěžovacím postupem ANSI/AISC341 a postupem navrženým v projektu EQUALJOINTS, obrázek 6.11, je malý rozdíl. Postup navržený v projektu EQUALJOINTS zatěžuje v méně cyklech.

Obrázek 6.10: Vliv historie zatěžování
a) hysterezní a monotónní křivka; b) kladná a záporná část

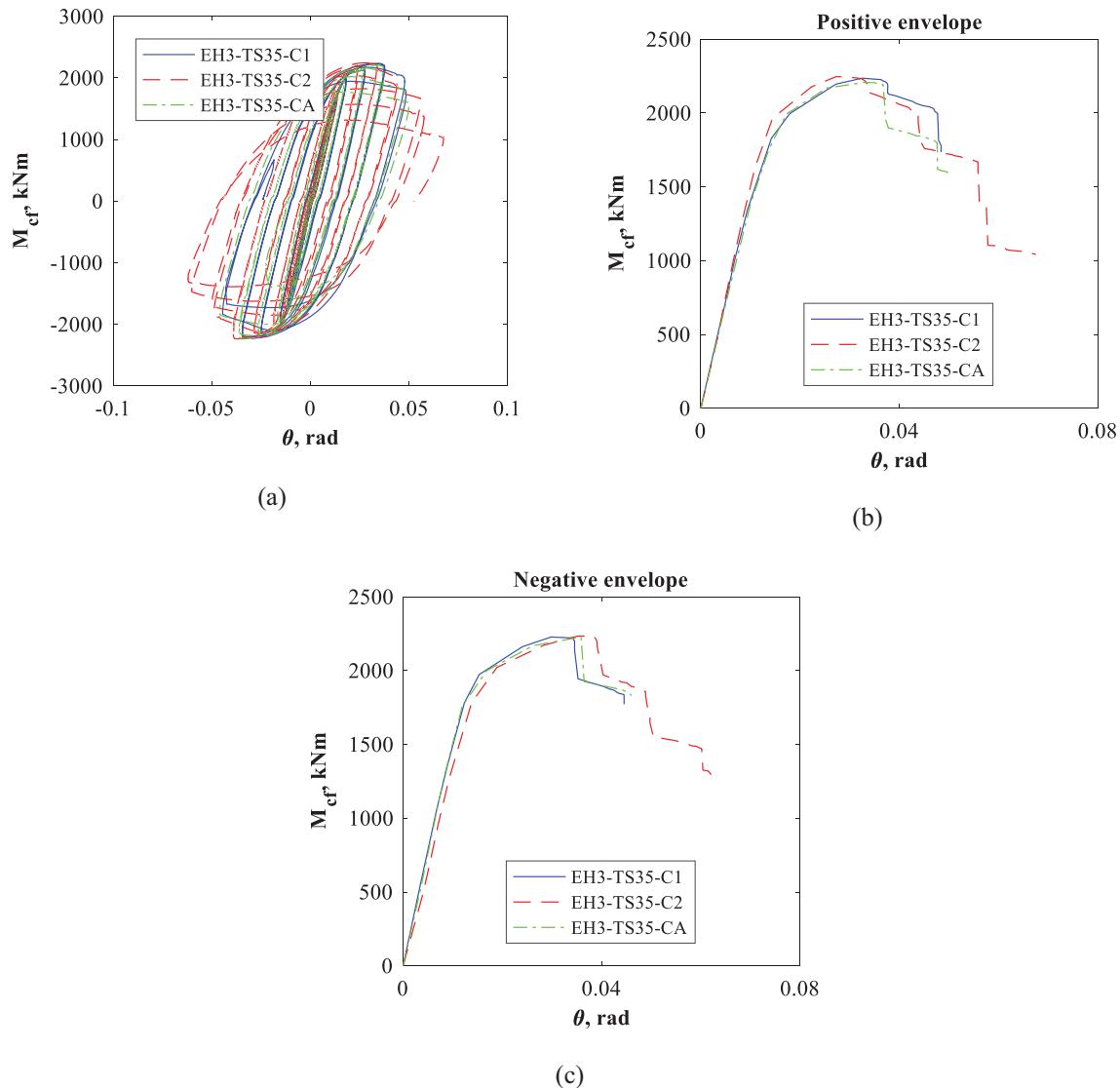
Mezi cyklickým zatěžovacím postupem ANSI/AISC341 a postupem navrženým v projektu EQUALJOINTS, obrázek 6.11, je malý rozdíl. Postup navržený v projektu EQUALJOINTS zatěžuje v méně cyklech.



Obrázek 6.11: ANSI/AISC 341 zatěžovací postup (vzorky EH1-TS35-C1 a EH1-TS35-C2), alternativní postup (vzorek EH1-TS35-CA): a) hysterezní křivky pro oba zatěžovací postupy; b) porovnání kladné části obálky; c) porovnání záporné části.



Obrázek 6.12: ANSI/AISC 341 zatěžovací postup (vzorky EH2-TS35-C1 a EH2-TS35-C2), alternativní postup (vzorek EH2-TS35-CA): a) hysterezní křivky pro oba zatěžovací postupy; b) porovnání kladné části obálky; c) porovnání záporné části.

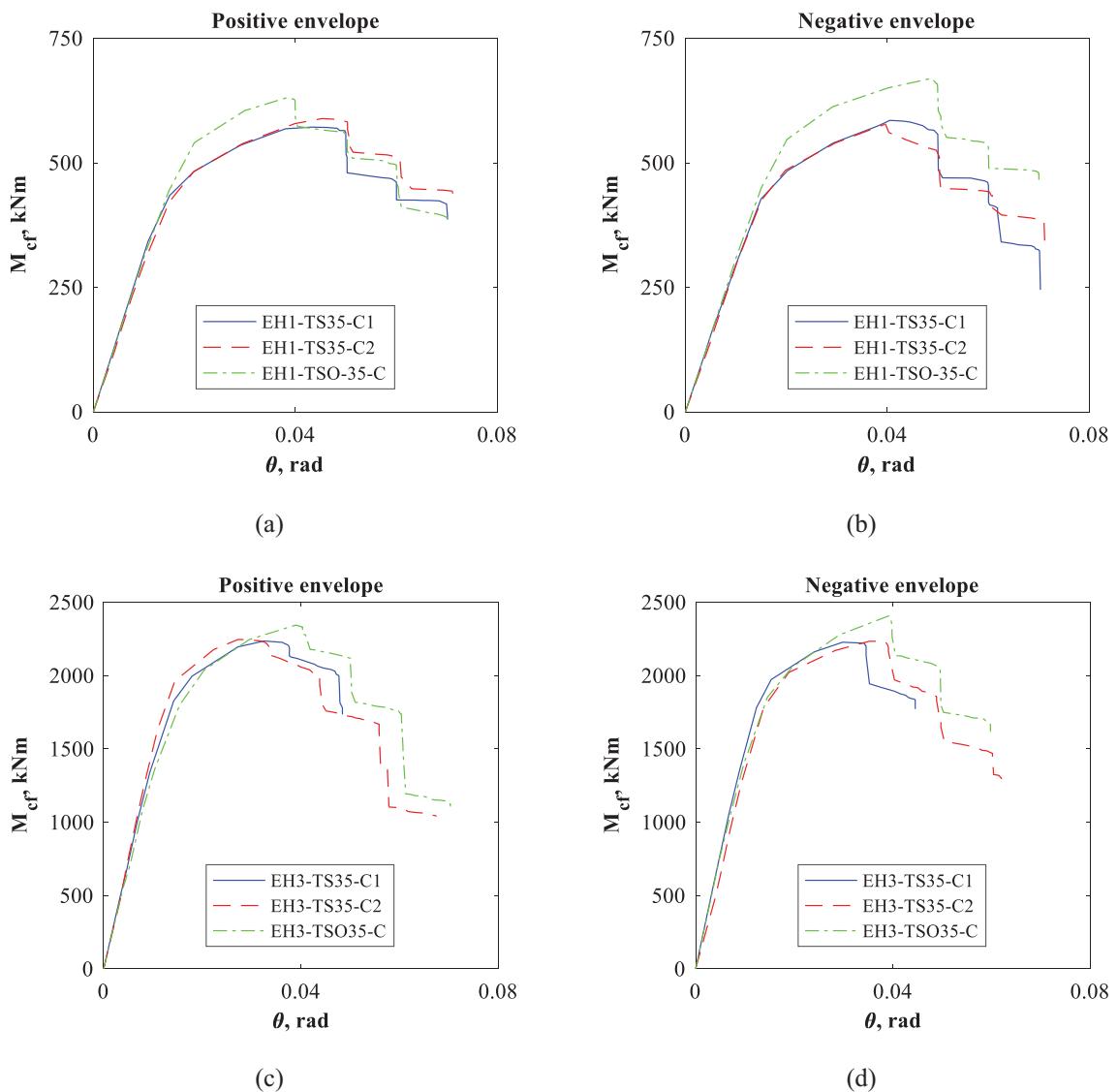


Obrázek 6.13: ANSI/AISC 341 zatěžovací postup (vzorky EH3-TS35-C1 a EH3-TS35-C2), alternativní postup (vzorek EH3-TS35-CA): a) hysterezní křivky pro oba zatěžovací postupy; b) porovnání kladné části obálky; c) porovnání záporné části.

6.1.5. Zpevnění oceli nosníku

Pro ověření vlivu zpevnění materiálu nosníku, které by mohlo způsobit selhání v přípoji, byly vyrobeny dva vzorky (řada TSO) s nosníkem z oceli třídy S460 namísto S355. V případě série vzorků EH1 (paprsky IPE360) zajíšťovala třída S460 účinnou přetlak 1,3 násobku třídy S355. V případě sérii vzorků EH3 (paprsky IPE600) ocel S460 poskytovala pouze zanedbatelnou převahu nad třídou S355. Zvýšenou pevnost nosníku bylo možno prověřit pouze na vzorcích EH1, průřezy IPE360. Zvýšená pevnost ovlivnila počátek plastifikace a moment únosnosti ale ne na mezní natočení a tvar porušení. Obrázek 6.14a,b zachycuje obálku křivky

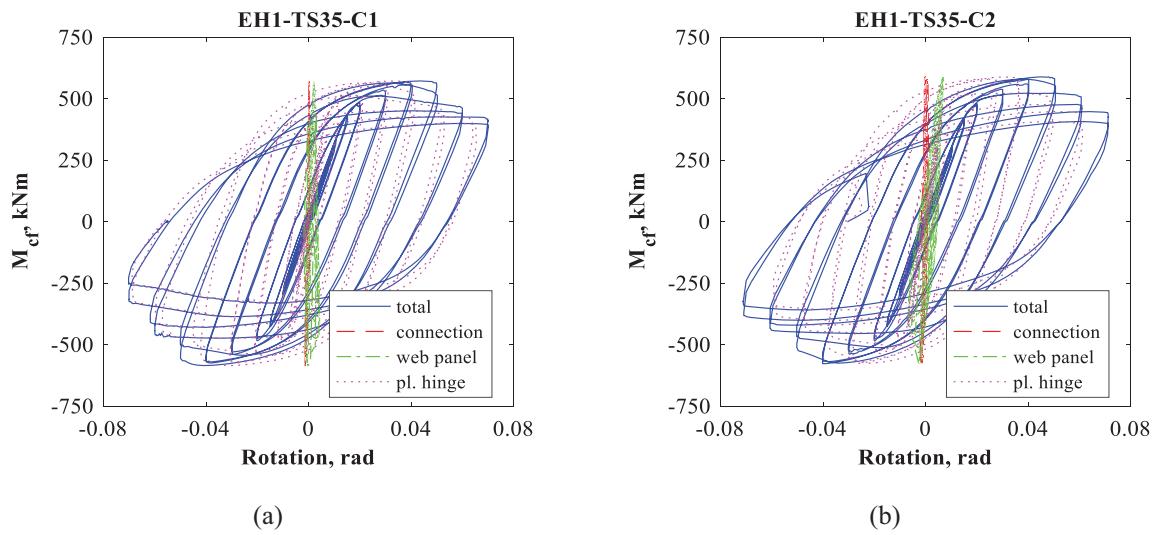
moment- natočení M_{cf} - θ pro EH1 s průřezy IPE360 a obrázek 6.14c,d obálku pro EH1 s průřezy IPE600.



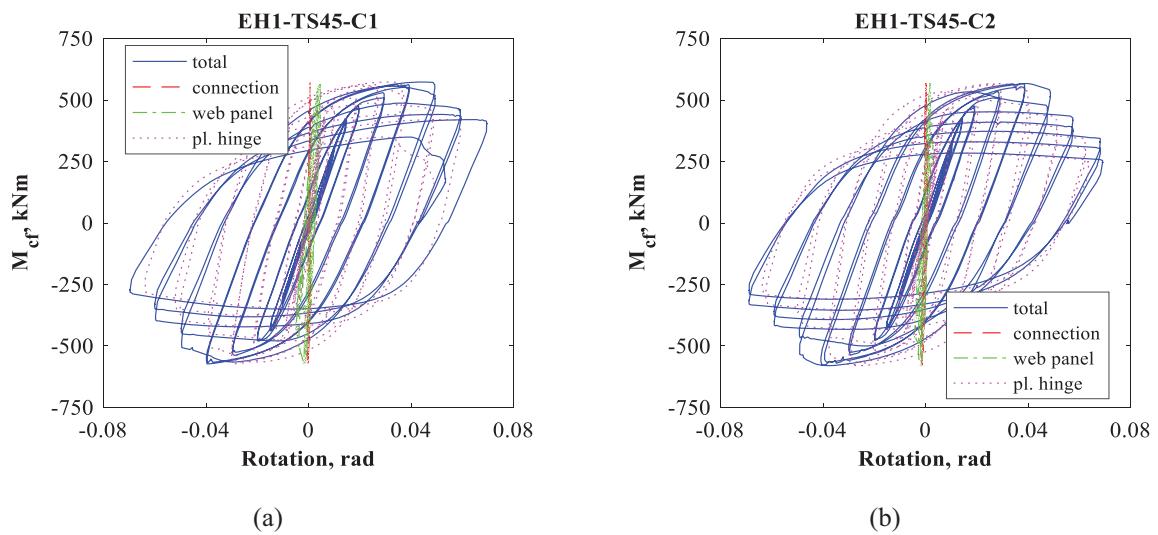
Obrázek 6.14: Vliv zvýšené pevnosti oceli nosníku, a) EH1 pro kladné části obálky; b) EH1 pro záporné části, c) EH3 pro kladné části obálky; d) EH3 pro záporné části

6.1.6. Makro komponenty

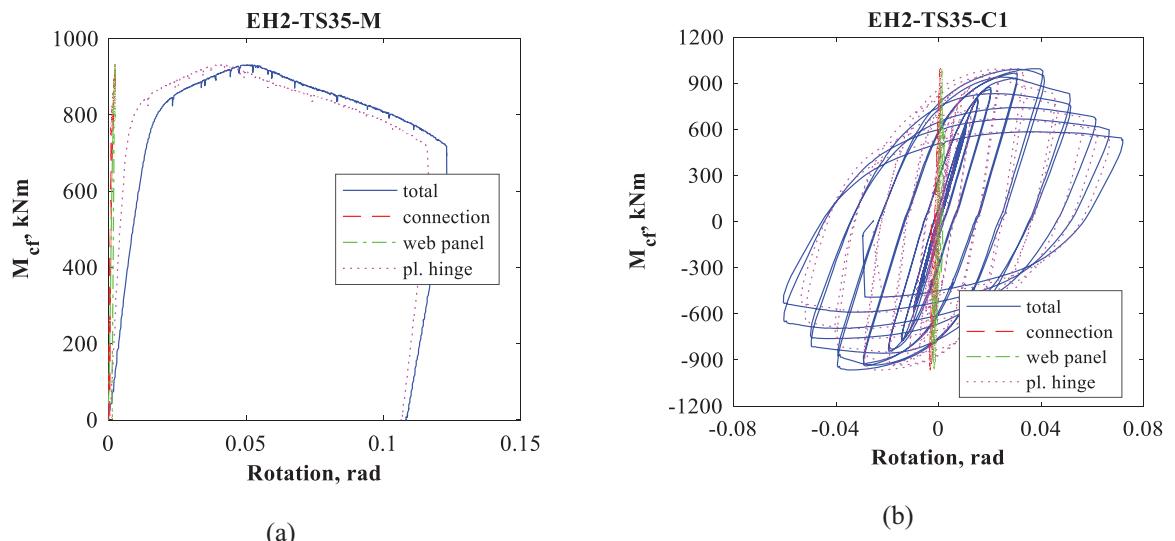
Obrázky 6.15 až 6.21 dokumentují příspěvek makro komponent pro natočení, nosník θ_{bhd} , styčníky θ_{cd} , zkosení panelu stěny sloupu γ_d , pružné natočení celého styčníku θ_{cd} a celkové natočení θ . Natočení nosníku přispívá nejvíce.



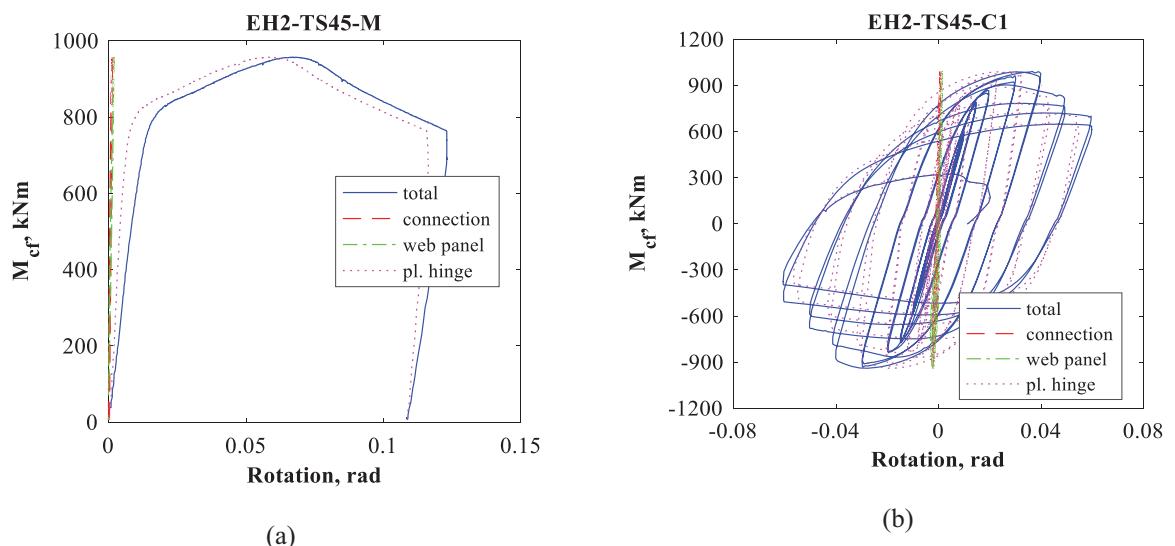
Obrázek 6.15: Příspěvek makro-komponent k natočení pro vzorky EH1-TS35-C1 a C2



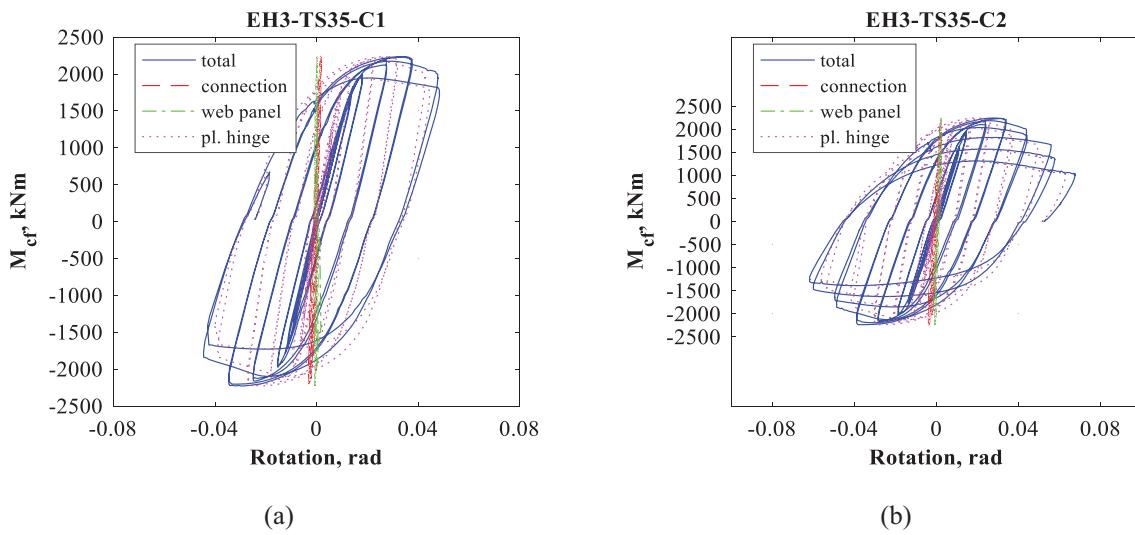
Obrázek 6.16: Příspěvek makro-komponent k natočení pro vzorky EH1-TS45-C1 a C2



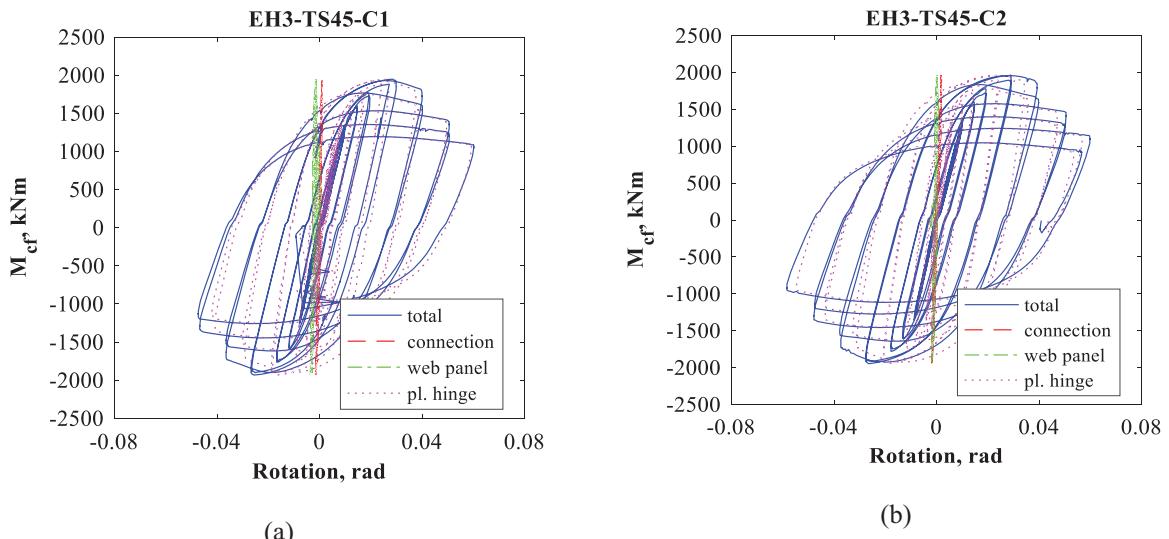
Obrázek 6.17: Příspěvek makro-komponent k natočení pro vzorky EH2-TS35-M a C1



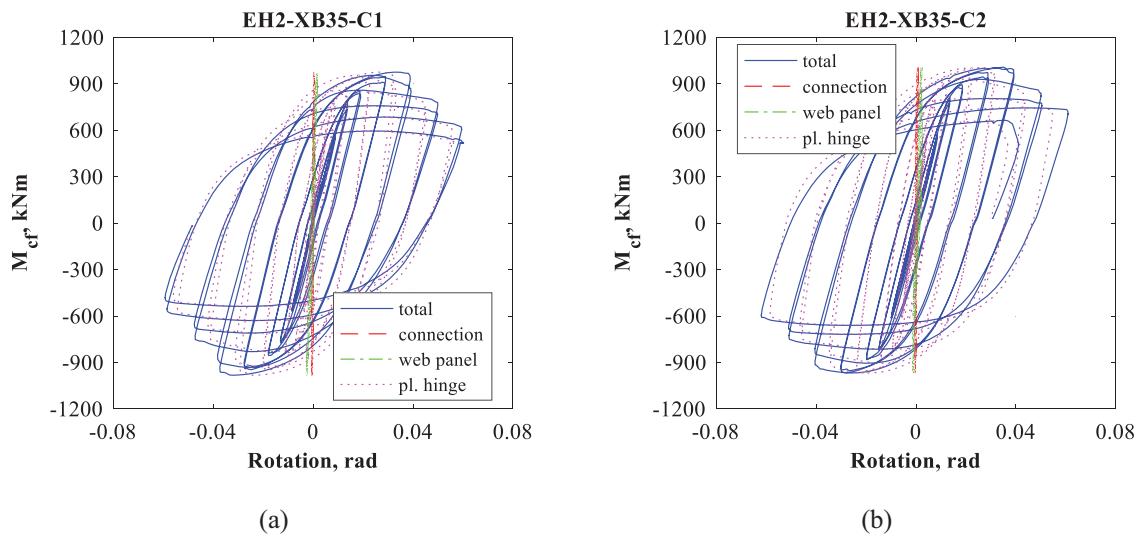
Obrázek 6.18: Příspěvek makro-komponent k natočení pro vzorky EH2-TS45-M a C1



Obrázek 6.19: Příspěvek makro-komponent k natočení pro vzorky EH3-TS35-C1 a C2



Obrázek 6.20: Příspěvek makro-komponent k natočení pro vzorky EH3-TS45-C1 a C2



Obrázek 6.15: Příspěvek makro-komponent k natočení pro vzorky EH2-XB35-C1 a C2

6.1.7. Shrnutí

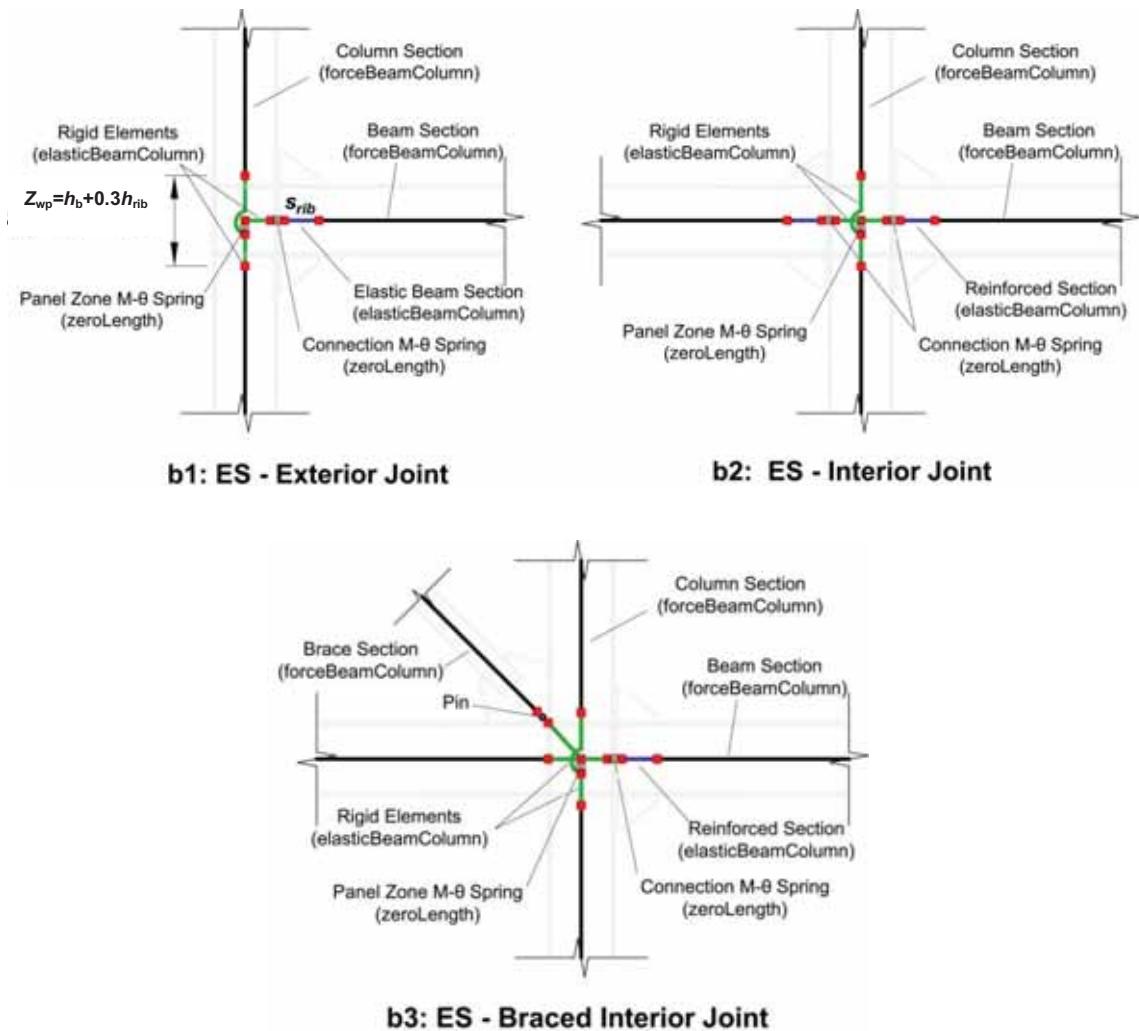
Všechny vzorky přípojů s náběhem vykazovaly stabilní hysterezní odezvu. K porušení došlo lokálním boulením nosníku. Panel stěny sloupu přispěl k celkovému natočení velmi omezeně. Vlivem boulení stěny nosníku se vlivem koncentrace napětí u výztuhy nosníku mohou rozvinout ve stojině a pásnici vlivem nízkocyklové únavy trhliny.

Vzorky vystavené cyklickému namáhání splnily požadavky ANSI / AISC 341-16 pro použití duktilních prutových soustavách. Všechny styčníky (1) byly schopny natočení 0,04 rad a (2) ohybová únosnost v lící sloupu odpovídala nejméně 0,80 ohybové únosnosti připojovaného nosníku.

Při poklesu nejvyššího experimentálně dosaženého momentu o 20 % vykazovaly natočení nejméně 0,04 rad kromě vysokých nosníků průřezů IPE600 s náběhem 45 °, které se natočily méně než 0,04 rad, ale více než 0,03 rad.

6.2. Přípoj šroubovanou vyztuženou čelní deskou

Model styčníku s vyztuženou čelní deskou se uvažuje jako (b1) vnější, (b2) vnitřní pro ohýbově tuhou prutovou soustavu a (b3) vnitřní pro vyztuženou prutovou soustavu s ohýbově tuhými styčníky, tj. pro ohýbově tuhou soustavu s centricky nebo excentricky připojenými diagonálami. Výška panelu se předpokládá $z_{wp} = (h_b + 0,3 h_{rib})$, obrázek 6.22. Ohýbově tuhé nosníky jsou na konci o délce s_h od lící sloupu navrženy tak, aby se chovaly pružně. V modelu se předpokládá, že diagonála ztužidla je připojena k tuhému rameni panelu stěny sloupu.



Obrázek 6.22 Uvažování styčníku s vyztuženou čelní deskou v globální analýze,
a1) vnější, a2) vnitřní a a3) s diagonálou

Pro základní geometrie prutových soustav s předem navrženými styčníky byl numerickou simulací validovanou experimenty připraven předběžný odhad tuhosti a únosnosti. Řešení je správné v hranicích studie.

Byly uvažovány nosníky IPE360 - IPE600 na rozpětí 6,0 m - 8,0 m, konstrukční výška podlaží 3,5 m - 4,0 m. Únosnost je vztažena k plastické momentové únosnosti nosníku v lící sloupu $M_{eppl,b,cg,Rd}$. Ohybová tuhost lze vztáhnout k ohybové tuhosti nosníku $s_b = EI_b / L_b$

Styčník	Geometrie	Únosnost		Tuhost	
		Přípoj	Panel stěny sloupu	Přípoj	Panel stěny sloupu
EH-S-E: Styčník a panel s plnou únosností	$h_{rib} / h_b = 0.35$ $s_{rib} / h_b = 0.45$ $z_{wp} = h_b + 0.3h_{rib}$	$\frac{M_{j,Rd}^n}{M_{pl,b,cf,Rd}^e} = 1.0$	Vnější styčník: $\frac{V_{wp,Rd}^n \cdot z_{wp}}{M_{pl,b,cf,Rd}^e} = 1.15$	$S_{con,ini} = 34$ s_b	Vnější styčník $\frac{S_{wp,ini}}{s_b} = 35$
			Vnější styčník $\frac{V_{wp,Rd}^n \cdot z_{wp}}{2 \cdot M_{pl,b,cf,Rd}^e} = 1.15$		Vnější styčník $\frac{S_{wp,ini}}{2 \cdot s_b} = 35$
ES-S-F: Styčník a panel s plnou únosností	$h_{rib} / h_b = 0.45$ $s_{rib} / h_b = 0.55$ $z_{wp} = h_b + 0.3h_{rib}$	$\frac{M_{j,Rd}^n}{M_{pl,b,cf,Rd}^e} = 1.5$	Vnější styčník $\frac{V_{wp,Rd}^n \cdot z_{wp}}{M_{pl,b,cf,Rd}^e} = 1.65$	$S_{con,ini} = 68$ s_b	Vnější styčník $\frac{S_{wp,ini}}{s_b} = 56$
			Vnitřní styčník $\frac{V_{wp,Rd}^n \cdot z_{wp}}{2 \cdot M_{pl,b,cf,Rd}^e} = 1.65$		Vnitřní styčník $\frac{S_{wp,ini}}{2 \cdot s_b} = 56$
ES-B-E: Styčník a panel se stejnou únosností	$h_{rib} / h_b = 0.35$ $s_{rib} / h_b = 0.45$ $z_{wp} = h_b + 0.3h_{rib}$	$\frac{M_{j,Rd}^n}{M_{pl,b,cf,Rd}^e} = 1.0$	Vnější styčník $\frac{V_{wp,Rd}^n \cdot z_{wp}}{M_{pl,b,cf,Rd}^e} = 1.0$	$S_{con,ini} = 37$ s_b	Vnější styčník $\frac{S_{wp,ini}}{s_b} = 30$
			Vnitřní styčník $\frac{V_{wp,Rd}^n \cdot z_{wp}}{2 \cdot M_{pl,b,cf,Rd}^e} = 1.0$		Vnitřní styčník $\frac{S_{wp,ini}}{2 \cdot s_b} = 30$
<p>Poznámka:</p> <ul style="list-style-type: none"> i) U přípoje se předpokládá pružně plastické chování se zpevněním 1 %. Předpokládá se rotační kapacity 42 mrad podle tabulky 9-6 v ASCE 9-6 s plastifikací plechu. Chování styčníku v nástroji OpenSEES lze uvažovat jako bilineární podle modifikovaného Ibarra-Medina-Krawinkler modelu. ii) Panel stěny sloupu ve smyku se uvažuje trilineární, viz (Gupta a Krawinkler, 1999). Únosnost odpovídá počátku plastifikace. Zpevnění se předpokládá 1,5 %. V nástroji OpenSEES se uvažuje materiál Hysteretic nebo Steel02. iii) Pro model panelu (a) je schéma tvořeno tuhými prvky a klouby nebo (b) pro Joint2D makro-model se využije stejný model ale s pružinou. Tuhost pružiny je pak případě $s_{wp} = (V_{wp} / \gamma) z_{wp}$. iv) Pokud se panel modeluje nůžkami pomocí Krawinklerova, viz (Charney and Downs, 2004). 					

6.2.1. Výsledky zkoušek

Součinitele popisujících chování jsou připraveny z obálky výsledků experimentů. Do největšího ohybového momentu byla obálka zkonstruována z nejvyšších hodnot v každém cyklu. Za nejvyšším momentem se využila daná deformace. Obrázek 6.3 ukazuje vlastnosti předem ověřených styčníků z obrázku 6.1a. Pro styčníky se stejnou únosností makro-komponent nedochází po mezním natočení Θ_u , která je stanovena jako menší z maxima pro kladnou a zápornou část obálky, k výraznému poklesu únosnosti. Součinitel zpevnění, asi $\gamma_h = 1,30$, je po vzorku stejný. Mezní natočení θ_u je větší než 0,04 rad, což je nejmenší hodnota požadovaná v ANSI/AISC 341-16. Plasticke natočení $\theta_{u,pl}$ je větší než 0,035 rad, což je nejmenší hodnota požadovaná v EN1998-1 pro deformovatelné styčníky

Kromě vzorků ES3-XS-E-C1 a ES3-XS-E-C2 lze předem navržené styčníky využitou šroubovanou čelní deskou na plnou a stejnou únosnost využít pro duktelné konstrukce.

Tabulka 6.3: Hodnoty ze zkoušek styčníků s využitou čelní deskou

Vzorek	S_{ini} , kNm/rad	M_y , kNm	M_{max} , kNm	γ_h	Θ_y , rad	Θ_u , rad	Θ_p , rad
ES1-TS-E-C1	23000	433,33	505,78	1,17	0,019	0,068	0,049
ES1-TS-E-C2	22800	411,11	489,67	1,19	0,018	0,068	0,05
ES1-TS-Esp-C	21500	444,44	503,84	1,13	0,021	0,064	0,043
ES1-TS-F-C1	27800	444,44	518,64	1,17	0,016	0,064	0,048
ES1-TS-F-C2	27800	433,33	524,82	1,21	0,016	0,062	0,046
ES1-TS-F-M	27600	461,11	577,52	1,25	0,017	0,094	0,077
ES1-TS-E-C1_L	27100	413,33	505,67	1,22	0,015	0,066	0,051
ES1-TS-E-C1_R	26800	427,78	504,56	1,18	0,016	0,062	0,046
ES1-TS-E-C2_L	27100	413,33	509,03	1,23	0,015	0,066	0,051
ES1-TS-E-C2_R	27300	433,33	502,67	1,16	0,016	0,061	0,045
ES2-TS-E-C1	45500	738,89	897,19	1,21	0,016	0,063	0,047
ES2-TS-E-C2	45500	733,33	856,66	1,17	0,016	0,066	0,05
ES2-TS-Esp-C	47500	724,44	879,92	1,21	0,015	0,064	0,049
ES2-TS-F-C1	55600	822,22	991,85	1,21	0,015	0,062	0,047
ES2-TS-F-C2	52000	844,44	1002,93	1,19	0,016	0,061	0,045
ES2-TS-F-CA	52000	844,44	985,52	1,17	0,016	0,061	0,045
ES2-TS-E-C1_L	54300	722,22	912,04	1,26	0,015	0,063	0,048
ES2-TS-E-C1_R	58000	755,56	927,00	1,23	0,013	0,042	0,029
ES2-TS-E-C2_L	54600	744,44	900,62	1,21	0,014	0,053	0,039
ES2-TS-E-C2_R	57000	755,56	908,46	1,20	0,013	0,043	0,03
ES3-TS-E-C1	135000	1811,11	2081,54	1,15	0,013	0,051	0,038
ES3-TS-E-C2	135000	1866,67	2127,01	1,14	0,014	0,049	0,035
ES3-TS-Esp-C	135000	1888,89	2084,26	1,10	0,014	0,05	0,036
ES3-TS-F-C1	215000	1888,89	2202,29	1,17	0,009	0,049	0,04
ES3-TS-F-C2	170000	1833,33	2107,21	1,15	0,011	0,04	0,029
ES3-TS-F-M	165000	1700,00	1987,60	1,17	0,01	0,068	0,058
ES3-TS-Esp-C	136029	1621,19	2090,09	1,29	0,012	0,05	0,038
ES3-XS-E-C1**	116025	1501,22	1882,25	1,25	0,013	0,03	0,017
ES3-XS-E-C2***	-	-	-	-	-	-	-

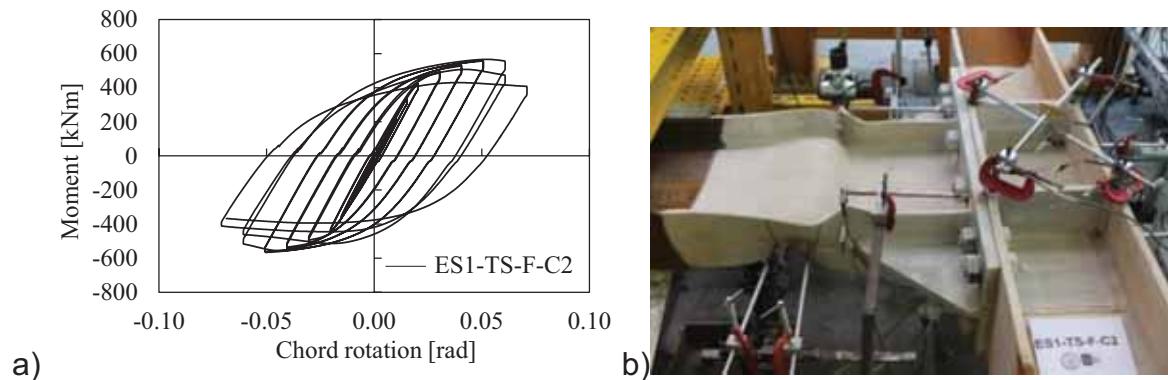
** Zkouška s křehkým porušením nosníku, které ovlivnilo průběh zkoušky

*** Zkouška s neočekávaným křehkým porušením nosníku, které neumožnilo zkoušet.

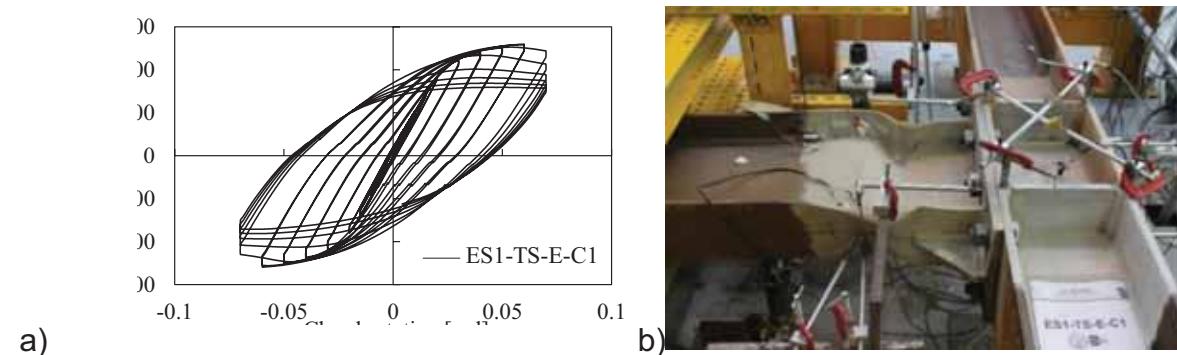
6.2.2. Tvar porušení

Styčníky navržené na plnou únosnost selhávají podobně jako styčníky s náběhy porušením nosníku, jak je patrné z obrázku 6.23. Styčníky navržené se stejnou únosností a panelem stěny sloupu s plnou únosností mají při porušení plastické deformace v nosníku, místní boulení pásnic, a v přípoji, ohyb čelní desky, viz obrázek 6.24.

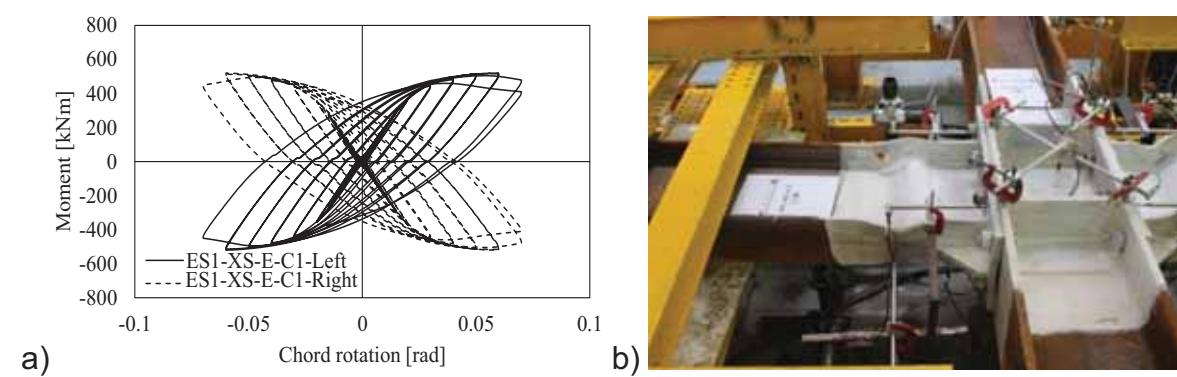
Zkoušené oboustranné styčníky byly navrženy se stejnou únosností přípojů a plnou únosností panelu stěny sloupu. Porušení odpovídá předpokladům návrhu. Příklad porušení je zachycen na obrázku 6.25.



Obrázek 6.23: Jednostranný styčník ES1-TS-F-C2 s vyztuženou čelní deskou,
 a) natočení pasu nosníku; b) tvar porušení boulením pásnic a stojiny nosníku



Obrázek 6.24: Jednostranný styčník se stejnou únosností ES1-TS-F-C1 s vyztuženou čelní deskou,
 a) natočení pasu nosníku; b) tvar porušení boulením pásnic a stojiny nosníku



Obrázek 6.25: Oboustranný styčník se stejnou únosností ES1-XS-E-C1 s vyztuženou čelní deskou,
 a) natočení pasu nosníku; b) tvar porušení boulením pásnic a stojiny nosníku

Panel sloupu ve smyku byl ve všech případech v pružné oblasti pracovního diagramu materiálu. Připoje s vyztuženou čelní deskou dosáhly bez znatelného porušení 0,04 rad.

Pouze vzorky ES3-XS-E-C byly předčasně ukončeny křehkým porušením nosníku. Hodnota křehkého porušení pásnice vzorku ES3-XS-E-C1 odpovídala plastickému ohybovému momentu únosnosti nosníku s experimentálně zjištěnými materiálovými vlastnostmi.

6.2.3. Výška nosníku

Vliv velikosti průřezů je obdobný nosníkům s náběhem. S výškou průřezu nosníků se mezní hodnota natočení zvyšuje. Pro styčníky se stejnou únosností se ale natočení nezvýšilo, viz tabulka 6.3.

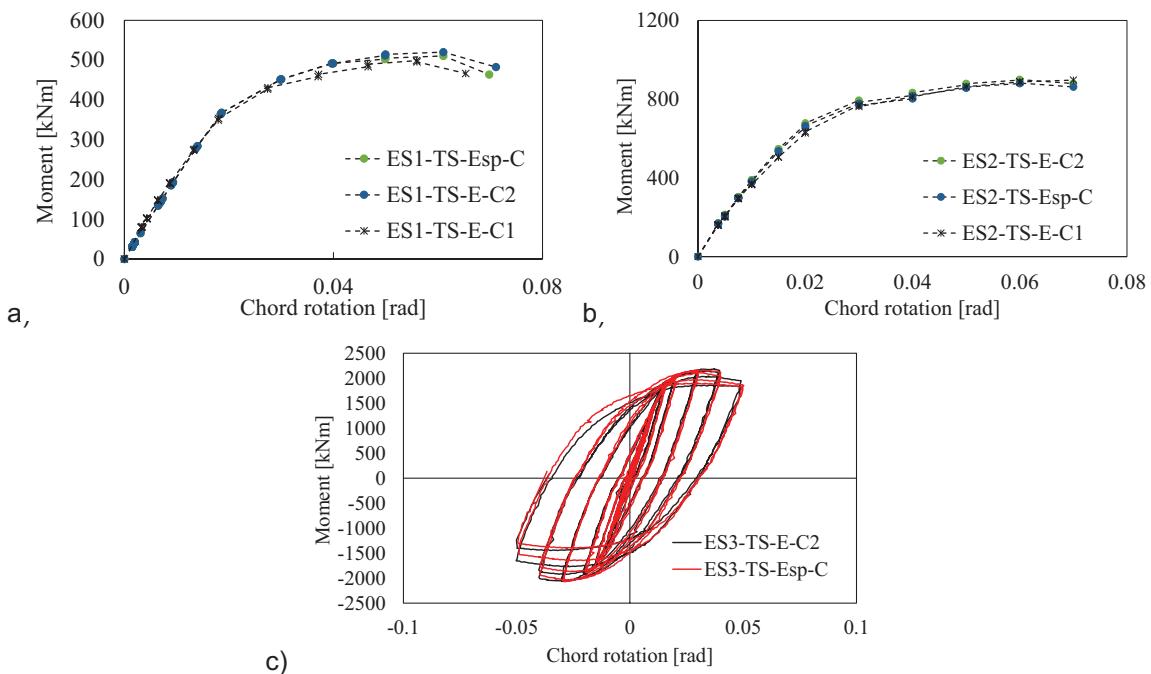
Zvýšení výšky nosníku přináší křehké porušení nosníku v plastickém kloubu. Trhliny se objevily na svaru výztuhy ve stěně nosníku na konci výztuhy, viz obrázek 6.26. Trhliny se objevily u vzorků ES2-E a ES3-E. U vzorku ES2-E při velkém natočení 6 %. U vzorku ES3-E liž při natočení 3 %.



Obrázek 6.26: Vliv výšky nosníku na tvar porušení pro připoje vyztuženou čelní deskou navrženou na stejnou únosnost, a) ES2-TS-E-C2, b) ES3-XS-E-C1.

6.2.4. Mechanické zpevnění svarů

Připoje vyztuženou čelní deskou navrženou na stejnou únosnost s mechanickým zpevněním pěchováním svarů, označeno sp, ukázaly, že s mechanické zpevnění svarů nemá na chování vliv. Průměrná obálka natočení pasu nosníku při namáhání vzorku ohybovým momentem pro vzorky ES1 a ES2, je zobrazena na obrázcích 6.27a a 6.27b a porovnání hysterezních křivek na obrázku 6.27c.

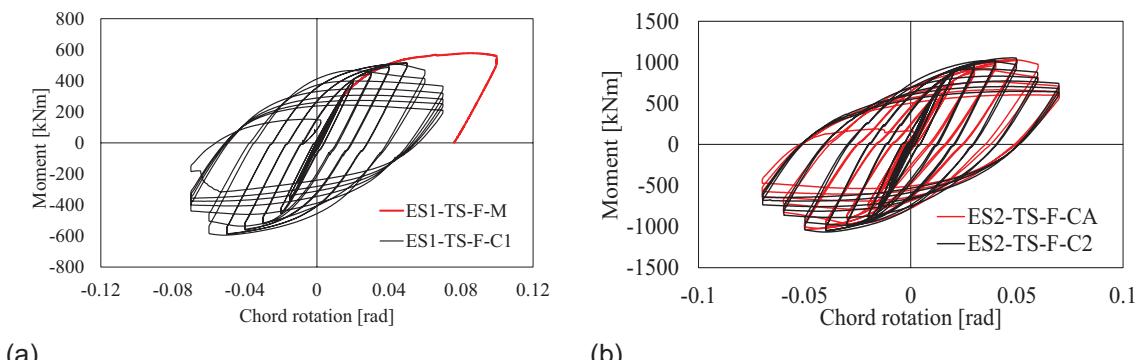


Obrázek 6.27: Vliv zpevnění svarů, označeno sp, na chování styčníků s vyztuženou čelní deskou:
a) a b) obálka natočení pasu nosníku, c) porovnání hysterezních křivek

6.2.5. Zatěžování

Na obrázku 6.28a jsou porovnány pro vzorky ES1-TS-F pro monotónní a cyklické namáhání. Při cyklickém roste vlivem izotropického zpevnění maximální moment a klesá deformační kapacita. Počáteční tuhost se nemění.

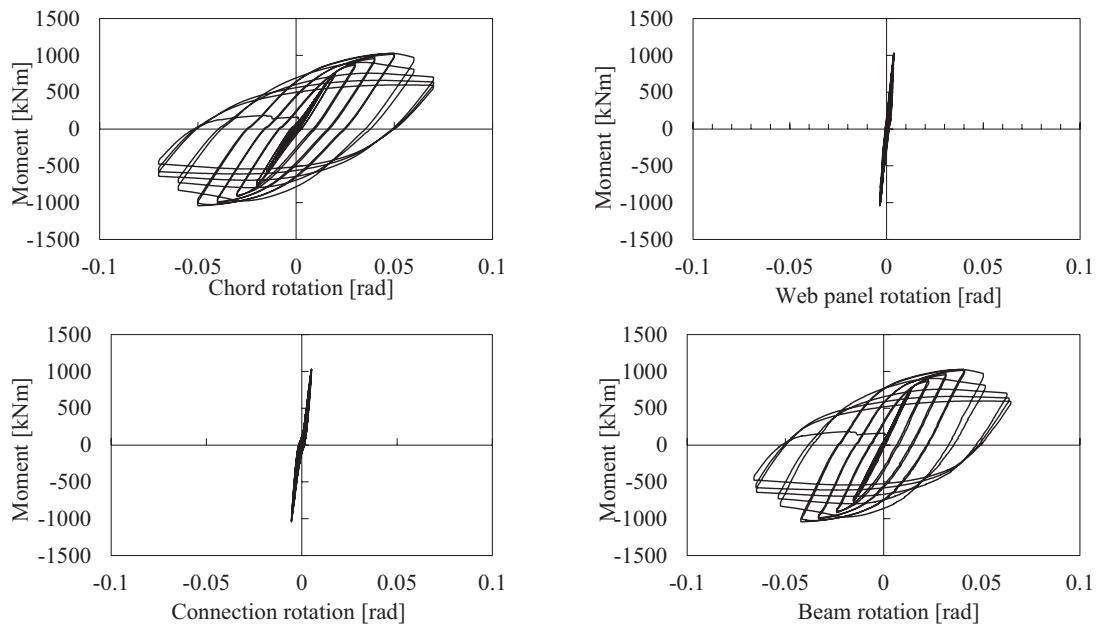
Vliv zatěžovacího postupu ANSI/AISC 341-10 a EQUALJOINTS na obrázku 6.28b, je nevýrazný. Postup navržený v projektu EQUALJOINTS zatěžuje v méně cyklech.



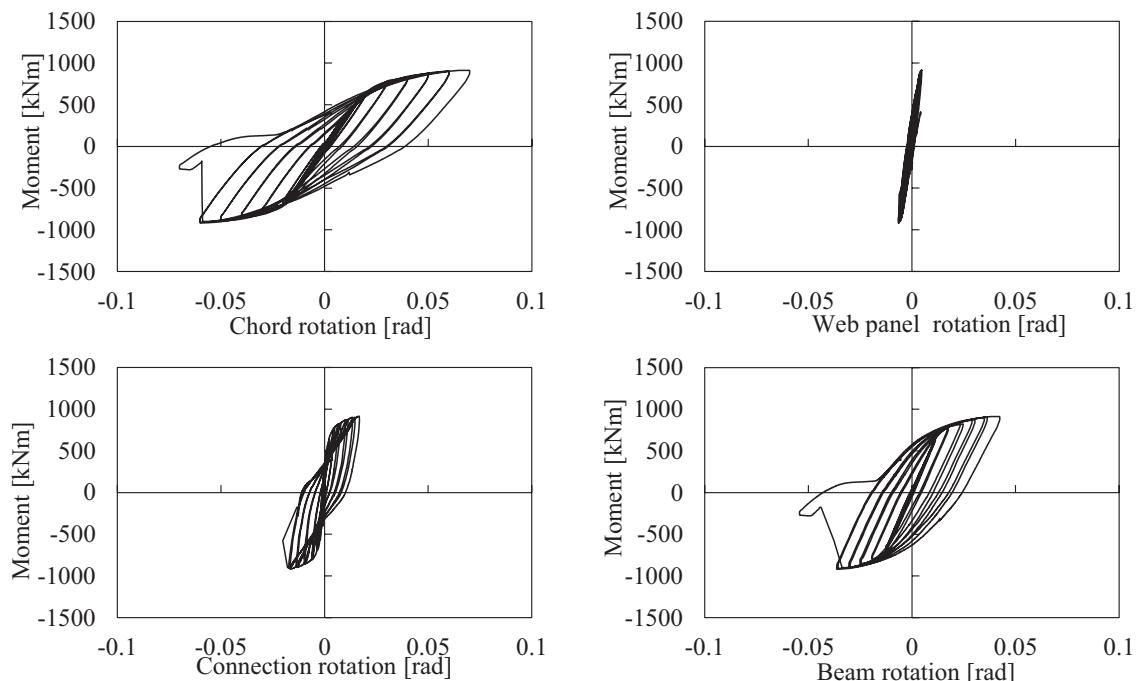
Obrázek 6.28: Vliv historie zatěžování pro nosníky s vyztuženou čelní deskou
a) hysterezní a monotónní křívka; b) hysterezní křívka pro dva cykly

6.2.6. Makro komponenty

Únosnost makro komponent se porovnává s připojovaným nosníkem. Příspěvek se liší podle návrhu na plnou, plastifikace pouze nosníku, nebo stejnou únosnost, plastifikace všech komponent, viz obrázek 6.29.



Obrázek 6.29: Příspěvek makro-komponent k plastickému natočení nosníků přípojů ES2 navržených s plnou únosností přípoje a panelu sloupu ve smyku, vzorek ES2-TS-F-C2.



Obrázek 6.30: Příspěvek makro-komponent k plastickému natočení nosníků přípojů ES2 navržených se stejnou únosností přípoje a panelu sloupu ve smyku, vzorek ES2-TS-E-C1.

Příspěvek makro komponent k plastickému natočení nosníků přípojů navržených se stejnou únosností přípoje a panelu sloupu ve smyku ukazuje, že panel sloupu ve smyku se chová pružně. Styčník přináší asi 10 – 20 % celkového natočení a nosník 80 – 90 %.

6.2.7. Shrnutí

Vzorky přípojů s výztuhou navržené s přípojem a panelem stěny sloupu na plnou únosnost vykazovaly stabilní hysterezní odezvu. K porušení došlo lokálním boulením nosníku na konci výztuhy. Panel stěny sloupu se choval pružně a přispěl k celkovému natočení velmi omezeně.

Vzorky přípojů s výztuhou navržené s přípojem a panelem stěny sloupu na stejnou únosnost vykazovaly stabilní hysterezní odezvu. K natočení přispěl nosník na konci výztuhy a přípoj. Panel stěny sloupu se choval pružně a přispěl k celkovému natočení velmi omezeně.

Všechny spoje s výjimkou dvou oboustranných sestav ES3 splňují požadavky ANSI / ASIC 341 a EN1998-1. Lze je využít pro konstrukce s požadovanou ductilitou.

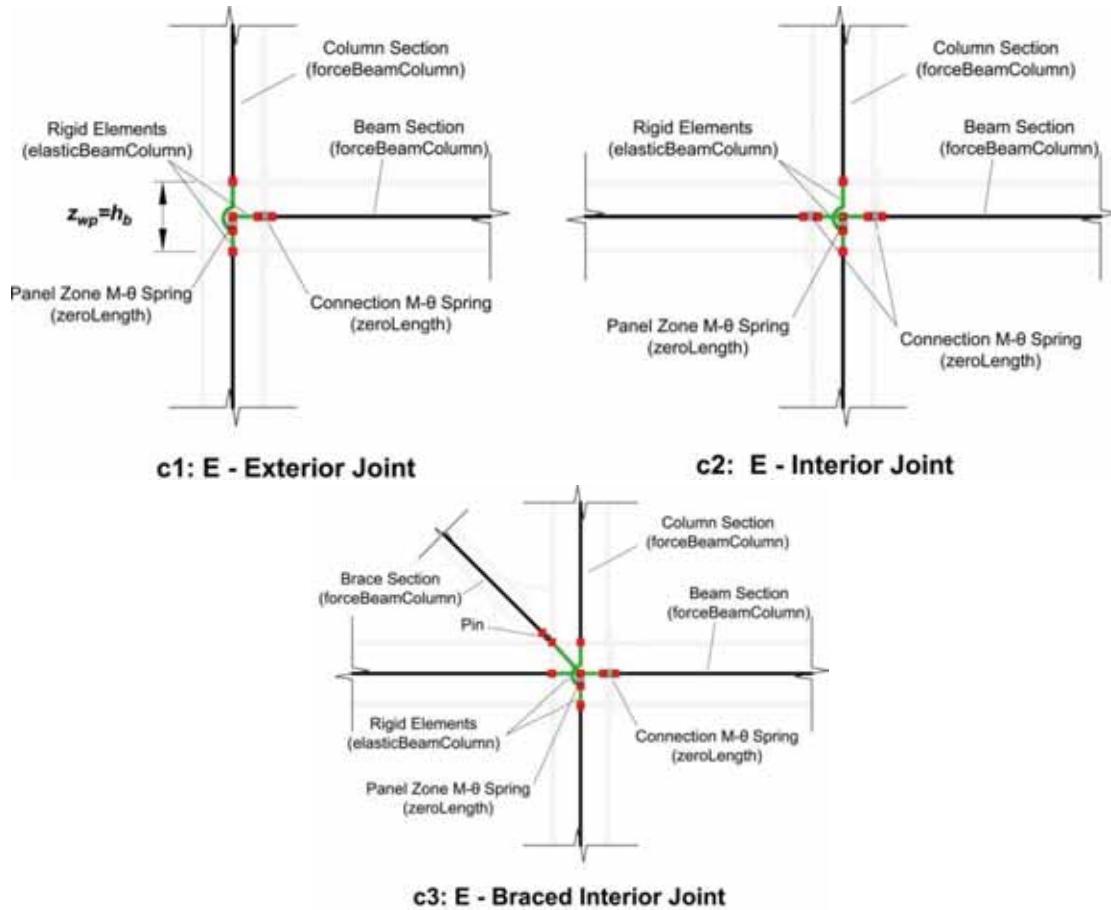
Pro objasnění důvodů křehkého porušení dvou oboustranných sestav ES3 bude třeba další výzkum.

Experimenty doložily předpoklady posunu středu otáčení ve styčnících během zatěžování.

Navržený vliv zvýšené pevnosti oceli $\gamma_{ov} \gamma_{sh} = 1,25 \times 1,2 = 1,5$ byl ověřen.

6.3. Přípoj šroubovanou nevyztuženou čelní deskou

Model styčníku s přípojem nevyztuženou čelní deskou typ c se uvažuje jako c1) vnější, c2) vnitřní pro ohybově tuhou prutovou soustavu a c3) vnitřní pro vyztuženou prutovou soustavu s ohybově tuhými styčníky, tj. pro ohybově tuhou soustavu s centricky nebo excentricky připojenými diagonálami. Výška panelu se předpokládá h_b , obrázek 6.2. Předpokládá se, že diagonála ztužidla je připojena k tuhému rameni panelu stěny sloupu.



Obrázek 6.31: Uvažování styčníku s čelní deskou,
a1) vnější, a2) vnitřní a a3) s diagonálou.

Pro základní geometrie prutových soustav s předem navrženými styčníky byl numerickou simulací validovanou experimenty připraven předběžný odhad tuhosti a únosnosti. Řešení je správné v hranicích studie. Uvažovaly se nosníky IPE360 - IPE600 na rozpětí 6,0 m - 8,0 m, konstrukční výška podlaží 3,5 m - 4,0 m.

Mechanické vlastnosti je třeba upravit návrhem pro danou geometrii a namáhání. Hodnoty únosnosti odpovídají návrhu na únosnost a hodnoty tuhosti jsou průměrem pro každou konstrukční skupinu přípojů.

Styčník	Geometrie	Únosnost		Tuhost				
		Přípoj	Panel stěny sloupu	Přípoj	Panel stěny sloupu			
E-B-E: Styčník a panel se stejnou únosností	$Z_{wp} = Z_{eq}$	$\frac{M_{j,Rd}^n}{M_{pl,b,Rd}^e} = 1.0$	Vnější styčník $\frac{V_{wp,Rd}^n \cdot Z_{wp}}{M_{pl,b,cf,Rd}^e} = 1.0$	$\frac{S_{con,ini}}{S_b} = 28$	Vnější styčník $\frac{S_{wp,ini}}{S_b} = 19$			
			Vnitřní styčník $\frac{V_{wp,Rd}^n \cdot Z_{wp}}{2 \cdot M_{pl,b,cf,Rd}^e} = 1.0$		Vnitřní styčník $\frac{S_{wp,ini}}{2 \cdot S_b} = 19$			
E-B-P(0.6): Styčník s částečnou únosností a panel se stejnou únosností	$Z_{wp} = Z_{eq}$	$\frac{M_{j,Rd}^n}{M_{pl,b,Rd}^e} = 0.6$	Vnější styčník $\frac{V_{wp,Rd}^n \cdot Z_{wp}}{M_{pl,b,cf,Rd}^e} = 0.6$	$\frac{S_{con,ini}}{S_b} = 22$	Vnější styčník $\frac{S_{wp,ini}}{S_b} = 19$			
			Vnitřní styčník $\frac{V_{wp,Rd}^n \cdot Z_{wp}}{2 \cdot M_{pl,b,cf,Rd}^e} = 0.6$		Vnitřní styčník $\frac{S_{wp,ini}}{2 \cdot S_b} = 19$			
E-W-P(0.8): Styčník a panel s částečnou únosností	$Z_{wp} = Z_{eq}$	$\frac{M_{j,Rd}^n}{M_{pl,b,Rd}^e} = 0.8$	Vnější styčník $\frac{V_{wp,Rd}^n \cdot Z_{wp}}{M_{pl,b,cf,Rd}^e} = 0.6$	$\frac{S_{con,ini}}{S_b} = 24$	Vnější styčník $\frac{S_{wp,ini}}{S_b} = 14$			
			Vnitřní styčník $\frac{V_{wp,Rd}^n \cdot Z_{wp}}{2 \cdot M_{pl,b,cf,Rd}^e} = 0.6$		Vnitřní styčník $\frac{S_{wp,ini}}{2 \cdot S_b} = 14$			
Poznámka:								
i) U přípoje se předpokládá pružně plastické chování se zpevněním 1 %. Předpokládá se rotační kapacity 18 mrad podle tabulky 9-6 v ASCE 9-6 s plastifikací šroubu. Chování styčníku v nástroji OpenSEES lze uvažovat jako bilineární podle modifikovaného Ibarra-Medina-Krawinkler modelu.								
ii) Panel stěny sloupu ve smyku se uvažuje trilineární, viz (Gupta a Krawinkler, 1999). Únosnost odpovídá počátku plastifikace, pásnice sloupu nebo jeho výztuh. Zpevnění se předpokládá 1,5 %. V nástroji OpenSEES se uvažuje materiál Hysteretic nebo Steel02.								
iii) Pro model panelu (a) je schéma tvořeno tuhými prvky a klouby nebo (b) pro Joint2D makro-model se využije stejný model ale s pružinou.								
Tuhost pružiny je pak případě $S_{wp} = (V_{wp} / \gamma) Z_{wp}$.								
iv) Pokud se panel modeluje nůžkami pomocí Krawinklerova, viz (Charney and Downs, 2004).								
v) $S_b = EI_b/L_b$, kde I_b a L_b jsou moment setrvačnosti a délka připojovaného nosníku.								

6.3.1. Výsledky zkoušek

Součinitely, které popisují chování, jsou připraveny z obálky výsledků experimentů podle obrázku 6.1b. Nosník je skoro ve všech případech namáhán pouze pružně.

Tabulka 6.4: Hodnoty ze zkoušek styčníků s nevyztuženou čelní deskou.

Vzorek	S_{ini} , kNm/rad	$M_{b,Rk}$, kNm	$M_{b,Ru}$, kNm	γ_h	$\varphi_{j,u}$, rad	$\varphi_{j,pl}$, rad	$(M_{b,Rk}/M_{b,pl})_{actual}$	$(M_{b,Rk}/M_{b,pl})_{target}$
E1-TB-E-M	87486	290	422	1,46	0,067	0,064	0,75	1
E1-TB-E-C1	76596	310	461	1,49	0,040	0,038	0,80	1
E1-TB-E-C2	77419	301	455	1,51	0,041	0,036	0,77	1
E1-TB-P-C1	68068	300	412	1,37	0,035	0,027	0,77	0,6
E1-TB-P-C2	67069	300	402	1,34	0,046	0,037	0,77	0,6
E1-TB-PP-C	70707	301	395	1,31	0,036	0,030	0,77	0,6
E1-XW-P-C1	57480	298	358	1,20	0,082	0,074	0,77	0,8
E1-XW-P-C2	59310	301	385	1,28	0,079	0,072	0,77	0,8
E2-TB-E-M	148290	515	705	1,37	0,055	0,052	0,68	1
E2-TB-E-C1	130194	503	716	1,42	0,051	0,047	0,66	1
E2-TB-E-C2	119654	484	728	1,50	0,052	0,048	0,64	1
E2-TB-P-C1	131434	461	638	1,38	0,038	0,034	0,61	0,6
E2-TB-P-C2	176417	432	567	1,31	0,034	0,032	0,57	0,6
E2-TB-PP-C	134072	475	622	1,31	0,037	0,033	0,63	0,6
E2-XW-P-C1							0,8	
E2-XW-P-C2	114523	500	657	1,31	0,069	0,065	0,66	0,8
E3-TB-E-C1	272822	1.063	1.394	1,31	0,035	0,031	0,63	1
E3-TB-E-C2	301250	1.060	1.360	1,28	0,034	0,030	0,63	1
E3-TB-E-CA	337234	995	1.406	1,41	0,037	0,034	0,60	1
E3-TB-P-C1	380625	923	1.280	1,39	0,046	0,044	0,55	0,6
E3-TB-P-C2	426875	1.037	1.354	1,31	0,046	0,044	0,62	0,6
E3-TB-PP-C	335253	991	1.324	1,34	0,049	0,046	0,59	0,6
E3-XW-P-C1	378552	950	1.129	1,19	0,085	0,082	0,57	0,8
E3-XW-P-C2	298606	874	1.101	1,26	0,073	0,070	0,52	0,8

Hodnoty získané pro spoje E jsou uvedeny v tabulce 6.4. Rozdíly mezi křivkami odpovídajícími kladným a záporným ohybovým momentům jsou malé. Pro únosnost a deformační kapacitu jsou tabelovány minimální hodnoty.

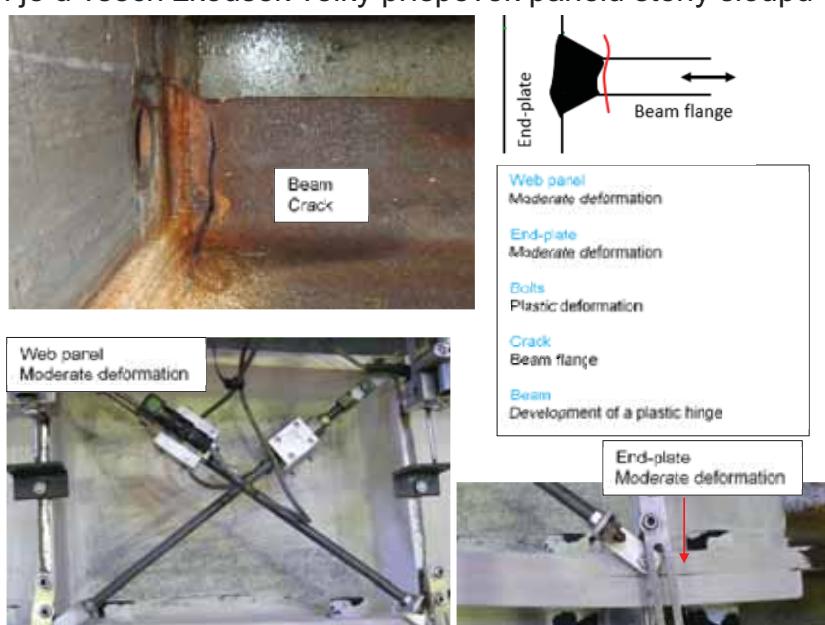
Součinitel zpevnění je pro všechny vzorky skoro stejný, průměrně $\gamma_h = 1,35$. Rotační kapacita $\varphi_{j,u}$ je vyšší než 0,04 rad, což minimální požadavek specifikovaný ANSI / AISC 341-10 pro seismicky odolné prutové konstrukce. Plasticke natočení, které se v EN1998-1 požaduje pro vysokou duktilitu, je větší než 0,035 rad. Předem navržené styčníky s nižší a stejnou únosností přípojů a panelu sloupu lze, kromě vzorků E3-TB-E-C2 a E2-TB-P-C2 s pouze $\varphi_{j,pl} = 0,030$ rad využít pro seismicky odolné konstrukce.

Z posledních dvou sloupců tabulky 6.4 je vidět, že pro předem navržené styčníky s přípoji s částečnou únosností a stejnou únosností panelu sloupu dosaženo požadované plastické únosnosti. Požadované plastické únosnosti bylo

pro přípoje s částečnou únosností přípoje a částečnou únosností panelu sloupu dosaženo požadované plastické únosnosti pouze částečně a pro přípoje se stejnou únosností dosaženo nebylo, viz kap. 5.4.

6.3.2. Tvar porušení

Styčníky s přípoji nevyztuženou čelní deskou se poruší plastickou deformací přípoje a panelu stěny sloupu. Chování se liší od chování přípojů s náběhy a vyztuženou čelní deskou. K porušení nastává pro přípoje se stejnou únosností v tepelně ovlivněné oblasti pásnice, viz obrázek 6.32, a v v tepelně ovlivněné oblasti čelní desky pro přípoje na částečnou únosnost viz obrázek 6.33. Při velkých plastických deformacích je u všech zkoušek velký příspěvek panelu stěny sloupu ve smyku.



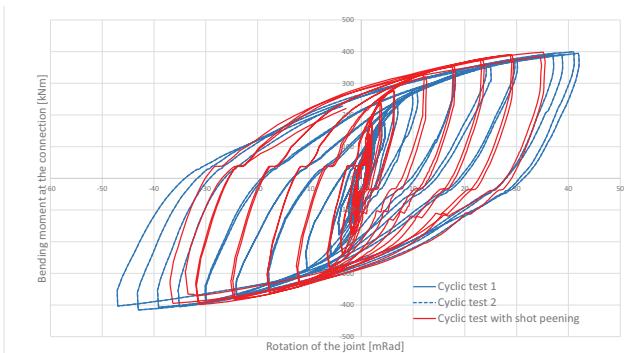
Obrázek 6.32: Tvar porušení vzorku E2-TB-E-M



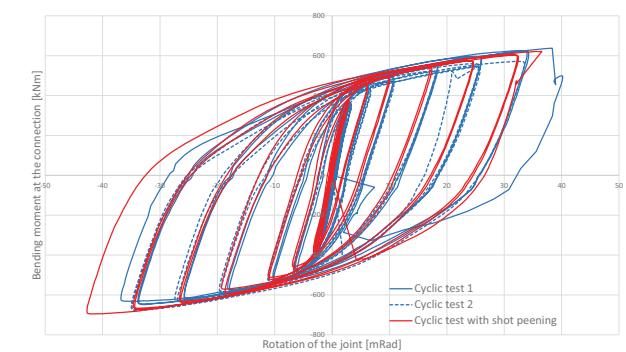
Obrázek 6.32: Tvar porušení vzorku E3-TB-E.

6.3.3. Mechanické zpevnění svarů

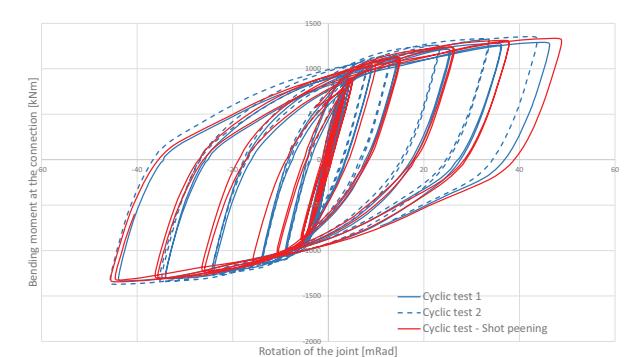
Připoje neztuženou čelní deskou s mechanickým zpevněním pěchováním svarů, označeno pp, ukázaly, že s mechanické zpevnění svarů nemá na chování vliv. Porovnání vzorků s mechanickým zpevněním a bez něj je na obrázcích 6.34 až 6.36. a porovnání hysterezních křivek na obrázku 6.27c. Tvar porušení je stejný. Trhliny vznikly ve svarech na pásnici nosníku nebo čelní desce.



Obrázek 6.34: Vliv zpevnění svarů na hysterezních křivkách vzorků E1-TB-P.



Obrázek 6.35: Vliv zpevnění svarů na hysterezních křivkách vzorků E2-TB-P.

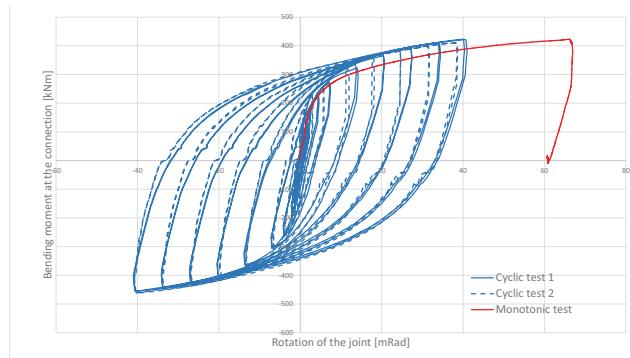


Obrázek 6.36: Vliv zpevnění svarů na hysterezních křivkách vzorků E3-TB-P.

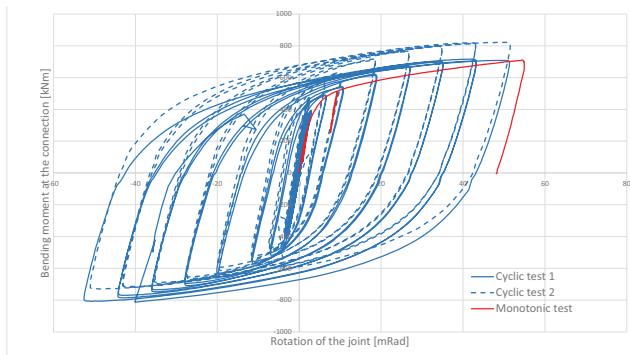
6.3.4. Vliv zatěžování

Pro vzorky E1-TB-E na obrázku 6.37 jsou mezní natočení z monotónních zkoušek větší než z cyklických. Únosnost při selhání je stejná. Na obrázku 6.38 je pro vzorek E2-TB-E situace opačná. Maximální ohybový moment dosažený monotónním testem je stejný nebo dokonce trochu menší než u cyklických zkoušek, zatímco

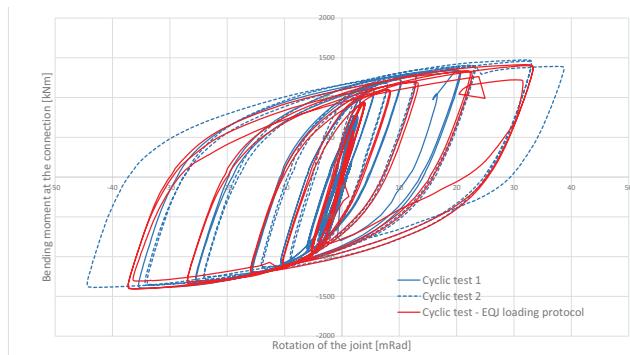
maximální natočení je téměř stejné. Únosnosti bylo dosaženo rozvojem trhlin v tepelně ovlivněné oblasti u svarů pásnice a čelní desky. Vliv cyklického zatěžovacího postupu (ANSI / AISC 341-10 a EQUALJOINTS), viz obrázek 6.39, je zanedbatelný.



Obrázek 6.37: Porovnání monotónního a cyklického zatěžování pro vzorky E1-TB-E.



Obrázek 6.38: Porovnání monotónního a cyklického zatěžování pro vzorky E2-TB-E.



Obrázek 6.39: Porovnání monotónního a cyklického zatěžování pro vzorky E3-TB-E.

6.3.5. Makro komponenty

Příspěvek panelu stěny sloupu k celkové deformaci styčníku je pro všechny zkoušené styčníky významný, viz kap. 5.4. Pro styčníky E s nevyzkušenou čelní deskou je deformace panelu stěny sloupu často větší než přípoje. To neodpovídá EN1998-1, kde se předpokládá, že deformace panelu stěny sloupu nemá k celkové deformaci přispívat více než 30 %. Panel je v tomto případě třeba využít nebo využít přesnější analýzu.

6.3.6. Shrnutí

Na základě zkoušek lze shrnout:

Všechny vzorky přípojů vykazovaly stabilní hysterezní odezvu.

Dosažená ductilita odpovídá požadavkům norem.

Příspěvek panelu stěny sloupu k celkové deformaci je větší než předpokládá EN1998-1.

Vliv zvýšené pevnosti oceli je konstantní asi 1,35.

Výpočet podle EN1993-1-8 dobře předpovídá chování

Vliv velikosti nosníku na rotační kapacitu je větší pro styčníky s přípoji se stejnou únosností než u ostatních kombinací.

Mechanické zpevnění svarů nemá vliv na chování styčníků.

Vliv zatěžování je nevýrazný

6.4. Svařovaný přípoj s oslabeným nosníkem

Svařovaný přípoj s oslabeným nosníkem (dog-bone nebo Reduced Beam Section RBS) je výhodné řešení využívané v USA. Dále je řešen a volba průřezu, geometrie oslabení, meze použití a návrh panelu sloupu ve smyku.

6.4.1. Výroba

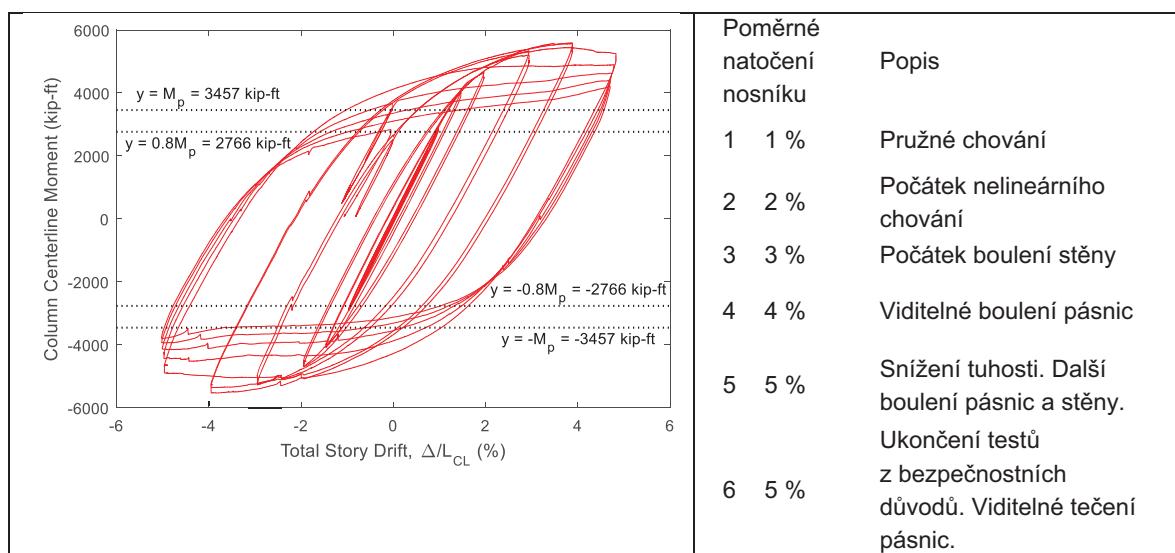
Výroba vzorků, viz obrázek 6.40, byla navržena podle amerických předpisů pro předem navržené přípoje. Požaduje se svařování na místě. Díly byly vyrobeny v Lucembursku, kde byly profily nařezány na délky a opatřeny výztuhami a přípravky na svaření místě. Nosníky a sloupy byly dovezeny do laboratoře v USA a svařeny.



Obrázek 6.40: Výroba v dílně a svažení v laboratoři.

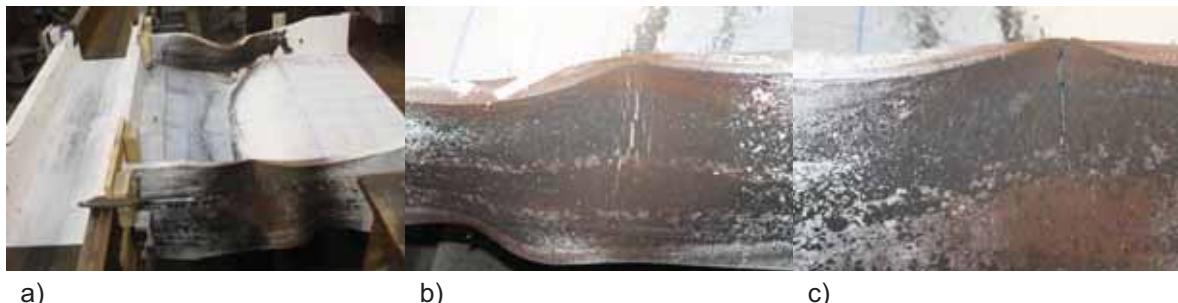
6.4.2. Vzorek SP2

Během zkoušky byla pro 4 % potřeba síla 293 kips (1 303,33 kN). Předem spočítaná pružná tuhost vzorku $K_{\text{elastic}} = 75 \text{ k/in}$ (13,13 kN/mm) byla dosažena. Chování vzorku SP2 během zatěžování je popsáno na obrázku 6.41.



Obrázek 6.41: Chování vzorku SP2.

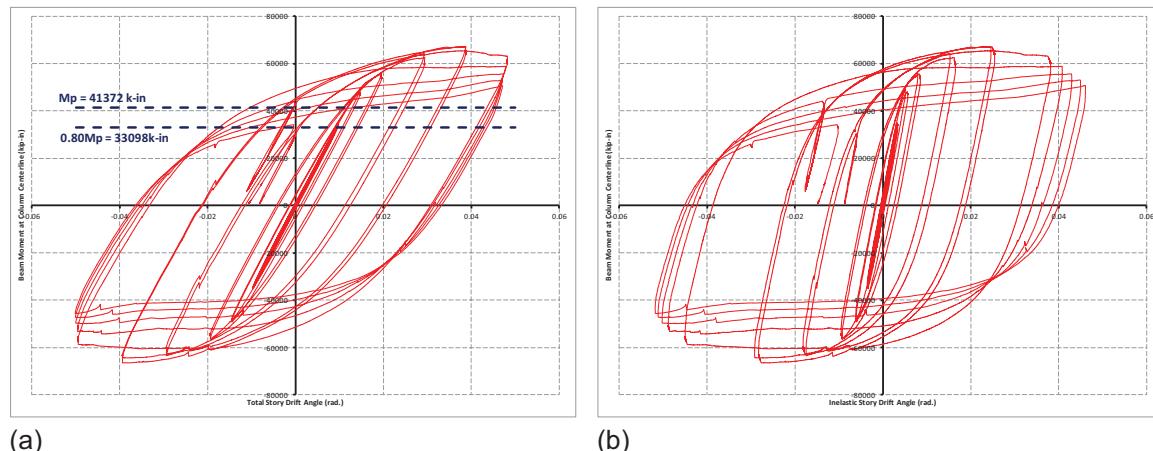
Po dvou cyklech s hodnotou poměrného natočení nosníku 4 % pro ověření předem navrženého styčníku pokračovala zkouška pěti s 5 % poměrným natočením nosníku do porušení nízkocyklovou únavou. Při posledním cyklu se v obou pásnicích v místě oslabení nosníku objevily trhliny, které jsou znázorněny na obr. 6.42a, b a c.



a) b) c)

Obrázek 6.42: Chování vzorku SP2, a) Celková deformace; b) a c) trhliny v nosníku.

Obrázek 6.43a znázorňuje zavilost poměrného natočení nosníku na ohybovém momentu. Pro 4 % poměrné natočení nosníku bylo dosaženo 80 % plastické ohybové únosnosti M_p . Výsledky odpovídají požadavkům na ohybově tuhé prutové konstrukce čl. E3.6 v AISC 341-10. Obrázek 6.43b ukazuje nelineární část poměrného natočení nosníku, která se postupně zvětšuje s deformací oslabené části nosníku.

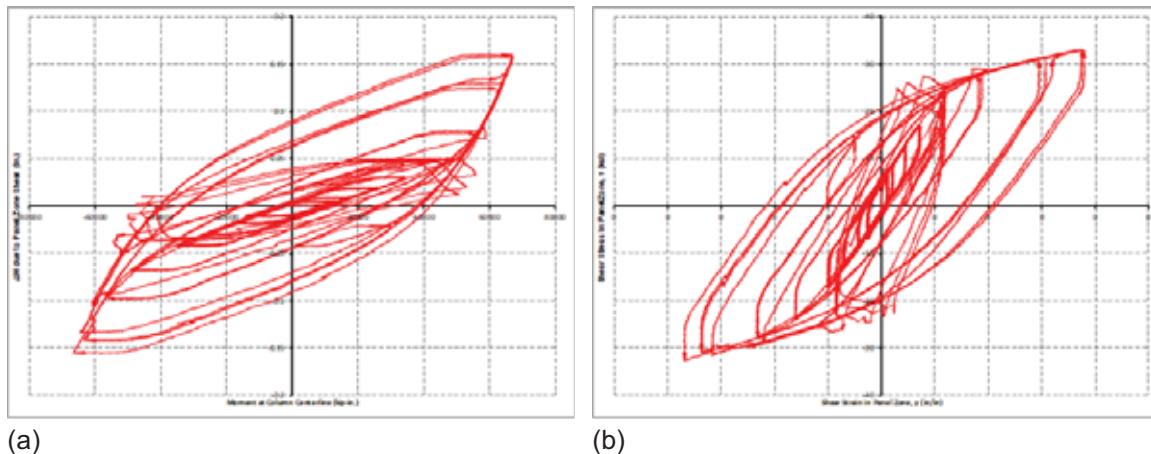


(a)

(b)

Obrázek 6.43: Chování vzorku SP2, a) celkové natočení nosníku b) nelineární natočení nosníku.

Deformace panelu stěny sloupu ve smyku je znázorněna na obrázku 6.44a. Jsou patrné hodnoty pro 4 % cyklů natočení a vliv poklesu tuhosti připojovaného nosníku. Pro panel stěny sloupu ve smyku je na obrázku 6.44b zobrazena smyková poměrná deformace v závislosti na napětí. Výrazným bodem je 4 % natočení. Extrémní pro 5 % natočení nosníku.

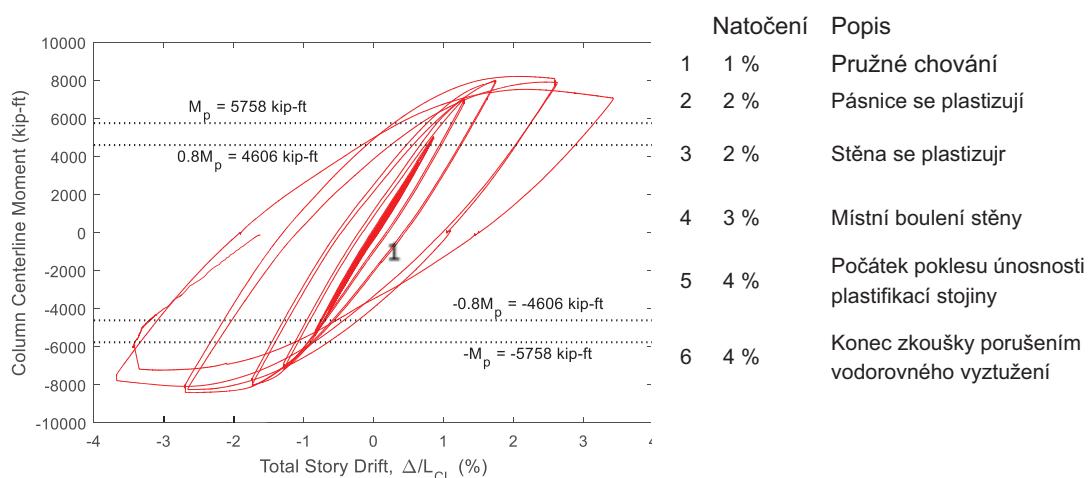


Obrázek 6.44: Chování vzorku SP2, a) deformace stěny sloupu ve smyku b) závislost poměrného protažení na smykové napětí stěny sloupu ve smyku.

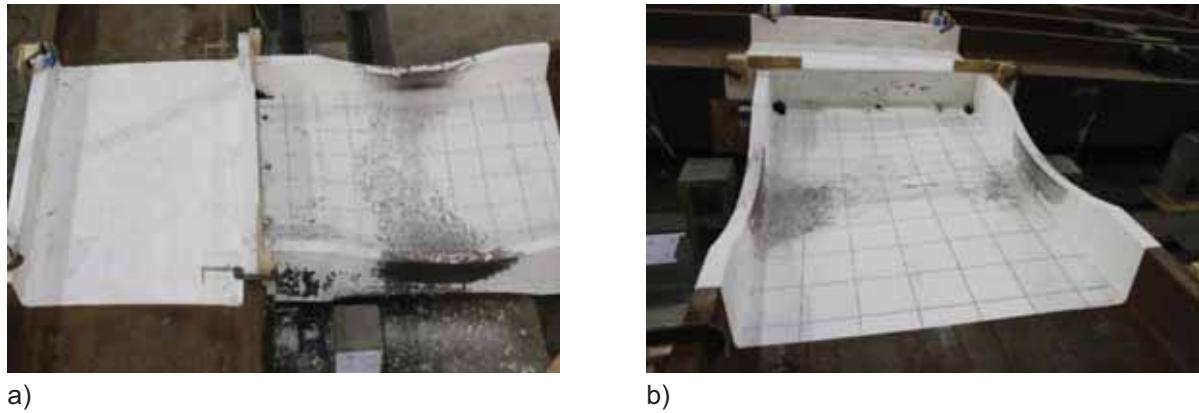
6.4.3. Vzorek SP4

Zkouška vzorku SP4 trvala 7 hod. Vzorek SP4 byl zatěžován jako vzorku SP2 podle AISC341-10. Zkouška skončila při dosažení 4 % natočení příčle, kdy selhala výztuha z roviny.

Obrázek 6.45 znázorňuje natočení příčle v závislosti na zatížení ohybovým momentem. Celkové deformace vzorku SP4 jsou zachyceny obrázku 6.46a. Na sloupu je vidět zkroucení. Obrázek 6.46b znázorňuje pomocí mřížky lokální boulení.

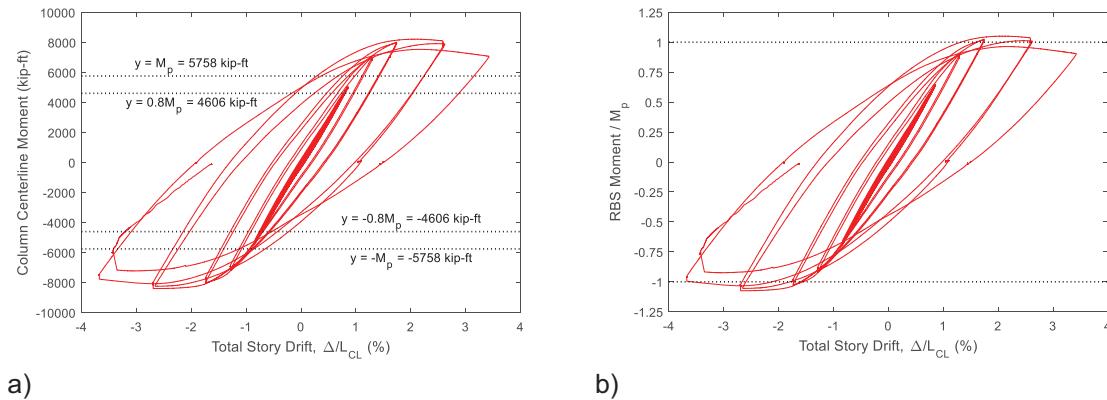


Obrázek 6.45: Chování vzorku SP4.



Obrázek 6.46: Chování vzorku SP4: a) celková deformace; b) boulení a plastifikace stěny nosníku.

Obrázek 6.47a znázorňuje závislost natočení na působícím ohybovém momentu. Při natočení přičle 4 % cyklu byl ohybový moment asi 80% pružného plastického momentu připojovaného oslabeného nosníku. Na obrázku 6.47a, která je podle AISC 341-10 vztažen k ose sloupu, přesahuje únosnost 80 % plastického momentu připojovaného nosníku.

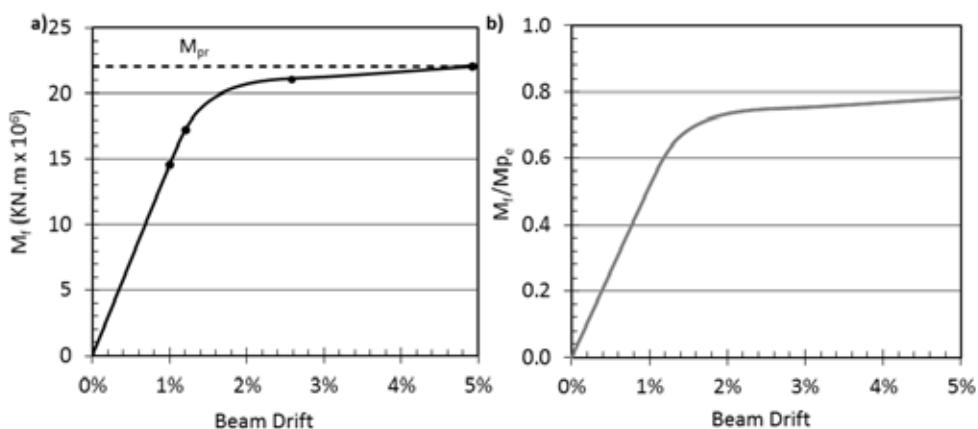


Obrázek 6.47: Chování vzorku SP4: a) závislost celkového natočení nosníku na ohybovém momentu; b) závislost natočení zeslabené části na ohybovém momentu boulení.

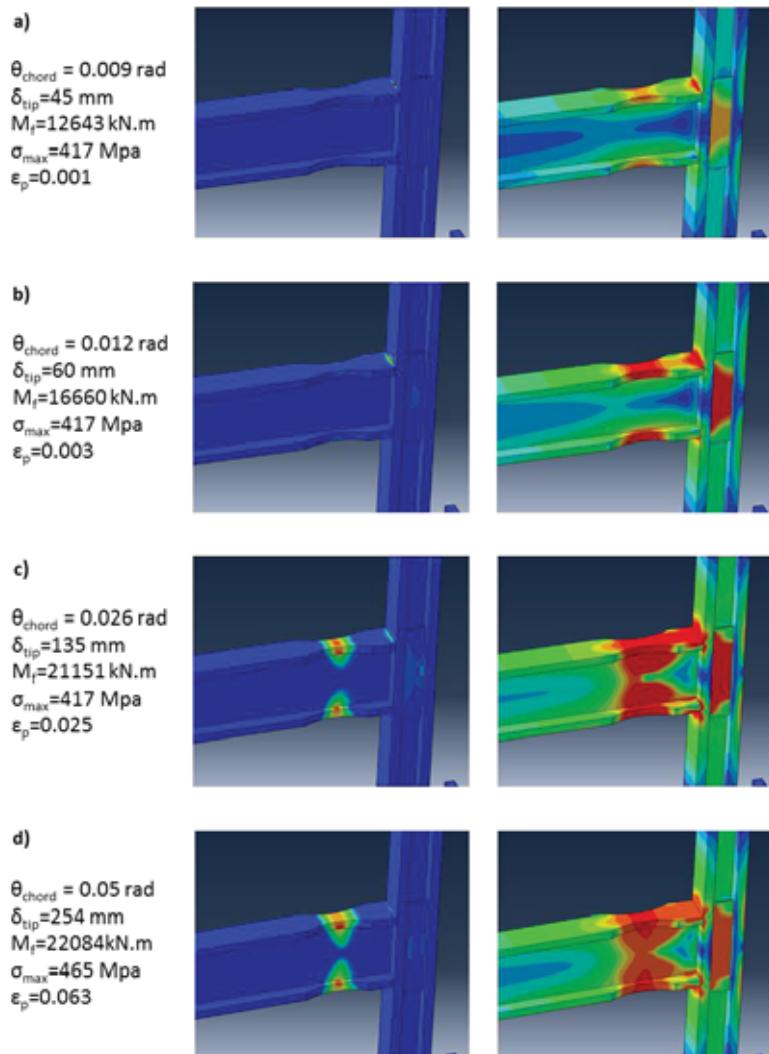
U připojuje s oslabeným nosníkem se plastická únosnost vztahuje k oslabené části. Obrázek 6.47b znázorňuje poměr působícího momentu v oslabené části a její únosností. Experimentálně stanovená únosnost je větší 80 % vypočtené plastické únosnosti.

6.4.4. Makro komponenty

Výsledky jsou připraveny pro styčník nosníku W36x925 se sloupem W14x873. Celkové poměrné a natočení příčle je obrázcích 6.48a) a 6.49b) vztaženo k momentu v lící sloupu. Maximální moment je 22 465 kNm při natočení příčle 5 %. V oslabené části je redukce momentu 0,79. Pro zobrazení chování je ukázáno poměrné protažení a napětí při natočení příčle 0,9 % a 1,2%. Při natočení 2,6% je na obrázku 6.49 vidět deformace oslabené části nosníku. Plasticke poměrné deformace ve středu svaru dosahuje při natočení nosníku 5 % hodnoty 1,6 % a v oslabení jsou plastické poměrné deformace 6,3 %.

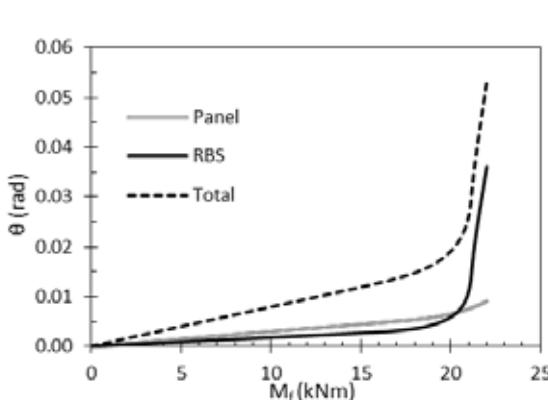


Obrázek 6.48: Natočení nosníku v závislosti ohybového momentu v lící sloupu: a) absolutní hodnoty; b) vztažené k únosnosti neoslabené příčle M_{pe} .

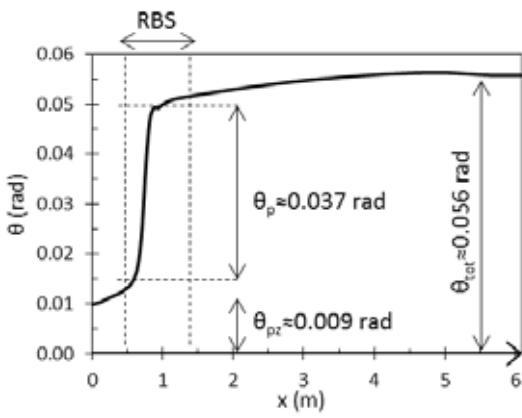


Obrázek 6.49: Rozvoj poměrné deformace, vlevo a Misesovo napětí, vpravo: a) počátek tečení; b) postupná plastifikace pásnic a stěny sloupu ve smyku, c) počátek zpevnění materiálu, d) plná plastifikace.

Příspěvek komponent k celkové deformaci lze pozorovat vykreslením jejich natočením při působení momentu v líci sloupu, viz obrázky 6.50 a 6.51. Příspěvek oslabené části při 5 % natočení nosníku je přibližně trojnásobný než panelu stěny sloupu, který působí stále pružně. Natočení podél středu nosníku je vyneseno na obrázku 6.51. Natočení v plastickém kloubu ve středu oslabené části je 0,037 rad a panelu stěny sloupu asi 0,009 rad.



Obrázek 6.50: Natočení v oslabení a panelu sloupu momentem v líci sloupu

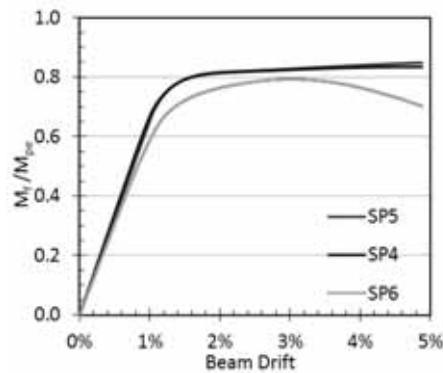


Obrázek 6.51: Natočení podél osy sloupu θ ve vzdálenosti od líce sloupu x

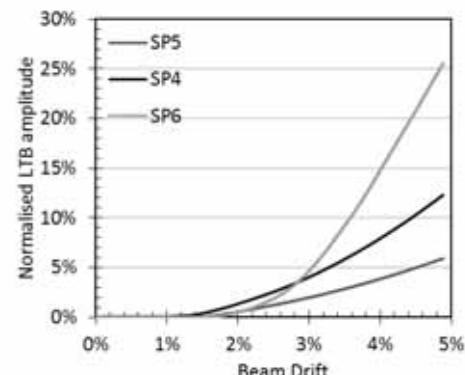
U vzorku SP4 s velkým průřezem sloupu a nosníku W40 se projevila vodorovná nestabilita 51 mm vybočením dolní příruby a zkroucením sloupu. Poměrná plastická deformace svarů pásnice sloupu byla významná. Panel stěny sloupu se ukázal tuhý a neumožnil zkosení pásnic, které se konzervativně předpokládá v AISC 358-10 (AISC, 2010b). Velikost průřezů a rozměry oslabení mají velký vliv na chování a návrh.

6.4.5. Velikost průřezu

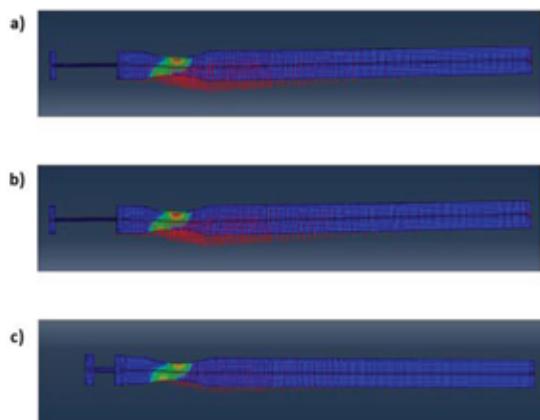
Analýza zkoušky vzorku SP4 naznačila citlivost na vyztužení z roviny. Sloup průřezu W40x593, který byl mimo hranic předběžného návhu, vykázal zkroucení. Proto byly analyzovány vzorky SP5 a SP6 s nosníky W44x408 a sloupy W14x730 a W36x487. Vzorky SP7 a SP8 pro sloup W40x593 řešily přípoje nosníků W40x431 a W36x387. Vzorky SP4 a SP5 vykazují numericky obdobné chování. Připojení SP6 vykazuje pokles tuhosti a únosnosti, viz obrázek 6.52. Klopení je vidět na obrázku 6.53. Deformovaný tvar nosníků na obrázku 6.54 je zobrazen pro velké poměrné natočení nosníku 5 %. Klopení v závislosti na h/t^3_{cf} pro sloupce, obrázek 6.55 ukazuje zkroucení sloupu.



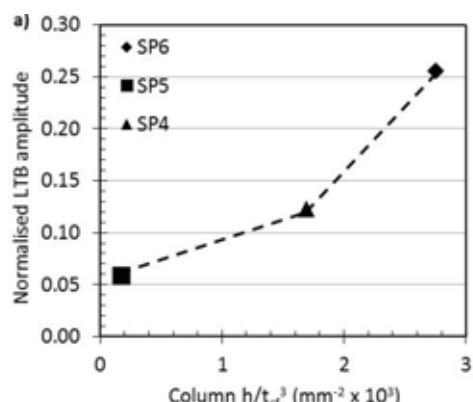
Obrázek 6.52: Natočení nosníku vzorků SP4, SP5, SP6 v závislosti na poměrném momentu M/M_{pe} v líc sloupu



Obrázek 6.53: Poměrná vodorovná deformace vzorků SP4, SP5, SP6 (deformace/šířka pásnice) v závislosti na poměrném natočení nosníku

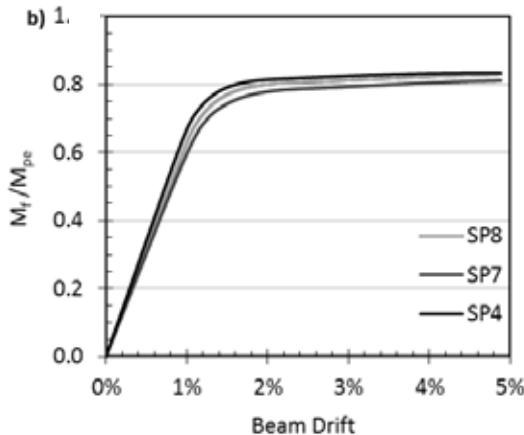


Obrázek 6.54: Poměrné protažení při 5 % poměrném natočení nosníku vzorků a) SP4, b) SP5 a c) SP6

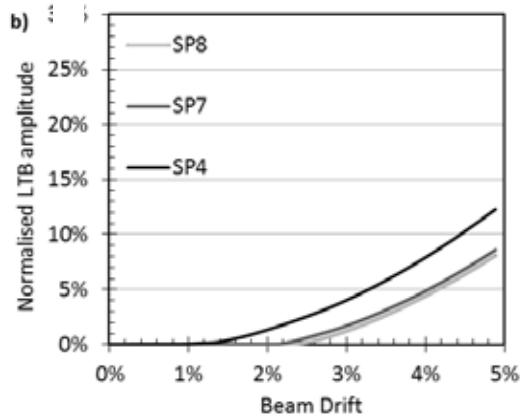


Obrázek 6.55: Poměrná deformace při klopení (deformace/šířka pásnice) při 5 % poměrném natočení nosníku vzorků vzhledem ke štíhlosti nosníku ve tvaru h/t_{cf}^3

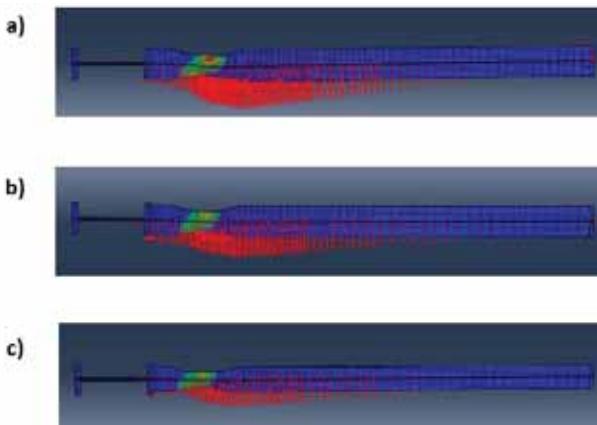
Vliv změny průřezu nosníku na závislost natočení na působícím momentu vzorků SP7 a SP8 vzhledem k vzorku SP4 je na obrázku 6.56. Klopení je obrázcích 6.57 a 6.58 doloženo u všech vzorků. Úhel zkroucení sloupu je popsán na obrázku 6.59. Ve studii byla bočně držena spodní pásnice nosníků v místě působení zatížení, řízené posunem.



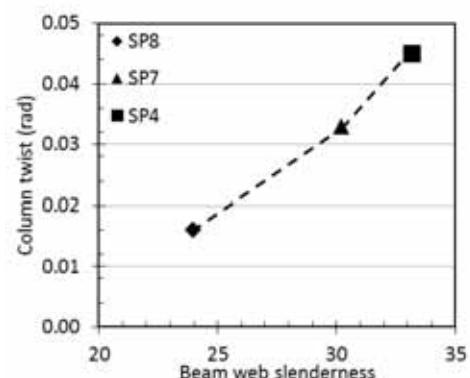
Obrázek 6.56: Natočení nosníku od poměrného momentu M/M_{pc} v líc sloupu vzorků SP4, SP7, SP8



Obrázek 6.54: Poměrná deformace pásnice (deformace/šířce pásnice) vzorků SP4, SP7, SP8 při poměrném natočení nosníku



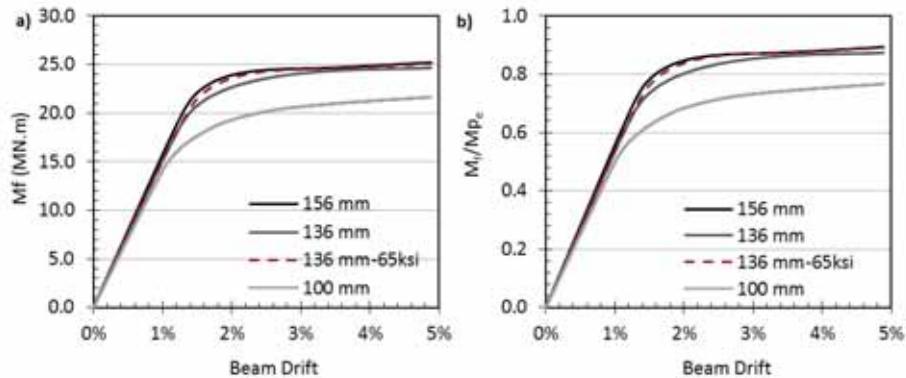
Obrázek 6.54: Poměrné protažení při 5 % poměrném natočení nosníku vzorků a) SP4, b) SP7 a c) SP8



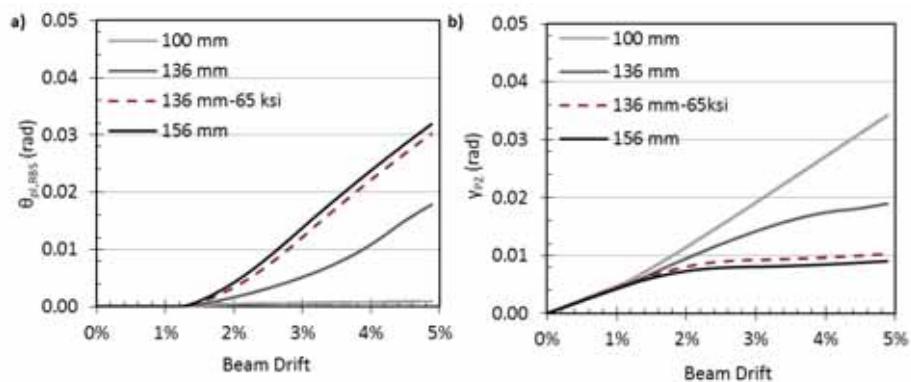
Obrázek 6.55: Natočení sloupu při 5 % poměrném natočení nosníku vzhledem ke štíhlosti stěny nosníku

6.4.6. Panel stěny sloupu

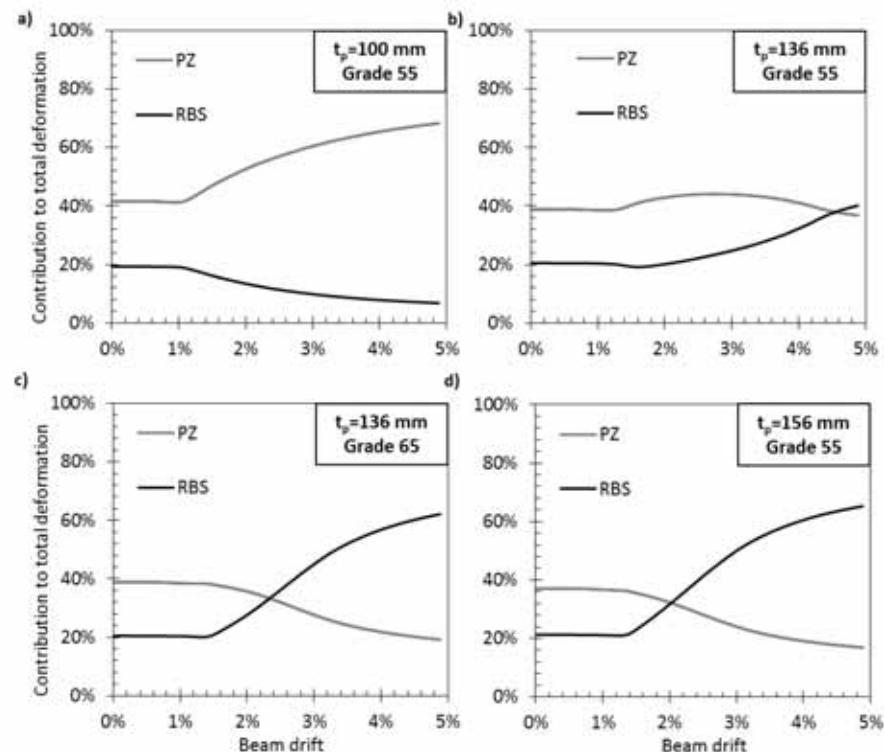
Pro vzorek SP3 je připravena studie změny tloušťky panelu stěny a materiálu. Na obrázku 6.60 je zobrazeno poměrné natočení nosníku při změně momentu v líc sloupu. Pro 100 mm tlustou stěnu sloupu je únosnost výrazně nižší. Na obrázku 6.61 je plastické natočení v oslabení nosníku v závislosti na poměrném natočení nosníku. Pro slabý panel stěny sloupu se oslabení nosníku neuplatní. Pro tloušťku stěny sloupu 136 mm pomocí příložek se natočení rozdělí mezi stěnu sloupu a oslabení nosníku. Pro stěnu 156 mm, nebo materiál 65 ksi (455 MPa) se deformuje oslabení nosníku ze 60 %. Poměrný vliv stěny sloupu a oslabení nosníku je zobrazen na obrázku 6.62.



Obrázek 6.60: Moment v lící sloupu pro poměrné natočení nosníku pro různé stěny sloupu.



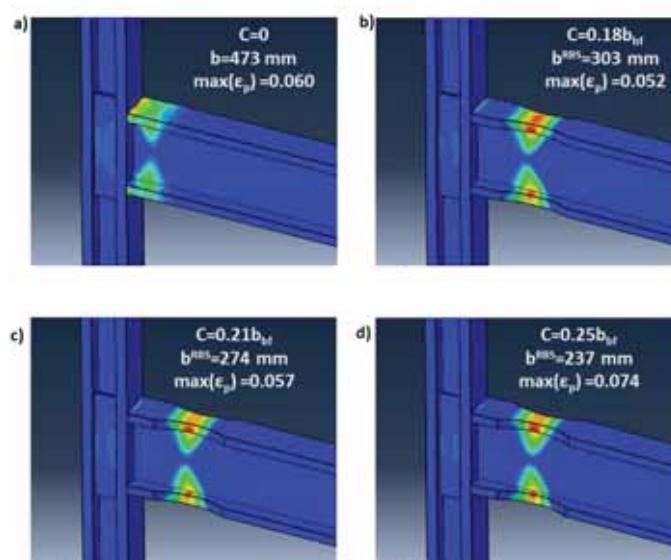
Obrázek 6.61: a) Plasticé natočení v oslabení nosníku v závislosti na poměrném natočení nosníku, b) zkosení panelu sloupu pro různé stěny sloupu u vzorku SP3



Obrázek 6.62: Vliv oslabení nosníku a stěny sloupu pro celkové natočení nosníku vzorku SP3-

6.4.7. Oslabení nosníku

Vzorky SP2 a SP3 byly modelovány s různým oslabením, které je označeno A, B a C. Součinitel C určuje hloubku řezu a ovlivňuje momentovou únosnost jak vidět na obalových křivkách na obrázku 6.63.

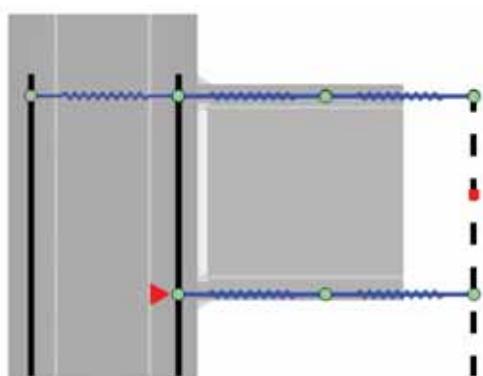


Obrázek 6.63: Poměrné protažení vzorku SP3 při 5 %poměrném natočení nosníku průřezů různé oslabení šířky nosníku od 473 mm po 237 mm

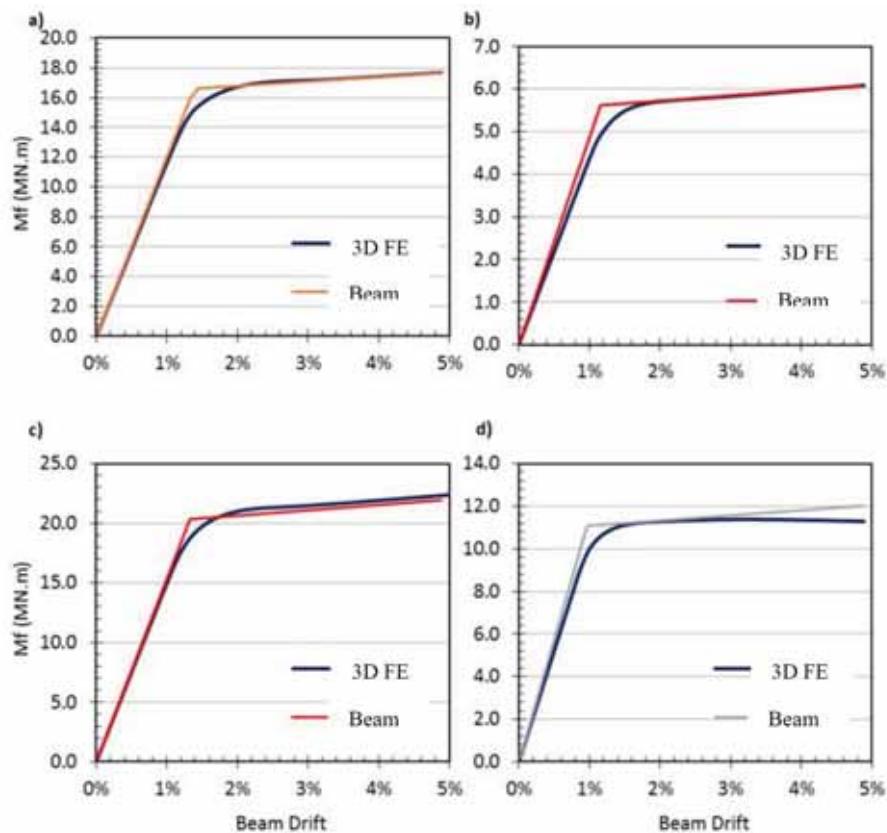
6.4.8. Model metodou komponent

Model metodou komponent byl verifikován na prostorovém MKP modelu. Podle EN1993-1-8:2006 byly vybrány komponenty sloupu, tj. stěna sloupu v tahu, pásnice sloupu v ohybu, pásnice sloupu v tlaku, stěna sloupu v tlaku a stěna sloupu ve smyku. Oslabení nosníku bylo modelováno u nosníku.

Obrázek 6.64 ukazuje schéma sestavy komponent. Stejné postupy, které se využívají pro bilineární monotónní zatěžování, lze použít pro cyklické. Chování stěny sloupu ve smyku a oslabení nosníku závisí na jejich vzájemných rozměrech.



Obrázek 6.64: Schéma modelu metodou komponent



Obrázek 6.65: Verifikace modelu metodou komponent na 3D MKP modelu pro vzorky SP1-SP4

Jednoduchý model podle (Grubbs, 1997) dobře popisuje oslabení nosníku vyříznutím pásnic. Pro vzorky SP1 až SP4 byly verifikovány modely metodou komponent na modelech MKP, jak je znázorněno na obrázku 6.65. Mezi oběma modely je dosaženo dobré shody, zejména pokud jde o vliv oslabení.

6.4.9. Shrnutí

Na základě experimentálních a numerických studií velikých průřezů bylo prozkoumáno chování svařovaných styčníků s oslabeným nosníkem. Vzorky ukázaly, že při namáhání natočením se nejprve plastifikuje pásnice. Následuje plastifikace oslabené části nosníku nebo stěny sloupu ve smyku podle jejich únosnosti.

Při oslabení nosníku se zmenší momentové namáhání v líci sloupu na 75 % až 95 % ve srovnání s přípojem neoslabeného nosníku. Nutnost plastické deformace panelu stěny sloupu se sníží, ale zůstává.

Dolní pásnice vysokých nosníků klopí. Vodorovná deformace pásnice může dosáhnout až 25% šířky pásnice. Vodorovné ztužení ve vzdálenosti $d_b/2$ od konce oslabení nosníku ve směru od styčníku klopení výrazně omezí.

Vysoké průřezy sloupů jsou náchylné ke zkroucení. U sloupů s h/t_{ff} lze dosáhnout jen natočení nosníku 0,12 rad. Interakci mezi ke zkroucení sloupů a klopením nosníku lze zabránit vodorovným ztužením sloupů.

Štíhlé nosníky jsou náchylné k boulení pásnic v tlaku a stojiny. Projeví se při poměrném natočení nosníku nad 2,0 %. Boulení pásnic výrazně redukuje duktilitu. Vodorovným ztužením se nesníží.

Návrh panelu stěny sloupu ovlivňuje výrazně nelineární chování. Umožnění nepružné deformace a zajistí vhodné namáhání oslabené části. Deformace panelu ale současně zvyšuje namáhání svarů a riziko jejich křehkého porušení.

Tloušťka pásnice nosníků ovlivňuje možnost porušení svarů. Tlusté pásnice vytváří prostorové namáhání ve svarech. V tomto případě není vhodné navrhovat stěnu sloupu na stejnou nebo menší únosnost.

Oslabení pásnice, součinitel c , rozhoduje o velikosti oslabení. Větší součinitel umožní větší natočení, sníží moment v líci sloupu a namáhání panelu ve smyku.

Literatura

- Abidelah A., Bouchaïr A., Kerdal D.E. (2012). *Experimental and analytical behavior of bolted end-plate connections with or without stiffeners*. Journal of Constructional Steel Research, 76:13–
- American Institute of Steel Construction (AISC) (2010). *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*, ANSI-AISC 341-10 Standard, American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois, USA, 2010
- American Institute of Steel Construction (AISC) (2010). *Specification for Structural Steel Buildings*, ANSI-AISC 360-10 Standard, American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois, USA, 2010
- American Society for Testing and Materials (ASTM) (2011). *Standard Practices for Cycle-Counting in Fatigue Analysis*. ASTM Standard E1049-85, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- American Society of Civil Engineers (ASCE) (2014). *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*. ASCE/SEI 41-13 Standard, Reston, Virginia.
- ANSI/AISC 358-10 (2010). *Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications*.
- ANSI/AISC 358-16 (2016). *Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications*.
- ANSI/ASCE 341-16 (2016). *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*, American Institute of Steel Construction
- Arce G. *Impact of higher strength steels on local buckling and overstrength of links in eccentrically braced frames*. MS thesis, Univ.of Texas at Austin, Austin, Tex. (advisor: M.D. Engelhardt).
- ASTM E606 / E606M-12 (2012) *Standard Test Method for Strain-Controlled Fatigue Testing*, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org
- Bijlaard FSK, Nethercot DA, Stark JWB, Tschemmernegg F, and Zoetemeijer P. (1989). *Structural properties of semi-rigid joints in steel frames*. IABSE Periodica, 2, 33.
- Bjorhovde R, Colson A. (1991) *Economy of semi-rigid frame design*, in *Connections in Steel Structures II: Behaviour, Strength and Design*, Bjorhovde, R., Haaijer, G., and Stark, J.W.B (eds.), American Institute of Steel Construction, 418–430.
- Brandanisio G, De Luca A., Mele E. (2012). *Shear strength of panel zone in beam-to-column connections*. Journal of Constructional Steel Research, 71, 129–142.
- D'Aniello M, Landolfo R, Piluso V, Rizzano G. (2012). *Ultimate Behaviour of Steel Beams under Non-Uniform Bending*. Journal of Constructional Steel Research, 78, 144–158.
- D'Aniello M, Tartaglia R, Costanzo S, Landolfo R. (2017) *Seismic design of extended stiffened end-plate joints in the framework of Eurocodes*. Journal of Constructional Steel Research, Vol 128, pp 512-527
- Dubina D, Ciutina A, Stratan A. (2001) *Cyclic tests of double-sided beam-to-column joints*. Journal of Structural Engineering 2001, 127:129-136;
- Elnashai A, Elghazouli AY. (1994). *Seismic behaviour of semi-rigid steel frames*. Journal of Constructional Steel Research, 29, 149–174.
- EN1993-1-8:2006. Eurocode 3: *Design of steel structures - Part 1-8: Design of Joints*. European Committee for Standardization (CEN), 2006.

- EN1998-1:2005 Eurocode 8: *Design of structures for earthquake resistance – Part 3: Assessment and retrofitting of buildings.* Committee for Standardization (CEN), 2005.
- Engelhardt MD, Fry G, Jones S, Venti M. & Holliday S. (2000) *Behavior and design of radius cut reduced beam section connections.* A Draft Report of SAC Task 7.
- Engelhardt MD, Winneberger T, Zekany AJ, Potyraj TJ, (1998). *Experimental Investigations of Dogbone Moment Connections.* Engrg. J., 35(4), AISC, Fourth Quarter, 128-139
- Engelhardt, M. D., Winneberger, T., Zekany, A. J. & Potyraj, T. J. (1996) *The dogbone connection: Part II.* Modern Steel Construction. 36 (8), 46-55.
- FEMA (2000a) FEMA 355D, *State of the art report on connection performance.* Report no.FEMA-355D.Washington (DC): Federal Emergency Management Agency (FEMA).
- FEMA (2000b) FEMA-350, *Recommended seismic design criteria for new steel moment-frame buildings.* Federal Emergency Management Agency.
- FEMA- 351, *Recommended Seismic Evaluation and Upgrade Criteria for Existing Welded Moment-Frame Buildings,* Ch 6, 2000
- FEMA- 355D, *State of the Art Report on Connection Performance.* Ch 3, 2000
- Gilton C, Chi B. & Uang C. (2000) *Cyclic response of RBS moment connections: weak-axis configuration and deep column effects.* Department of Structural Engineering, University of California, San Diego.
- Gross JL., Engelhardt MD, Uang CM, Kasai K. and Iwankiw, N.R., *Modification of Existing Welded Steel Moment Frame Connections for Seismic Resistance,* AISC Design Guide Series 12, American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois, 1999.
- Grubbs KV. (1997) *The effects of the dogbone connection on the elastic stiffness of steel moment frames.* Master thesis, Dept. of Civ. Engrg., The University of Texas at Austin, Texas.
- Güneyisi EM, D'Aniello M, Landolfo R, Mermerdaş K. (2013). *A novel formulation of the flexural overstrength factor for steel beams.* Journal of Constructional Steel Research, 90, 60-71
- Güneyisi EM, D'Aniello M, Landolfo R, Mermerdaş K. (2014). *Prediction of the flexural overstrength factor for steel beams using artificial neural network.* Steel and Composite Structures, An International Journal, 17(3), 215-236.
- Guo B, Gu Q, Liu F. (2006) *Experimental Behavior of Stiffened and Unstiffened End-Plate Connections under Cyclic Loading.* Journal of Structural Engineering, 132(9), 1352-1357.
- Gupta A, and Krawinkler H. (1999). *Seismic Demands for Performance Evaluation of Steel Moment Resisting Frame Structures.* Report No. 132 - John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford University, California.
- Chang KL, and Uang C M. (1997). *Designing after Northridge.* Modern Steel Constr., 37(3), 36-42
- Charney FA, and Downs WM. (2004). *Modeling Procedures for Panel Zone Deformations in Moment Resisting Frames.* Proceedings, Connections in Steel Structures V, Amsterdam.
- Che S, Tu C. (2004) *Experimental study of jumbo size reduced beam section connections using high-strength steel.* Journal of Structural Engineering. 130 (4), 582-587.
- Chen S. (1996) *A simple and effective retrofit method for steel beam-to-column connections.* Seventh US-Japan Workshop on the improvement of structural design and construction practices.
- Chen SJ, Yeh CH, and Chu JM. (1996). *Ductile steel beam-to-column connections for seismic*

- resistance.* J. Struct. Engrg., ASCE, 122(11), 1292-1299
- Chi B. & Uang C. (2002) *Cyclic response and design recommendations of reduced beam section moment connections with deep columns.* Journal of Structural Engineering. 128 (4), 464-473.
- Jaspart JP. (1997). *Contributions to recent advances in the field of steel joints. Column bases and further configurations for beam-to-column joints and column bases.* These aggregation, University of Liege, Belgium.
- Joints in Steel Construction: Moment-Resisting Joints to Eurocode 3 (P398).* Edited by The Steel Construction Institute and The British Constructional Steelwork Association, 2013, ISBN 978-1-85-942209-0.
- Jones SL., Fry GT. & Engelhardt MD. (2002) *Experimental evaluation of cyclically loaded reduced beam section moment connections.* Journal of Structural Engineering. 128 (4), 441-451.
- Kunnath SK, Malley JO. (2002) *Advances in seismic design and evaluation of steel moment frames: recent findings from FEMA/SAC Phase II Project.* Journal of Structural Engineering. 128 (4), 415-419.
- Lachal A, Aribert JM, Loho G. (2006) *Analytical and experimental investigations of bolted haunched beam-to-column joints with a view of seismic design.* Advanced Steel Construction 2 (2006) 137-160.
- Lee CH and Uang CM., *Analytical modeling of dual panel zone in haunch repaired, SAC, Technical report: Experimental investigations of beam-column subassemblies.*, Journal of Structural Engineering, ASCE, 1997, 123(1), pp.20-29
- Lee CH. (2002). *Seismic Design of Rib-Reinforced Steel Moment Connections based on Equivalent Strut Model.* Journal of Structural Engineering, ASCE, 128(9), 1121-1129.
- Lee CH. Jung JH, Oh MH, Koo ES. (2005). *Experimental Study of Cyclic Seismic Behavior of Steel Moment Connections Reinforced with Ribs.* Journal of Structural Engineering, ASCE, 131(1), 108-118.
- Maquoi R, and Chabrolin B. (1998). *Frame design including joint behaviour: final report.* EUR, Off. for Off. Publ. of the Europ. Communities, Luxembourg.
- Maris C, Vulcu C, Stratan A, and Dubina D. (2015). *Validation through numerical simulations of the design procedure for bolted beam-to-column connections with haunches.* Pollack Periodica, 10(3), 95–107.
- Mazzolani FM, Piluso V. (1992). *Member behavioural classes of steel beams and beam-columns.* Proc. of First State of the ArtWorkshop, COSTI, Strasbourg, 517-29.
- NIST, *Modification of existing Welded Steel Moment Frame Connections for Seismic Resistance,* Draft Report, National Institute for Standards and Testing, Gaithersburg, MD, 1998
- Nussbaumer A, Borges L, Davaine L (2011). Fatigue design of steel and composite structures, ECCS Eurocode Design Manuals, ECCS Press/Ernst&Sohn
- Pachoumis D, Galoussis E, Kalfas C & Efthimiou I. (2010) *Cyclic performance of steel moment-resisting connections with reduced beam sections—experimental analysis and finite element model simulation.* Engineering Structures. 32 (9), 2683-2692.
- Plumier A. (1990) *New idea for safe structures in seismic zones.* IABSE Symposium. Mixed structures including new materials-Brussels. pp.431-436.
- Plumier A. (1997). *The dogbone: back to the future.* Engrg. J. 34(2), 61-67
- Popov E, Blondet M, Stepanov L. & Stojadinovic B. (1996) *Full-Scale Beam-to-Column Connection Tests.* University of California Department of Civil Engineering, Berkeley,

CA.

- SCI/BCSA. (2013). *Joints in steel construction: moment-resisting joints to Eurocode 3*. The Steel Construction Institute and The British Constructional Steelwork Association, London, UK. Publication Number: P398.
- Shi G, Shi Y, Wang Y. (2007) *Behaviour of end-plate moment connections under earthquake loading*. Engineering Structures 29, 703–716.
- Shi Y, Shi G, Wang Y. (2007) *Experimental and theoretical analysis of the moment–rotation behaviour of stiffened extended end-plate connections*. Journal of Constructional Steel Research, 63, 1279–1293.
- Stratan A., Maris C, Dubina D, and Neagu C. (2016). *Prequalification tests on bolted beam-to-column joints with haunches*. Proceedings of the 8th International Workshop Connections in Steel Structures VIII,” American Institute of Steel Construction, Boston, USA, 569–578.
- Stratan A., Maris C, Dubina D, and Neagu C. (2017). *Experimental prequalification of bolted extended end plate beam to column connections with haunches*. ce/papers, 1(2–3), 414–423.
- Tartaglia R, D'Aniello M, Rassati GA, Swanson JA, Landolfo R. (2018). *Full strength extended stiffened end-plate joints: AISC vs recent European design criteria*. Engineering Structures, Volume 159, 15 March 2018, Pages 155–171
- Tartaglia R, D'Aniello M. (2017). *Nonlinear performance of extended stiffened end-plate bolted beam-to-column joints subjected to column removal*. The Open Civil Engineering Journal Vol 11, Issue Suppl-1,, Pages 369-383
- Tremblay R, Tchebotarev N. & Filiatrault A. (1997) *Seismic performance of RBS connections for steel moment resisting frames: Influence of loading rate and floor slab*. Proceedings, Stessa'97.
- Uang C. & Fan C. (2001) *Cyclic stability criteria for steel moment connections with reduced beam section*. Journal of Structural Engineering. 127 (9), 1021-1027.
- Uang C. Yu Q, Noel S. & Gross J. (2000) *Cyclic testing of steel moment connections rehabilitated with RBS or welded haunch*. Journal of Structural Engineering. 126 (1), 57-68.
- Uang CM, Bondad D, and Lee CH. (1998). Cyclic performance of haunch repaired steel moment connections: experimental testing and analytical modeling.” Engineering Structures, Innovations in Stability Concepts and Methods for Seismic Design in Structural Steel, 20(4–6), 552–561.
- Yu QS. Gilton C. & Uang C. (2000) *Cyclic response of RBS moment connections: Loading sequence and lateral bracing effects*. Department of Structural Engineering, University of California, San Diego.
- Yu, QS, Uang CM. and Gross J. *Seismic rehabilitation design of steel moment connection with welded haunch*”, Journal of Structural Engineering, ASCE, 2000, 126(1), pp.69-78.
- Zekioglu A, Mozaffarian H, Le Chang S, Uang C. & Noel S. (1997) *Designing after Northridge. Modern Steel Construction*.
- Zhang X. & Ricles JM. (2006) *Experimental evaluation of reduced beam section connections to deep columns*. Journal of Structural Engineering. 132 (3), 346-357.
- Zoetemeijer P. (1981). *Bolted Connections with Flush End Plates and Haunched Beams. Tests and Limit State Design Methods*, Report 6-81-15, Delft University of Technology, Stevin Laboratory.



**Equaljoints PLUS - Předem kvalifikované styčníky pro ocelové konstrukce vystavené zemětřesení,
Podklady**

Kuříková M., Bompa D., Costanzo S., D'Aniello M., Demonceau J-F., Dubina D., Elghazouli A., Jakab D., Jaspart J-P., Kožich, M., Landolfo R., Stratan A., Tartaglia R., Wald, F.

Vydalo České vysoké učení technické v Praze

Zpracovala Fakulta stavební ČVUT

První vydání, 2019

ISBN 978-80-01-06487-0 (tištěná verze)

ISBN 978-80-01-06488-7 (online)