

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Únavová životnost kriticky namáhaných částí konstrukce ŽM16

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Pavel Ryjáček, Ph.D.

Bc. Jan Mareš

2022

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod odborným vedením pana doc. Ing. Pavla Ryjáčka, Ph.D.

Dále prohlašuji, že veškeré podklady, ze kterých jsem čerpal, jsou uvedeny v seznamu použitých zdrojů.

V Praze dne 1.1.2022

.....

Bc. Jan Mareš

Poděkování:

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Pavlovi Ryjáčkovi Ph.D. za ochotu, vstřícnost, odborné rady a věnovaný čas.

Dále bych rád poděkoval kolegovi Ing. Jiřímu Jirasko z firmy SUDOP Praha a.s. za pomoc při vypracování diplomové práce a rodině za podporu v průběhu zpracování.

ANOTACE:

Předmětem této diplomové práce je posouzení železničního provizorního mostu ŽM16 z pohledu mezního stavu únavy. Zpracování diplomové práce navazuje na diagnostický průzkum, který se zabývá určením materiálových vlastností, kontrolou svarů, stanovení korozních úbytků a celkovému vizuálnímu zhodnocení prvků. Podle výsledků diagnostického průzkumu jsou určena kritická místa, která jsou na závěr práce posouzena. Úvod se věnuje obecně mostním provizoriím, popsáním jednotlivých dílců ŽM16 a shrnutím výsledků diagnostického průzkumu. Podstatná část práce se zabývá tvorbou výpočetního modelu v programu SCIA Engineer, následuje stanovení zatížení a na závěr jsou vybrané konstrukční detaily posouzeny.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Provizorní most, diagnostický průzkum, zatížitelnost, posouzení na únavu, kategorie detailu

ABSTRACT:

The subject of this diploma thesis is assessment of railway temporary bridge ŽM16 from the point of view of fatigue load. The elaboration of the diploma thesis follows up on the diagnostic research, which deals with the determination of the actual material properties, inspection of welds, determination of corrosion losses and the overall visual evaluation of the elements. According to the results of the diagnostic survey, critical points are identified, which are assessed at the end of the work. The introduction deals with temporary bridges in general, the description of individual parts of ŽM16 and a summary of the results of the diagnostic survey. A substantial part of the work deals with the creation of a computational model in the SCIA Engineer program, followed by the determination of the load and finally the selected design details are assessed.

KEY WORDS

Temporary bridge, diagnostic research, load capacity, assessment of fatigue limits, category of details.

Obsah

1. Cíl práce.....	8
2. Úvod	8
3. Mostní provizoria.....	9
3.1 Příklady provizorních mostů.....	9
3.1.1 BB – Bailey bridge	9
3.1.2 TMS – Těžká mostová souprava	10
3.1.3 MMS – Montovaný most silniční	11
3.1.4 MMT – Montovaný most týlový	11
3.1.5 Železniční most – ŽM60.....	12
4. Železniční most ŽM16	13
4.1 Příhradový element	13
4.2 Horní, dolní pás.....	14
4.3 Příčník	14
4.4 Podélník	15
4.5 Větrová příčka.....	16
4.6 Ložiska a šrouby	16
4.7 ŽB panely mostovky	17
5. Diagnostický průzkum	17
5.1 Metody diagnostického průzkumu.....	18
5.1.1 Vizuální prohlídka	18
5.1.2 Destruktivní zkoušky	18
5.1.3 Kontrola detailů metodou MMM.....	20
5.1.4 Ultrazvuková metoda PHASED ARRAY, Magnetická prášková metoda, kapilární metoda.....	20
5.2 Závěr diagnostického průzkumu.....	23
5.2.1 Zvolené únavové detaily na jednotlivých dílcích	23
6. Model konstrukce	25
6.1 Zohlednění otvorů ve stojině elementu.....	25
6.2 Přípoj příčníku ke svislici	27
6.3 Šroubové spoje.....	32
6.3.1 Svislá deformace dle manuálu ŽM16	34
6.3.2 Svislá deformace na nelineárním modelu.....	34
6.3.3 Svislá deformace na konstrukci s lineárním výpočtem	35
6.4 Připojení podélníků.....	36
6.5 Uložení ŽB panelů	37

7. Rozbor zatížení.....	38
7.1 Stálé zatížení	38
7.1.1 Vlastní tíha konstrukce	38
7.1.2 Ostatní stálé zatížení	40
7.2 Proměnná zatížení.....	40
7.2.1 Zatížení rovnoměrnou teplotou.....	40
7.2.2 Zatížení nerovnoměrnou složkou teploty	42
7.2.3 Zatížení větrem	44
7.2.4 Zatížení silniční dopravou	47
7.2.5 Stanovení únavového vozidla	51
7.2.6 Model zatížení na únavu 3	52
7.3 Kombinace zatížení.....	53
8. Mezní stav únavy	54
8.1 Vnitřní síly na modelu	57
8.2 Lokalizace nejvíce namáhaných prvků.....	59
8.2.1 Příčnick	59
8.2.2 Spoj diagonál	59
8.2.3 Svislice elementu	60
8.2.4 Diagonály elementů – styčníky s horním a dolním pásem	60
8.2.5 Dolní pás	61
8.2.6 Podélné ztužidla	62
8.3 Deskostěnové modely styčniců příhradových elementů	63
8.3.1 Napětí na styčnicích.....	66
8.4 Deskostěnový model elementu a příčnicku	67
8.5 Posouzení vybraných detailů	70
8.5.1 Kategorie detailu	72
8.5.2 Statický výpočet – Únavové vozidlo ($V_n = 32t$), kat. provozu P2.....	79
8.5.3 Statický výpočet – zatěžovací Model 3 na únavu.....	92
8.5.4 Statický výpočet – zatěžovací Model 3 na únavu – spojitý nosník ..	105
8.6 Shrnutí výsledků	114
8.6.1 Prostý nosník x spojitý nosník	114
8.6.2 Vyhodnocení na prostém nosníku – metoda bezpečné životnosti	115
8.6.3 Porovnání výsledků s metodou přípustných poškození	116
9. Závěr	120
10. Seznam zdrojů.....	121
11. Seznam obrázků.....	123
12. Seznam tabulek	126

1. Cíl práce

Cílem této diplomové práce je na základě diagnostického průzkumu a technických dokumentů ŽM16^[7,8] vytvořit 3D výpočetní model v programu SCIA Engineer, kde je zásadním úkolem vystihnout správné a reálné spolupůsobení jednotlivých prvků. Jelikož se jedná o montovanou konstrukci, tak se to týká hlavně šroubových spojů jednotlivých dílců. Podle diagnostického průzkumu a vizuální prohlídky budou vytipována místa, kde je možno předpokládat výskyt únavového poškození. Tato místa budou detailněji zkoumána a následně posouzena v mezním stavu únavy.

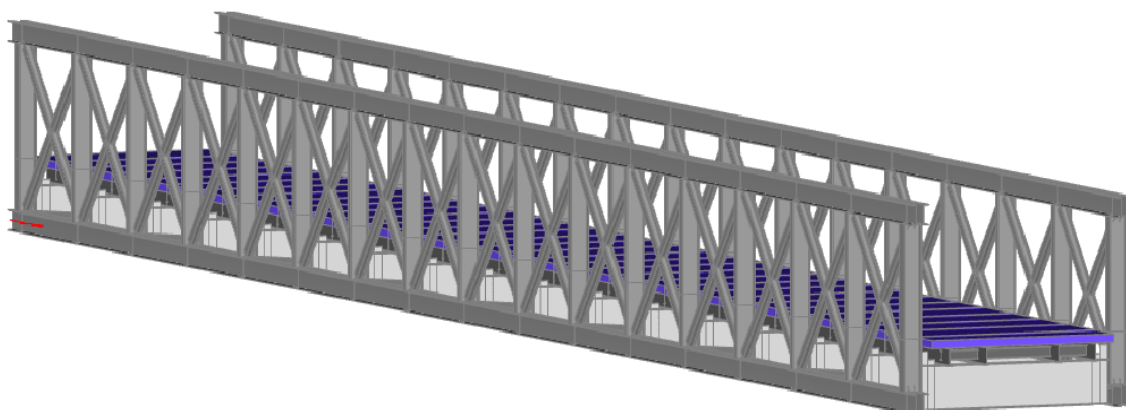
2. Úvod

Tato diplomová práce slouží jako podklad pro používání mostní konstrukce a svým tématem navazuje na diagnostický průzkum vybraných prvků ŽM16, který byl proveden pod záštitou Fakulty stavební ČVUT.

Autor diplomové práce se při diagnostickém průzkumu podílel na nedestruktivních zkouškách (tvrdoměrné zkoušky, kontrola svarů metodou MMM, měření korozního úbytku) a při zpracování závěrečné zprávy na zakreslení míst odebraných vzorků a provedených zkoušek.

Majitelem mostního provizoria ŽM16 a zároveň zadavatelem diagnostického průzkumu, potažmo statického výpočtu je firma Metrostav Infrastructure a.s.

Postup modelování konstrukce a výpočtu je detailně vysvětlen v jednotlivých kapitolách. Problematika diplomové práce je současně konzultována se zástupcem firmy Metrostav Infrastructure a.s. panem Ing. Janem Padrtou.



Obrázek 1 Rendrovaný model konstrukce ŽM16

3. Mostní provizoria

Mostní provizoria jsou konstrukce sloužící jako dočasná náhrada původních mostů v případech, kdy dojde k jejich porušení a neprovozuschopnosti, potažmo při opravě jako alternativní přechodová konstrukce obvykle umístěná v těsné blízkosti původního mostu tak, aby se co nejvíce zkrátila objízdná trasa. ^[1]

Mostní provizoria se zpravidla skládají z jednotlivých dílců, které lze snadno skladovat, převážet na staveniště a následně rychle sestavit. Práce a manipulace s jednotlivými dílci má být co nejjednodušší a efektivní, tomu odpovídají jejich rozměry, hmotnost a spoje mezi nimi, které jsou šroubové popřípadě smykové („zámkové“).

Dalším znakem a výhodou mostních provizorií je variabilní délka konstrukce, s ohledem na maximální možné rozpětí a rozměry dílců, lze přemostit různé vzdálenosti.

Zvýšení únosnosti je možné provést zvětšením počtu pater či stěn, tomu poté odpovídá značení mostních provizorií (např. 2p2s).

Mostní provizoria lze dělit například podle druhu převáděné dopravy (silniční, železniční, kombinovaná), podle počtu jízdních pruhů (jednosměrná, obousměrná – méně častá) nebo podle druhu konstrukčního systému na deskové, příhradové nebo konstrukce z plnostěnných nosníků. ^[3] Nejvíce využívané jsou mosty příhradové.

3.1 Příklady provizorních mostů

3.1.1 BB – Bailey bridge

Jedná se o jedno z prvních používaných mostních provizorií vyvinutých v období 2. světové války, které bylo možné sestavit bez použití mechanizace. Využívá příhradové konstrukce s dolní nebo horní mostovkou. Délka jedné příhrady činí 3,048 m a most lze sestavit do maximální délky 64 m, přičemž záleží na počtu stěn a pater. Vzdálenost mezi obrubníky je 3 280 mm, což umožňuje provoz pouze v jednom směru. Mezi nevýhody patří vysoká hlučnost a nízká zatížitelnost. ^[1]



Obrázek 2 BB - Bailey Bridge ^[4]

3.1.2 TMS – Těžká mostová souprava

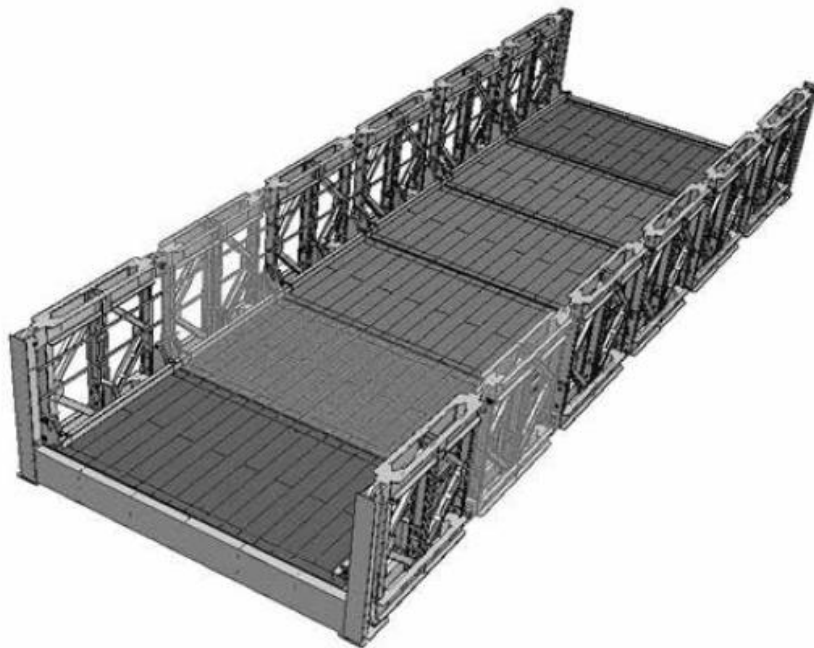
TMS je trámová, příhradová konstrukce se základní délkou příhrady 3 m. Vychází z konstrukce BB – Bailey Bridge. Může se použít jako jedno nebo dvoupatrová, avšak vždy je tvořena dvojicí stěn. Umožňuje stavbu až sedmipólového mostu o délce jednoho pole 36 m bez statického výpočtu, kdy maximální zatížitelnost činí 44 tun. Součástí konstrukce mohou být i chodníky o šířce 1 m. ^[3]



Obrázek 3 TMS - těžká mostová souprava ^[5]

3.1.3 MMS – Montovaný most silniční

Jedná se o příhradovou, jednopatrovou konstrukci s dvěma hlavními nosníky a dolní mostovkou. Most je sestaven z jednotlivých bloků, kdy jeden již tvoří celý mostní průřez o délce 2,35 m. Most je navržen na délku přemostění 21,15 m. Šířka vozovky mezi obrubníky je 4 m a umožňuje provoz pouze v jednom směru. Mostovka je pokryta plastbetonovou vrstvou pro redukci hluku. [2]



Obrázek 4 MMS - Montovaný most silniční [1]

3.1.4 MMT – Montovaný most týlový

MMT je moderní mostní provizorium používáno od 90. let českou armádou. Jedná se o trémovou, jednopatrovou příhradovou konstrukci, kterou lze použít až na třípólový most o délce jednoho pole 45 m při maximální zatížitelnosti 80 t. Mostovka je opatřena plastbetonem tloušťky 10 mm, což snižuje hlukové emise. Chodníky jsou umístěny po obou stranách z ocelových roštů. Šířka mostovky je opět zvětšena, a to na 7 m mezi svodidly umožňující obousměrný provoz. Základní stavební délka jedné příhrady činí 3 m. Hlavní výhodou je v kombinaci vysoké únosnosti a velmi rychlé montáže. [1]



Obrázek 5 MMT - Montovaný most tylový ^[1]

3.1.5 Železniční most – ŽM60

Jedná se o mostní provizorium příhradového typu, určené pro rychlou výstavbu mostních polí velkých rozpětí (železniční mosty do 66 m, silniční mosty do 99 m).

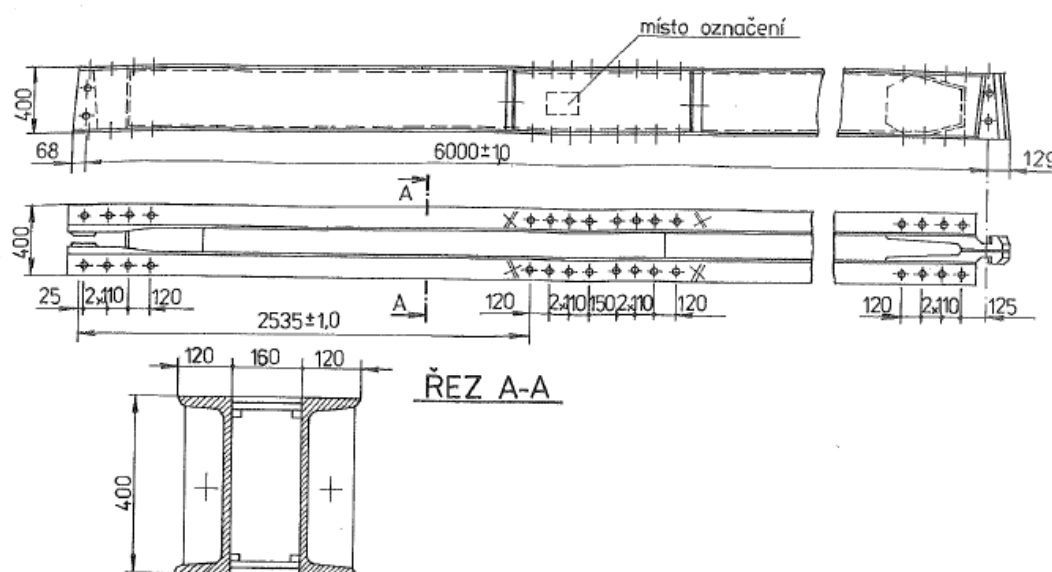
Hlavní nosníky jsou příhradové s délkou normální příhrady 6 m. Pro malá rozpětí do 18 m, lze vytvořit hlavní nosník jen z dolních pásů bez příhradové konstrukce. Mostovka je deskového typu s přímým upevněním koleje, popřípadě po odstranění upevnění koleje je možné most používat pro silniční provoz. ^[3]



Obrázek 6 ŽM60^[6]

4.2 Horní, dolní pás

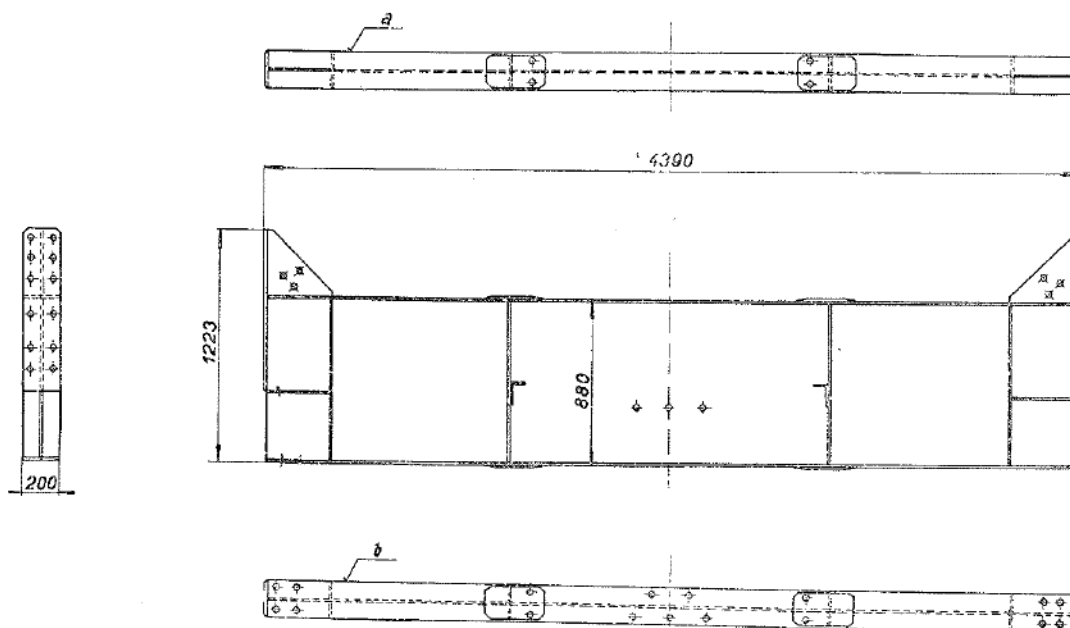
Příčný řez pásu tvoří dvojice válcovaných „U“ profilů o výšce 400 mm a délce 6 m, profily jsou vyztuženy přínýtovanými svislými i vodorovnými přepážkami. Element je připojen jak v místě spojení pásů, tak v jejich středu. Pásky jsou spojovány zámkovými spoji a zajištěny dvojicí šroubů, zabraňujících rozevření. Pásky jsou namáhány především normálovými silami s výjimkou ve fázi vysouvání konstrukce, kdy na pásky působí mimostýčnickové zatížení od výsuvných lavic. Koncové dílce jsou místo zámků prodlouženy o 0,5 m. Na pásky jsou navíc připojeny větrové příčky, sloužící k vodorovnému ztužení konstrukce. [7]



Obrázek 8 Horní/dolní pás^[8]

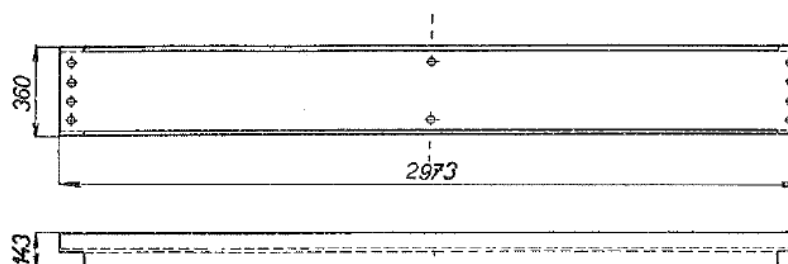
4.3 Příčník

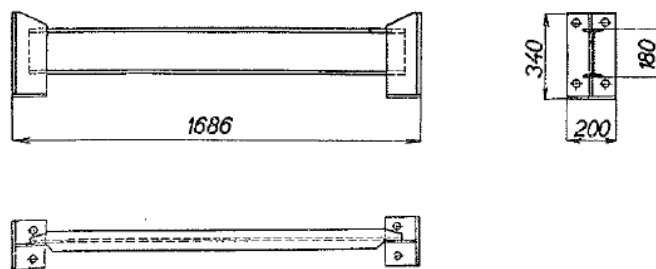
Příčník je svařovaný I nosník o výšce $h = 880$ mm, doplněný o svislé výztuhy, zabraňující ztrátě stability stojiny. Příčníky spojují příhradové trámy, ztužují konstrukci a přenášejí zatížení z podélníků. V místě připojení podélníků jsou pásnice vyztuženy přivařeným plechem s dvojicí otvorů pro jejich připojení. V zapuštěné poloze podélníků jsou připojeny ke svislým výztuhám příčníku. Příčníky jsou na koncích opatřeny čelní deskou s 12 otvory pro šrouby, které je připojují ke svislicím elementům. [7]

Obrázek 9 Příčník^[8]

4.4 Podélník

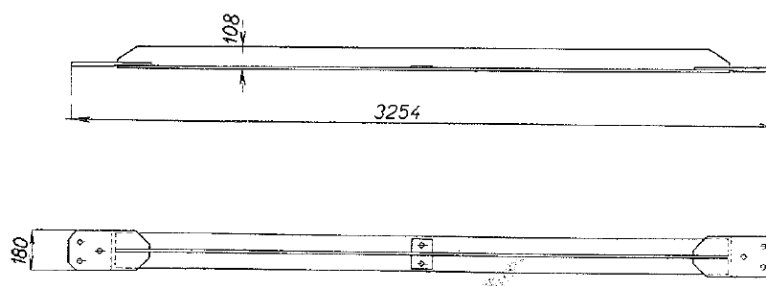
Jelikož se v originále jedná o železniční most, tak zpravidla podélníky podporují pražce nebo mostnice. V tomto případě, kdy je provizorium použito jako most pro silniční dopravu, přenášejí podélníky zatížení ze železobetonových panelů na příčníky. Podélníky mohou být v zapuštěné poloze mezi příčníky nebo v horní poloze na příčnicích. Kvůli stabilitě ŽB desky jsou na konstrukci umístěny 4 podélníky. Délka podélníků činí 2973 mm a výška je 360 mm, navzájem jsou spojeny podélníkovými ztužidly, které je navíc připojují dvojicí šroubů k příčnicům.^[7]

Obrázek 10 Podélník^[8]

Obrázek 11 Podélníkové ztužidlo^[8]

4.5 Větrová příčka

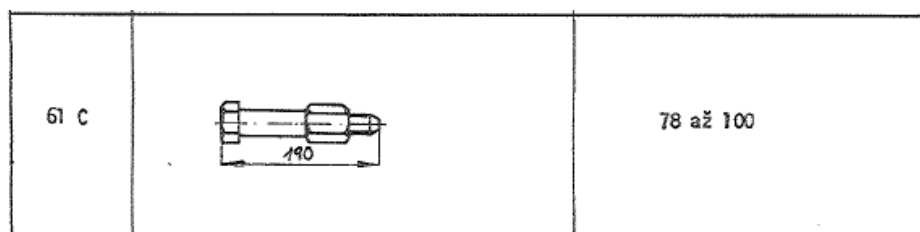
Větrová příčka má průřez tvaru „T“, tvoří diagonály mezi příčnicí, podélně ztužuje konstrukci a přenáší posouvající síly od vodorovného zatížení. Větrová příčka je připojena k horní přírubě pásu a z druhé strany ke stěně příčnicku pomocí přípojného úhelníku. Délka příčky činní 3254 mm a výška 108 mm.^[7]

Obrázek 12 Větrová příčka^[8]

4.6 Ložiska a šrouby

Ložiska přenášejí svislé a vodorovné reakce od konstrukce do podpěr. Posuvná ložiska umožňují dilataci mostního pole vlivem zatížení od teploty ± 66 mm.

Šrouby jsou nedílnou součástí konstrukce spojující veškeré výše uvedené prvky konstrukce. S ohledem na snadný způsob montáže mají šrouby zvlášť upravený tvar – silnější dřív jednotného průměru, odstupňované délky přecházejí oblým zúžením do závitové části s kuželovitým ukončením.^[7]

Obrázek 13 Příklad šroubu^[8]

4.7 ŽB panely mostovky

Pojezdovou vrstvu mostovky tvoří železobetonové panely o rozměrech 4240x1490x160 mm. Panely jsou na podélníky pouze položené, tedy se zbytkem konstrukce nespolutpůsobí. Aby se předešlo možným pohybům, panely jsou zajištěny výdřevami mezi svislicemi elementů. V podélném směru jsou mezi panely mezery 10 mm.

5. Diagnostický průzkum

Všechny použité informace v této kapitole vycházejí ze závěrečné zprávy: Diagnostický průzkum dílců železničních mostů ŽM 16 a ŽM60, vypracované pod vedením doc. Ing. Pavla Ryjáčka Ph.D. ^[9]

Diagnostický průzkum byl proveden na přání objednatele Metrostav Infrastructure a.s. s cílem diagnostiky jednotlivých prvků konstrukce a návrhu postupu jejich kontroly. Postup průzkumu byl následující:

- výběr vhodných dílců pro diagnostický průzkum,
- vizuální prohlídka dílců,
- diagnostický průzkum dílců,
- vyhodnocení diagnostického průzkumu,
- návrh předpisu pro kontrolu mostních dílců.

V rámci diagnostiky se provedly následující činnosti:

- odběr vzorků pro stanovení materiálových charakteristik použité oceli,
- destruktivní stanovení pevnosti a dalších charakteristik oceli,
- nedestruktivní stanovení pevnosti oceli na základě provedených tvrdoměrných zkoušek,
- nedestruktivní zkoušení svarů a měření korozních úbytků,
- fotodokumentace.

Pro diagnostický průzkum byl vybrán příhradový element, dolní pás a příčník.

5.1 Metody diagnostického průzkumu

5.1.1 Vizuální prohlídka

5.1.1.1 Příhradový element

Z vizuálního hlediska se na příhradovém elementu vyskytovala povrchová a lokálně důlková koroze s korozním úbytkem až 2 mm, příčinou je nevhodná poloha elementu při skladování, hromadění vody a nečistot ve styčnicích. Jiným způsobem není prvek deformován.

5.1.1.2 Dolní pás

Dílec je v dobrém stavu bez závažných vad, pouze v místech zámků dochází k odlupování PKO vlivem sestavování a rozebírání konstrukce.

5.1.1.3 Příčník

Diagnostikované dílce nejsou zásadně poškozeny, objevuje se zde pouze lokálně povrchová koroze, kde dochází ke koroznímu úbytku maximálně 2,5 mm. Tento stav je závislý na způsobu skladování prvku.

5.1.2 Destruktivní zkoušky

Pro tyto zkoušky byly z jednotlivých dílců odebrány vzorky, které byly upraveny dle předpisu ČSN EN ISO 6892-1 a následně podrobeny zkouškám tahem a rázem za ohybu.

Výsledkem zkoušení je mez kluzu, mez pevnosti, modul pružnosti a vrubová houževnatost.

5.1.2.1 Mez kluzu

Dílec	Část	Mez kluzu dle zkoušek	Mez kluzu dle dokumentace	Poznámka
		$f_{yk,zk}$	$f_{yk,dok}$	
		[MPa]	[MPa]	
Diagonála	Svislice	432	355	
	Výztuha	234	355	Ocel odpovídá třídě S235
Dolní pás	Pás	406	355	
	Zámek	402	530	Ocel odpovídá třídě S355
	Nýt	356	530	Ocel odpovídá třídě S355
Příčník		346	355	

Tabulka 1 Mez kluzu prvků ŽM16

Z výsledků je patrné, že změřené meze kluzu se od hodnot dle dokumentace liší, avšak pro následující modelování a posuzování konstrukce lze uvažovat třídu oceli S355.

5.1.2.2 Mez pevnosti

Na vybraných místech dílců byly provedeny tvrdoměrné zkoušky pomocí přenosného tvrdoměru KT-C. Výsledky tvrdosti byly následně převedeny na pevnost oceli dle vzorce:

$$f_{u,MPa} = 1,9278 \cdot f_{u,HL} - 244,46.$$

Přepočítané hodnoty z tvrdosti ocele byly porovnány s naměřenými hodnotami ze zkoušky tahem. Výstupem porovnání těchto metod je možnost využití tvrdoměrných zkoušek k určení pevnosti oceli.

Dílec	Část	Mez pevnosti dle tvrdoměrných zkoušek	Mez pevnosti dle tahové zkoušky	Poznámka
		$f_{u,tr}$	$f_{u,zk}$	
		[MPa]	[MPa]	
Diagonála	Svislice	597	635	$f_{u,tr}/f_{u,zk} = 0,94$
	Výztuha	407	417	$f_{u,tr}/f_{u,zk} = 0,98$
Dolní pás	Pás	476	597	$f_{u,tr}/f_{u,zk} = 0,80$
	Zámek	490	602	$f_{u,tr}/f_{u,zk} = 0,93$
Příčník		346	595	$f_{u,tr}/f_{u,zk} = 0,82$

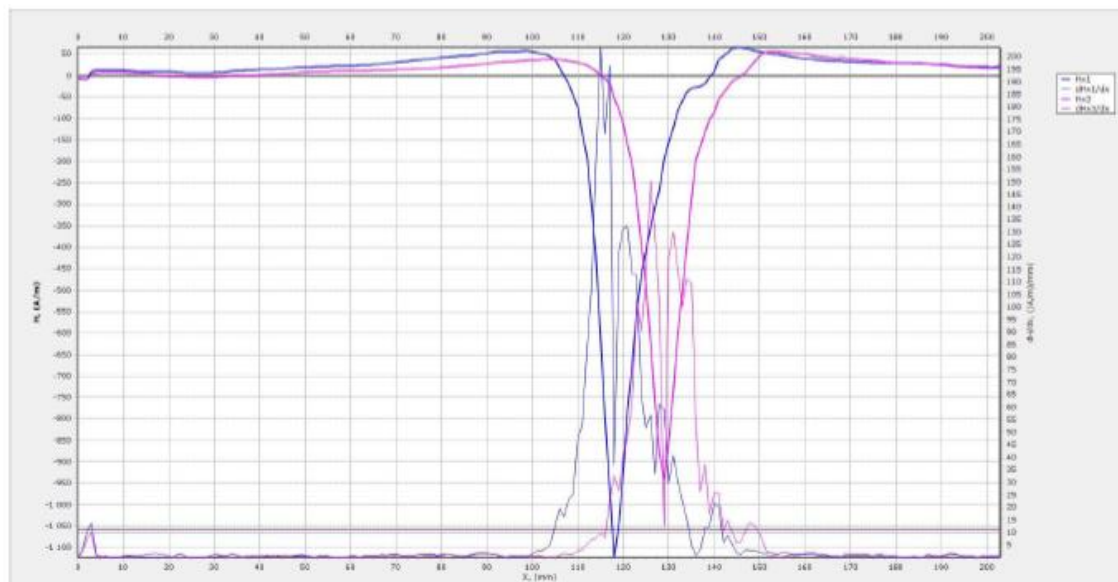
Tabulka 2 Mez pevnosti prvků ŽM16

5.1.2.3 Modul pružnosti

Na všech dílcích byla určena průměrná hodnota modulu pružnosti vyšší jak 210 GPa.

5.1.3 Kontrola detailů metodou MMM

Metodou MMM (Metal Magnetic Memory) se nedestruktivním způsobem kontrolují vybrané detaily, kde se sledují zbytkové magnetické pole kovu, které reflektují poruchy a nehomogenity v mikrostruktuře materiálu. Výsledkem jsou magnetogramy, ze kterých lze odečíst místo potenciální poruchy.



Obrázek 14 Příklad magnetogramu ^[9]

Metodou MMM nebyly zjištěny žádné zásadní poruchy, ve většině případů zjištěné indikace značily nečistotu ve svaru. Metoda MMM byla doplněna o přesnější a průkaznější kontroly svarů (VT. UT. MT).

5.1.4 Ultrazvuková metoda PHASED ARRAY, Magnetická prášková metoda, kapilární metoda

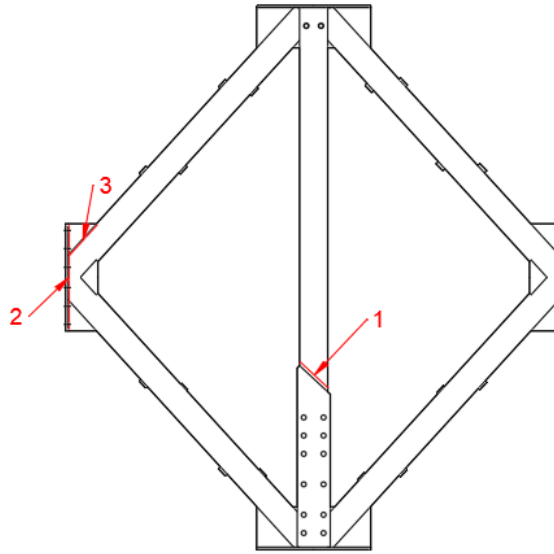
Ultrazvuk je nedestruktivní metoda sloužící ke kontrole kvality svarů a možných indikací poškození. Využívá šíření zvukových vln v elastickém prostředí o frekvencích v řádu MHz, které následně sondy přemění na elektrickou energii a obráceně.

Phased Array jsou sondy složeny z více měničů a mohou zabírat větší snímací pole.

Magnetická prášková metoda je nedestruktivní metoda, která využívá magnetického pole k indikaci povrchových a podpovrchových poškození. Metoda spočívá v indikaci necelistvostí pomocí feromagnetického prášku, který je do těchto míst přitahován a vytvoří tak viditelnou indikaci.

U kapilární nebo penetrační metody vniká kapalina do povrchových necelistvostí a po nanesení vývojky dokáže tato kapalina vzlínat. Tento proces poté vytvoří viditelnou indikaci na povrchu.

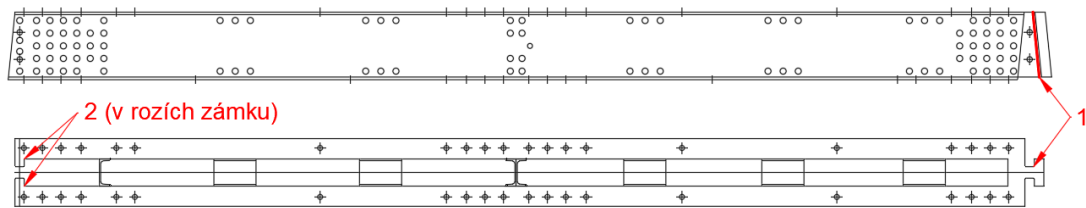
5.1.4.1 Příhradový element



Obrázek 15 Schéma kontrolovaných míst – příhradový element

- Svar 1 – **nevyhovuje** (zkouška UT,PT)
 - vadné napojení, indikace svaru po celé jeho délce, povrchové vady – póry, shluky pórů
- Svar 2 – **nevyhovuje** (zkouška UT,MT)
 - vadné napojení, kráterová sraženina, převažená kráterová sraženina
- Svar 3 – **nevyhovuje** (zkouška UT,MT)
 - koncová kráterová sraženina, souvislý i nesouvislý zápal podél celého svaru

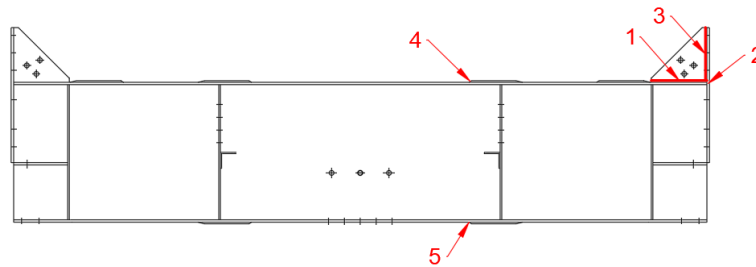
5.1.4.2 Dolní pás



Obrázek 16 Schéma kontrolovaných míst – dolní pás

- Svar 1 – **vyhovuje** (zkouška UT,MT)
- Svar 2 – **vyhovuje** (zkouška UT,MT)

5.1.4.3 Příčník



Obrázek 17 Schéma kontrolovaných míst – příčník

- Svar 1 – **vyhovuje**
 - přípustné indikace (zkouška UT,MT)
- Svar 2 – **nevyhovuje** (zkouška UT,MT)
 - vadné ukončení svaru
- Svar 3 – **nevyhovuje** (zkouška UT,MT)
 - koncová kráterová sraženina, souvislý i nesouvislý zápal podél celého svaru
- Svar 4 – **nevyhovuje** (zkouška UT,MT)
 - indikace v místě natavení svarového kovu s příložkou
- Svar 5 – **nevyhovuje** (zkouška UT,MT)
 - indikace v místě natavení svarového kovu s příložkou

5.2 Závěr diagnostického průzkumu

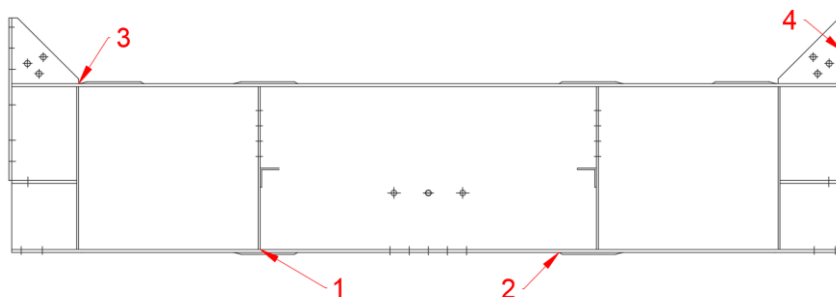
Na základě provedené diagnostiky byl stanoven předpis kontrol jednotlivých dílců, zahrnující místo, způsob a počet kontrol. Všechny tyto kontroly budou prováděny nedestruktivními metodami, aby nedocházelo k poškození a znehodnocení dílců.

Pro účel této diplomové práce bude diagnostický průzkum využit k určení detailů na dílcích, které budou podrobeny posouzení z pohledu únavové životnosti.

Pro další postup je z hlediska materiálových vlastností důležitá změřená mez kluzu, pro celou konstrukci bude uvažována třída oceli S355 ($f_y = 355$ MPa).

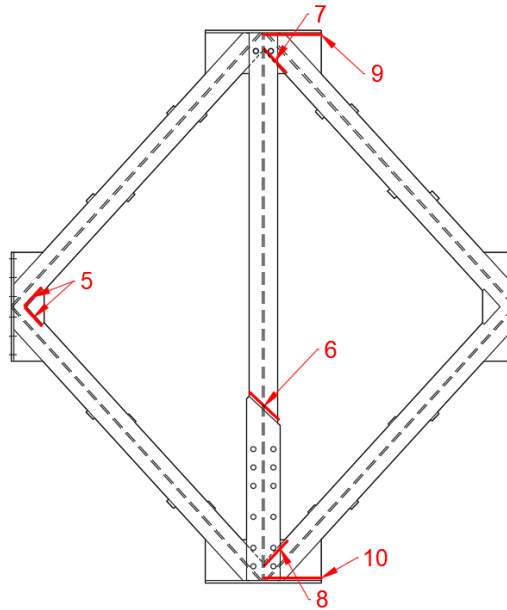
5.2.1 Zvolené únavové detaily na jednotlivých dílcích

Výběr detailů kombinuje poznatky z diagnostického průzkumu a namáhání dílců určené na výpočetním modelu v programu SCIA Engineer.



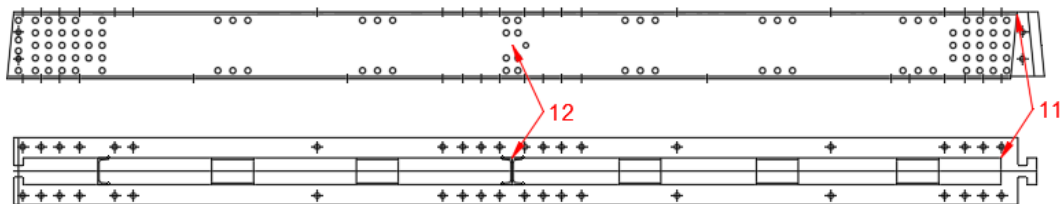
Obrázek 18 Únavové detaily – příčník

1. Spodní pásnice příčníku – svislá výztuha
2. Spodní pásnice příčníku – plech pro připojení podélníku
3. Konec koutové výztuhy příčníku – horní pásnice
4. Svislá část koutové výztuhy příčníku – čelní deska



Obrázek 19 Únavové detaily – příhradový element

5. Spoj diagonál – výztuha
6. Přechod rozšířené pásnice
7. Diagonála – koutová výztuha (styčnick s horním pásem)
8. Diagonála – koutová výztuha (styčnick s dolním pásem)
9. Koutová výztuha – styčnickový plech (styčnick s horním pásem)
10. Koutová výztuha – styčnickový plech (styčnick s dolním pásem)



Obrázek 20 Únavové detaily – dolní pás

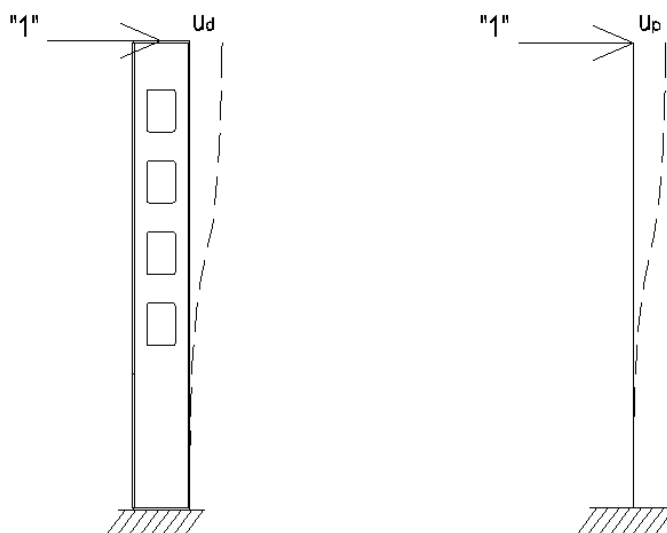
11. Nýtový spoj mezi nosníkem a zámekem
12. Příhradová spojka mezi profily dolního pásu
13. Detail na podélném ztužidlu

6. Model konstrukce

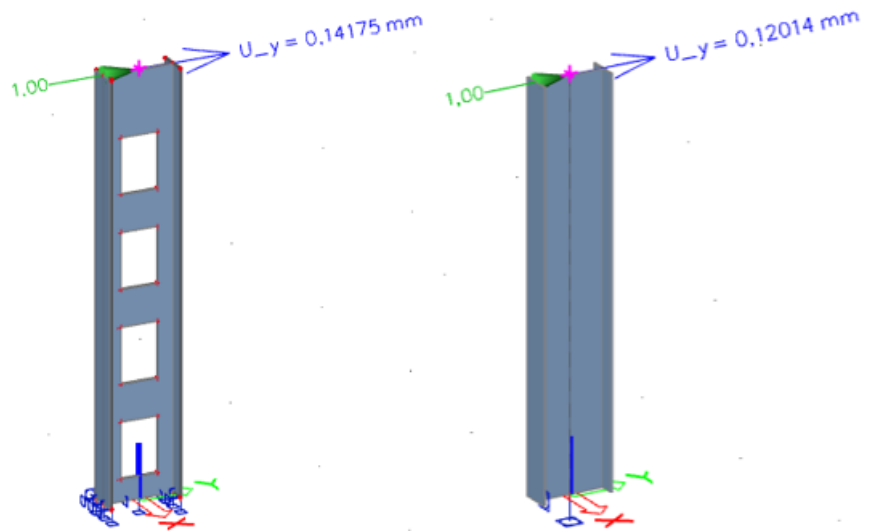
Model konstrukce je vytvořen v programu Scia Enginner. Model je uvažován jako prostorový, kombinující prutové a deskostěnové prvky. Pruty odpovídají reálným prvkům konstrukce a respektují jejich průřezové charakteristiky a vlastní tíhu. Klíčové pro správné fungování konstrukce bylo vystihnout připoje jednotlivých prvků a jejich vzájemné excentricity, k čemuž byly využity fiktivní pruty s nulovou vlastní tíhou a vysokou tuhostí (tuhá ramena). Jednotlivým částem a přípojmům konstrukce se budou věnovat následující kapitoly.

6.1 Zohlednění otvorů ve stojině elementu

Svislice elementu má průřez tvaru „I“ s perforovanou stojinou, význam otvorů je v modelu vyjádřen poměrným snížením momentu setrvačnosti prutového prvku svislice. Tento poměr byl získán porovnáním deformací prutového prvku (bez otvorů) a deskostěnovým modelem, reprezentující reálnou stojinu elementu (obr. 21). Prutový i deskostěnový prvek byl zatížen ve vrcholu stejnou vodorovnou silou a z poměru deformací byl určen koeficient, kterým byl snížen moment setrvačnosti prutového prvku (obr. 22).



Obrázek 21 Deskostěnový a prutový model svislice



Obrázek 22 Vodorovné deformace svislice elementu

$$U_d = \frac{F \cdot l^3}{3EI_d}$$

$$U_p = \frac{F \cdot l^3}{3EI_p}$$

$$\frac{U_p}{U_d} = \frac{\frac{F \cdot l^3}{3EI_p}}{\frac{F \cdot l^3}{3EI_d}} = \frac{I_d}{I_p}$$

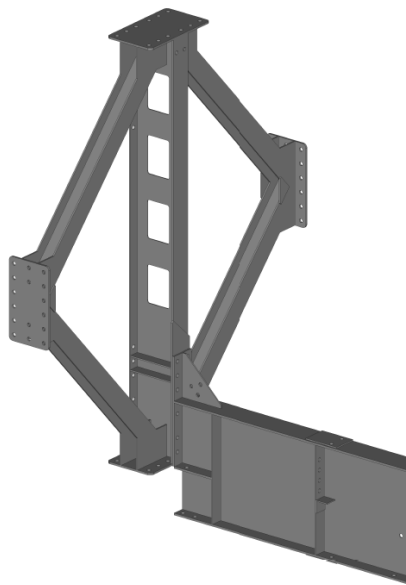
$$\frac{0,12014}{0,14175} \cdot I_p = I_d$$

$$\mathbf{0,848 \cdot I_p = I_d}$$

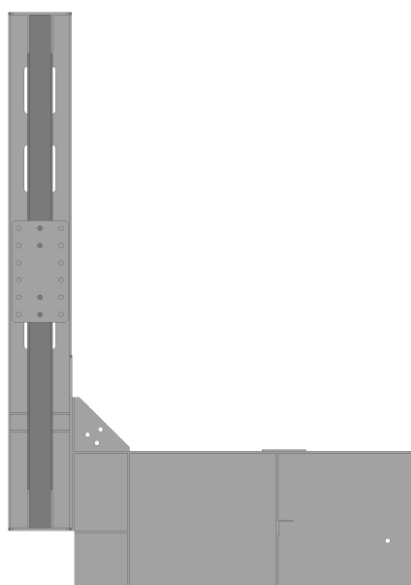
Tento poměr bude přiřazen jako zmenšující koeficient momentu setrvačnosti stojiny ve výpočetním programu Scia Engineer.

6.2 Přípoj příčnicku ke svislici

Příčník je připojen ke svislici elementu čelními stykovými deskami a 12 šrouby. Tento přípoj bylo snahou co nejdůstojněji napodobit v prutovém modelu.



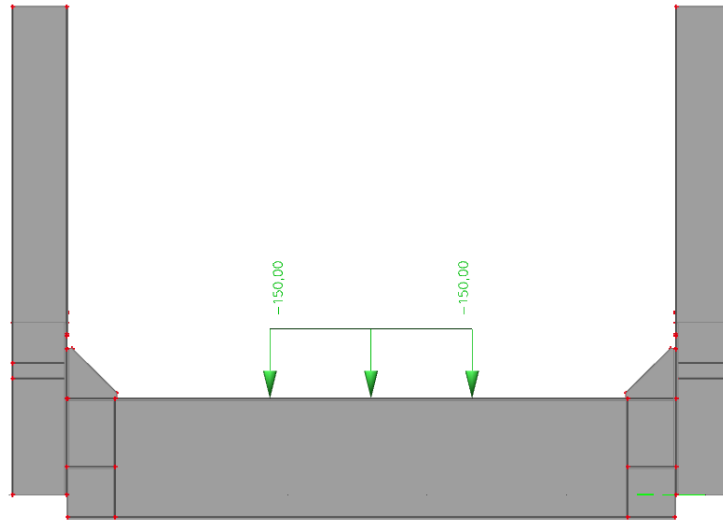
Obrázek 23 Napojení svislice elementu a příčnicku – axonometrický pohled



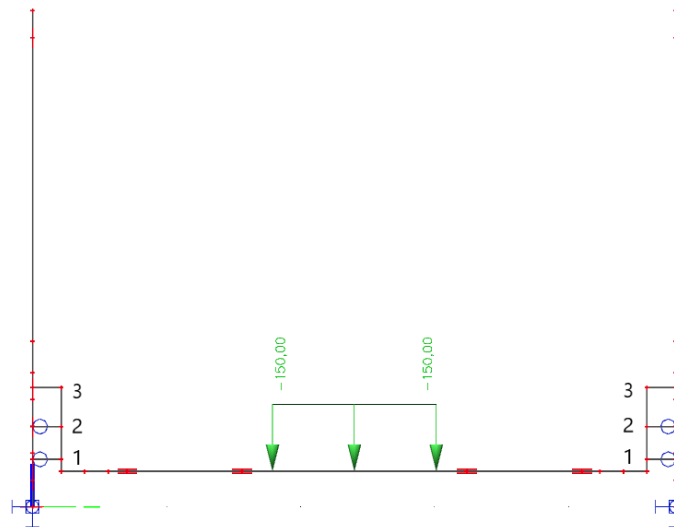
Obrázek 24 Napojení svislice elementu a příčnicku – boční pohled

Pro „ladění“ a ověření chování přípoje, byly vytvořeny 2 modely příčnicku a svislice elementu. Jeden deskostěnový (stejný tvar a rozměry dílců, obr. 25) a druhý prutový (následně používaný v globálním modelu, obr. 26). Na příčník bylo v obou modelech vneseno stejné zatížení, následně byl prutový model upravován, tak aby bylo dosaženo stejné hodnoty a tvaru deformace s ohledem na přerozdělení vnitřních sil.

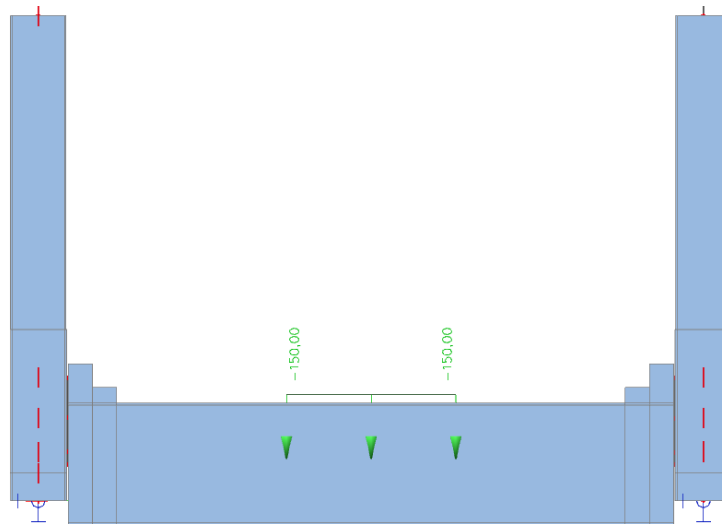
Napojení příčnicku bylo modelováno pomocí fiktivních tuhých ramen. Zároveň byla výška průřezu příčnicku rozdělena na 3 hodnoty tak, aby byla vyjádřena vyšší tuhost v místě koutové výztuhy (obr. 27).



Obrázek 25 Napojení svislice elementu a příčnicku – deskostěný model

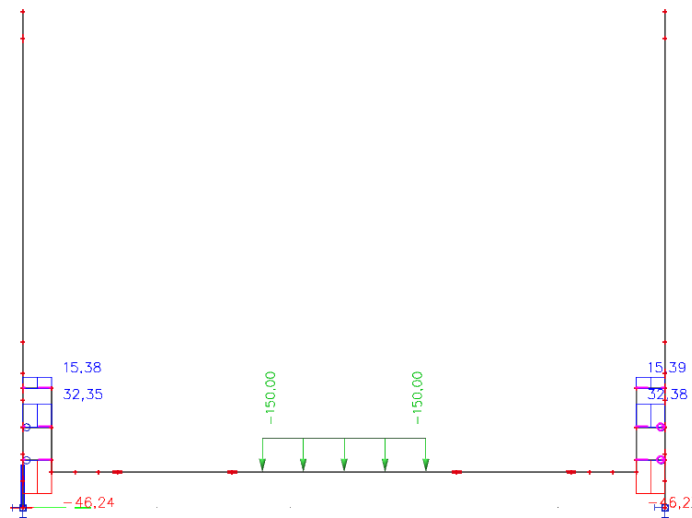


Obrázek 26 Napojení svislice elementu a příčnicku – prutový model

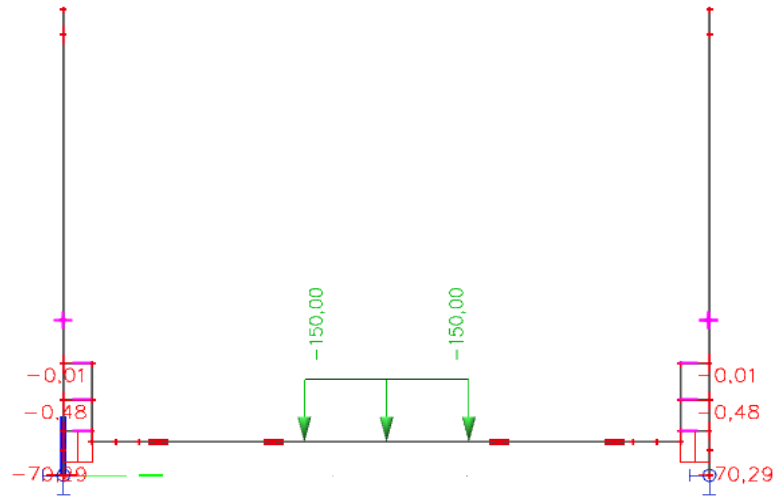


Obrázek 27 Napojení svislice elementu a příčniku – prutový model (rendrovaný)

Fiktivní tuhé pruty č. 1,2 (obr 26) jsou ke svislici připojeny pomocí kloubů, umožňující jejich natočení, tím se docílí přesnějšího přerozdělení vnitřních sil na všech třech fiktivních prutech. Na modelu bez kloubového připojení se všechny vnitřní síly přenášely přes prut č. 1 a přípoj tedy nerespektoval skutečné chování konstrukce. Na obr. 28 a 29 je vyjádřen rozdíl ve způsobu připojení na vykreslení normálových sil.

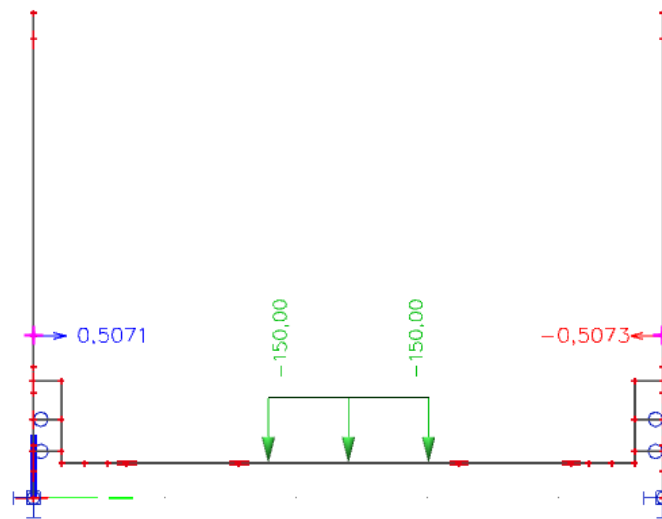


Obrázek 28 Napojení příčniku s kloubovými vazbami

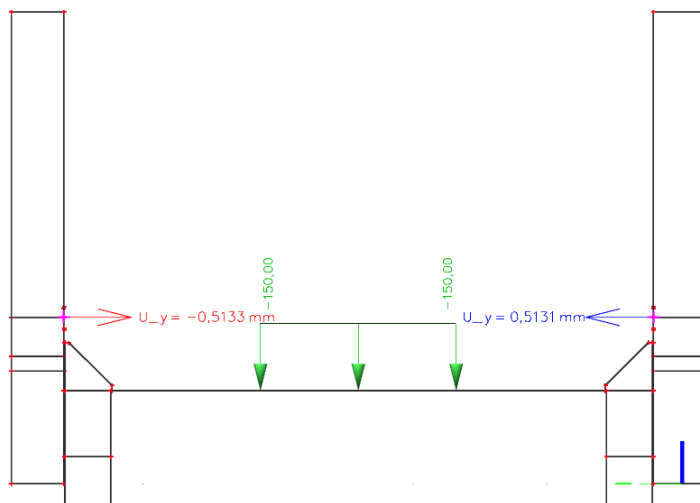


Obrázek 29 Napojení příčniku bez kloubových vazeb

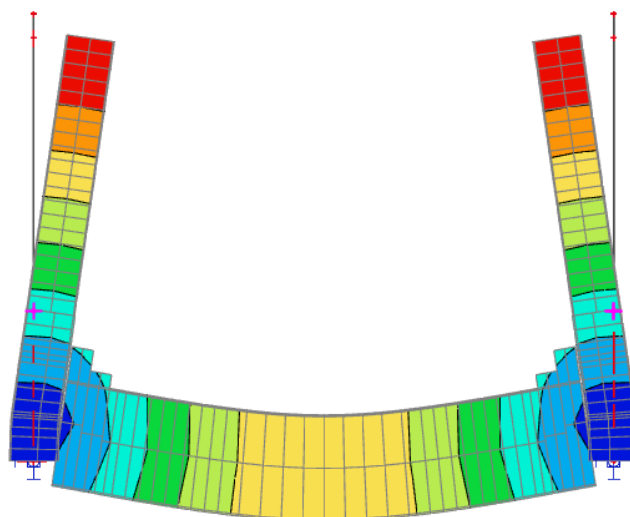
Na obr. 30 až 33 jsou porovnány deformace v závislosti na typu modelu, na obr. 30 a 31 jsou číselně zobrazeny hodnoty deformace svislice ve stejné výškové úrovni a na obr. 32 a 33 je zachycen téměř stejný tvar deformace u obou typů modelů.



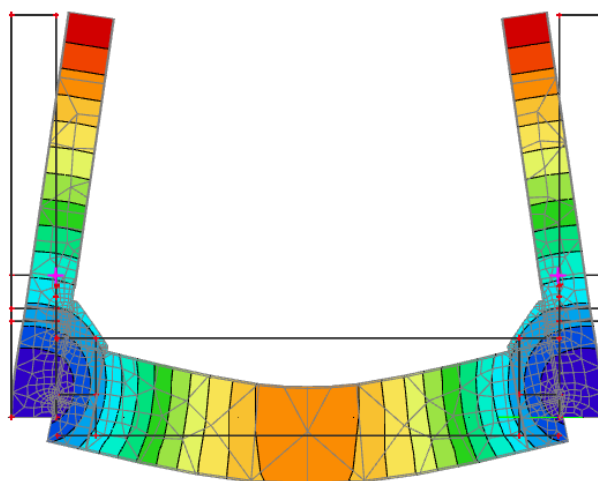
Obrázek 30 Napojení svislice el. a příčniku – přemístění uzlu (prutový model)



Obrázek 31 Napojení svislice el. a příčnicku – přemístění uzlu (deskostěnový model)



Obrázek 32 Napojení svislice elementu a příčnicku – deformace (prutový model)

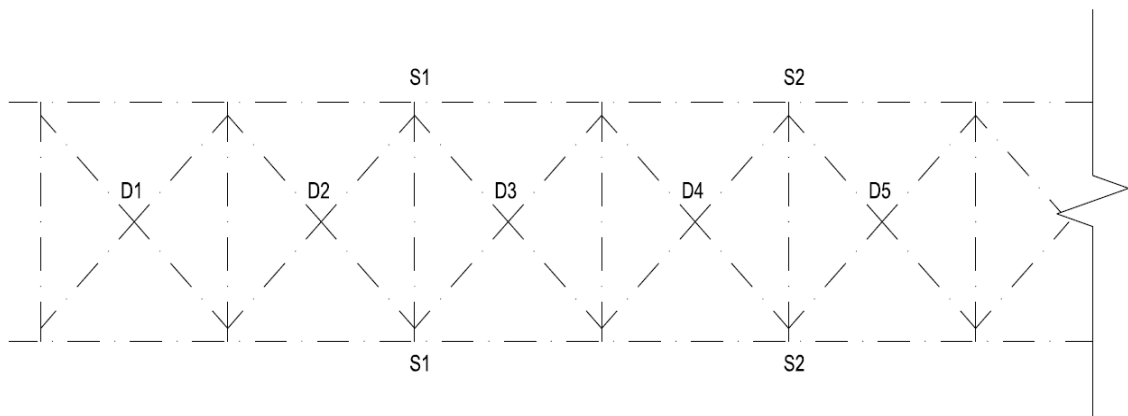


Obrázek 33 Napojení svislice elementu a příčnicku – deformace (deskostěnový model)

Výsledek z této kapitoly je prutový model přípoje, jehož chování a spolupůsobení s příhradovým elementem bylo dostatečně ověřeno.

6.3 Šroubové spoje

Základní charakteristikou provizorních mostů je jejich rozebíratelnost a variabilní délka rozpětí konstrukce, předpokladem je tedy snadná a rychlá manipulace. Proto jsou veškeré spoje mezi jednotlivými prvky šroubové či zámkové. Lze předpokládat, že vlivem historie zatěžování, cyklickým rozebíráním konstrukce a výrobními tolerancemi jsou otvory vůči šroubům většího průměru, a tím dochází při zatížení k pokluzu. Toto chování bylo snahou vnést do výpočetního modelu. Byl zvolen zjednodušený postup, při kterém byly v místě těchto spojů vloženy pružné klouby, kterým byla stanovena svislá tuhost vycházející z posouvající síly v indikovaném místě a stanovené deformace. \tímto způsobem je uvažováno pružně lineární chování. Postup je takto zjednodušen, aby se předešlo nelineárnímu výpočtu pro každý posuzovaný prvek. Posouvající síly V_z byly odečteny z konstrukce s tuhými vazbami při charakteristické kombinaci zatížení (kap.7.3), kdy hlavním proměnným zatížením bylo zatížení dopravou. Stanovená deformace byla uvažována 2 mm.



Obrázek 34 Označení míst šroubových spojů s předepsanou tuhostí

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
Vz [kN]	667	590	507	432	355	284	210	143
u [mm]	2	2	2	2	2	2	2	2
K [MN/m]	333,5	295	253,5	216	177,5	142	105	71,5
	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16
Vz [kN]	143	210	284	355	432	507	590	667
u [mm]	2	2	2	2	2	2	2	2
K [MN/m]	71,5	105	142	177,5	216	253,5	295	333,5

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
Vz [kN]	38	28	17	7	17	28	38
u [mm]	2	2	2	2	2	2	2
K [MN/m]	19	14	8,5	3,5	8,5	14	19

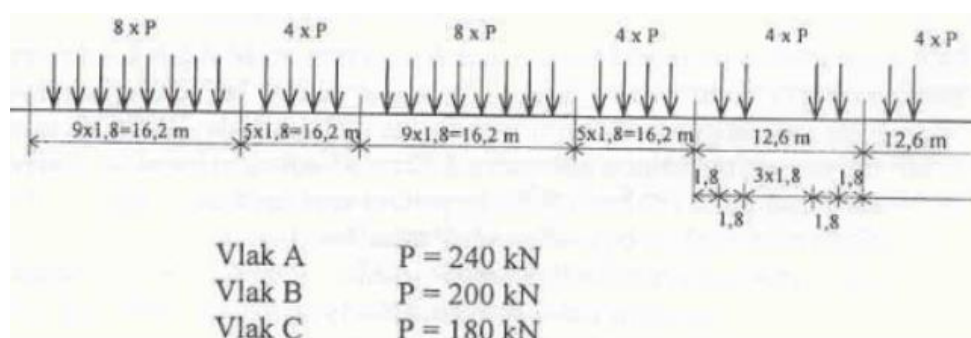
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Vz [kN]	75	75	75	75	75	75	75	75
u [mm]	2	2	2	2	2	2	2	2
K [MN/m]	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5
	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
Vz [kN]	75	75	75	75	75	75	75	75
u [mm]	2	2	2	2	2	2	2	2
K [MN/m]	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5

Tabulka 3 Tuhosti šroubových přípojí

(P1,2,3...přípoj příčnicku ke svislíci)

Pro ověření správného předpokladu s lineárním výpočtem byla porovnána maximální svislá deformace uprostřed rozpětí s tabulkovými hodnotami vycházejícími z manuálu pro ŽM16^[7] a s hodnotami svislé deformace pomocného nelineárního modelu, u kterého byly použity přípoje s učeným pokluzem ve spojích 2 mm (kap. 6.3.2).

Aby bylo možné porovnat svislé deformace, bylo nutné použít zatížení vycházející z manuálu pro ŽM16^[7], kde je počítáno se zatěžovacím vlakem C (obr. 35).

Obrázek 35 Schéma zatěžovacího vlaku C^[8]

6.3.1 Svislá deformace dle manuálu ŽM16

Druh mostu	Rozpětí v m	Zatěžovací vlak C					Zatěžovací vlak B				
		y_q	y_p	$y_{\Delta t}$	$y_{\Delta p}$	x	y_q	y_p	$y_{\Delta t}$	$y_{\Delta p}$	x
1p 1s	18	0,14	0,54	0,42	0,00	3333	0,14	0,59	0,42	0,00	3051
	21	0,21	0,83	0,48	0,00	2530	0,21	0,92	0,48	0,00	2283
	24	0,32	1,23	0,79	0,00	1951	0,32	1,36	0,83	0,00	1765
	27	0,47	1,79	0,96	0,00	1508	0,47	1,99	0,96	0,00	1357
	30	0,66	2,53	1,23	0,00	1186	0,66	2,81	1,23	0,00	1068
	33	0,88	3,31	1,39	0,15	954	0,88	3,68	1,41	0,15	862
	36	1,18	4,39	1,71	0,24	778	1,18	4,87	1,71	0,24	705
	39	1,45	5,17	1,90	0,29	714	1,39	5,43	1,92	0,60	647
	42	1,80	6,20	2,26	0,76	603	1,80	6,89	2,26	0,90	539
	45	2,32	7,85	2,50	1,06	505	2,32	8,72	2,50	1,06	460
48	2,87	9,77	2,86	1,24	436	-	-	-	-	-	
2p 1s	39	0,69	2,04	1,16	0,00	1912	0,69	2,27	1,19	0,00	1718
	42	0,87	2,60	1,38	0,00	1615	0,87	2,89	1,38	0,00	1453
	45	1,07	3,16	1,53	0,11	1376	1,07	3,51	1,53	0,15	1230
	48	1,32	3,89	1,73	0,19	1176	1,32	4,33	1,73	0,22	1055
	51	1,59	4,71	1,90	0,26	1026	1,44	4,71	1,90	0,26	1026
	54	1,90	5,61	2,13	0,30	914	1,78	5,67	2,16	0,71	846
	57	2,13	6,10	2,35	0,81	825	2,15	6,77	2,36	0,81	752
	60	2,53	7,19	2,61	0,93	739	2,46	7,64	2,62	1,01	694
	63	3,02	8,45	2,82	1,13	658	2,92	9,01	2,82	1,13	621
	66	3,44	9,47	3,09	1,26	615	-	-	-	-	-

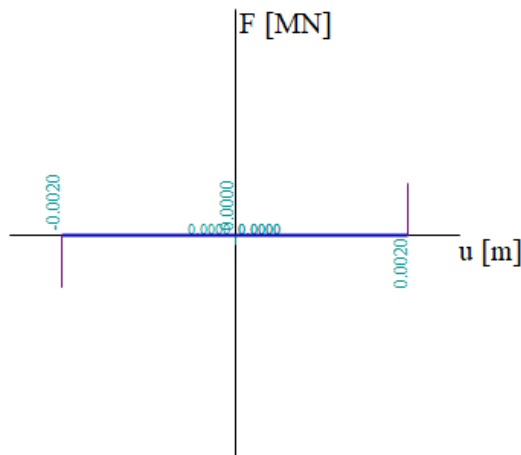
Legenda: y_q průhyb od stálého zatížení v cm
 y_p průhyb od pohyblivého zatížení v cm
 $y_{\Delta t}$... trvalé zvětšení průhybu od popuštění ve spojích a stycích v cm
 $y_{\Delta p}$... pružné zvětšení průhybu způsobené pružnou deformací zámků pásů v cm

Obrázek 36 Hodnoty posunů uprostřed rozpětí konstrukce ŽM16 ^[7]

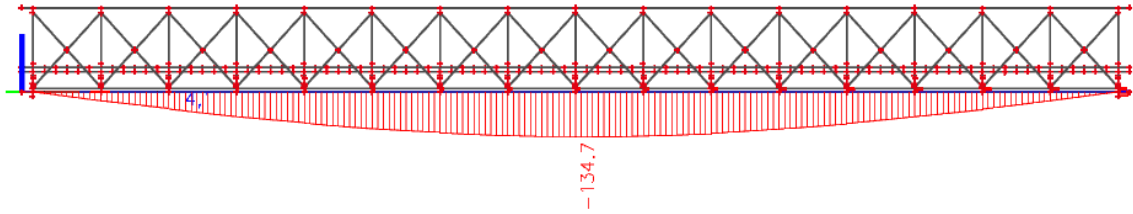
$$y_{\text{celk. tab}} = y_p + y_{\Delta t} + y_{\Delta p} = 97,7 + 2,86 + 1,24 = \mathbf{138,7 \text{ mm}}$$

6.3.2 Svislá deformace na nelineárním modelu

U nelineárního modelu byla určena následující funkce pro tuhost ve spojích.

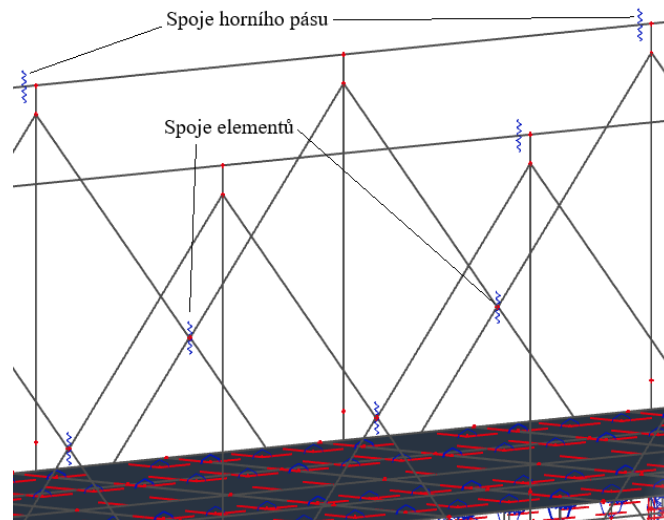


Obrázek 37 Závislost síly na pokluzu v přípoji

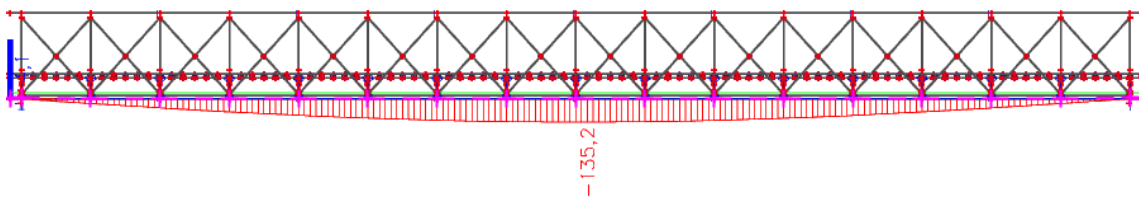


Obrázek 38 Svislá deformace - zatěžovací vlak C – nelineární výpočet

6.3.3 Svislá deformace na konstrukci s lineárním výpočtem



Obrázek 39 Místa pružných přípojení



Obrázek 40 Svislá deformace – zatěžovací vlak C - lineární výpočet

$$y_{\text{celk, tab}} = 138,7 \text{ mm}$$

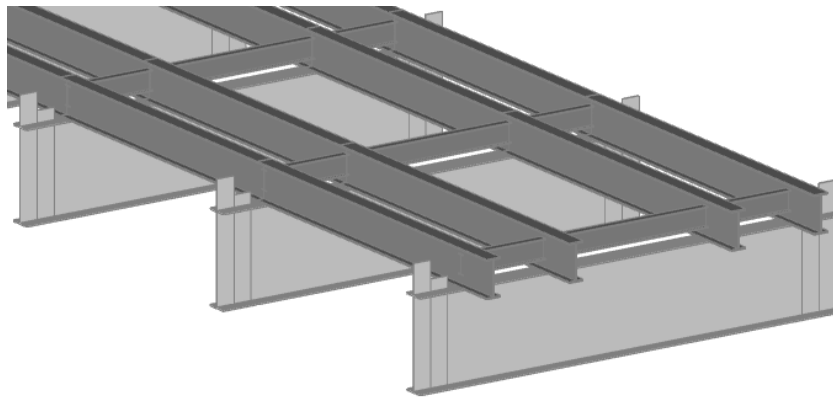
$$y_{\text{celk, nelin.výpočet}} = 134,7 \text{ mm (97,1\% } y_{\text{celk, tab}})$$

$$y_{\text{celk, lin.výpočet}} = 135,2 \text{ mm (97,5\% } y_{\text{celk, tab}})$$

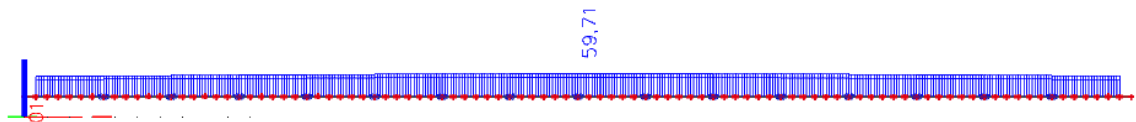
Výsledné průhyby lze považovat za téměř shodné, tudíž další posudky budou provedeny na zjednodušené konstrukci pomocí lineárního výpočtu s předepsanými tuhostmi dle tab. 3.

6.4 Připojení podélníků

Podélníky o délce rozpětí příčníků 3 m, jsou k sobě spojeny skrze ztužidla podélníků pomocí dvojice šroubů. Jsou modelovány jako prosté nosníky kloubově uložené. Aby se předešlo spolupůsobení podélníku v globálním působení s hlavními nosníky, a aby podélníky sloužily pouze pro přenos zatížení z desky na příčníky, tak v podélném směru jsou podpory pružné. Jejich tuhost vychází z normálové síly a teoretického prokluzu 0,5 mm. K dosažení správné polohy podélníků vůči příčnům byly podélníky připojeny pomocí fiktivních tuhých prutů.

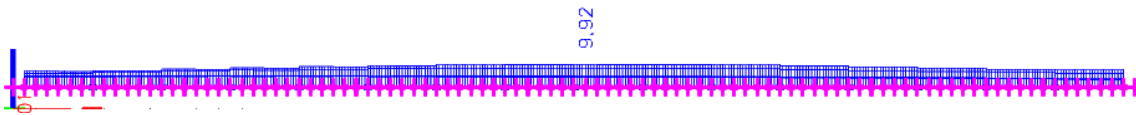


Obrázek 41 Uložení podélníků na příčníky



Obrázek 42 Normálová síla na podélníku bez pružné podpory

$K = N/u = 59,71[\text{kN}] / 0,5 [\text{mm}] = 120 \text{ MN/m}$ (pozn. normálová síla vychází z charakteristické kombinace zatížení).

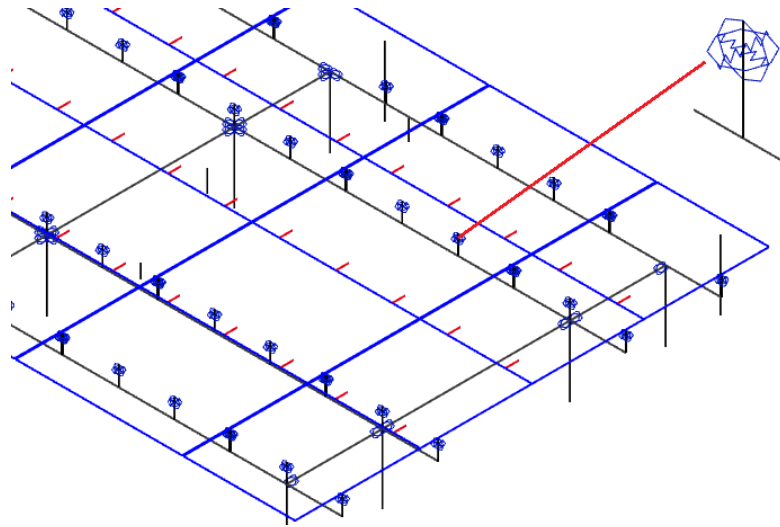


Obrázek 43 Normálová síla na podélníku s pružnou podporou v podélném směru

6.5 Uložení ŽB panelů

Ze statického hlediska fungují železobetonové panely pouze jako roznášecí vrstva pro dopravu. Bylo nutné zajistit nespolutůsobení panelů se zbytkem konstrukce, to bylo provedeno uvolněním vazeb v obou vodorovných směrech.

Panely jsou podepřeny pomocí fiktivních prutů k podélníkům. Na konci každého fiktivního prutu je umístěna podélně i příčně pružná vazba, jejichž tuhost vychází pouze z vlastní tíhy panelu a součinitele tření.



Obrázek 44 Způsob uložení žb panelů

7. Rozbor zatížení

Zatížení je rozděleno do 3 skupin – stálé zatížení, proměnné zatížení a zatížení silniční dopravou. Do stálého zatížení patří vlastní tíha nosných i nenosných částí konstrukce, které působí po celou dobu životnosti konstrukce. Proměnné zatížení má krátkodobý charakter a patří zde zatížení chodci, teplotou, větrem a dopravou.

Pro posouzení konstrukčních detailů v mezním stavu únavy je třeba stanovit zatěžovací Model 3 na únavu dle ČSN 1991-2^[11] a únavové vozidlo dle normy ČSN 73 6222^[15].

Pro stanovení tuhostí přípojů v kapitole 6.3, kde se využívá charakteristická kombinace stálého a proměnného zatížení, je nutné určit zatížení dopravou dle ČSN 73 6222^[15], zatížení větrem dle ČSN 1991-1-4^[14] a teplotou dle ČSN 1991-1-5^[13]

7.1 Stálé zatížení

7.1.1 Vlastní tíha konstrukce

Vlastní tíha konstrukce je automaticky generována programem SCIA Engineer. Objemová tíha prvků konstrukce odpovídá ČSN EN 1991-1-1^[10].

Objemová tíha oceli: $\gamma = 78,5 \text{ kN/m}^3 = 7\,850 \text{ kg/m}^3$

Objemová tíha železobetonu: $\gamma = 25,0 \text{ kN/m}^3 = 2\,500 \text{ kg/m}^3$

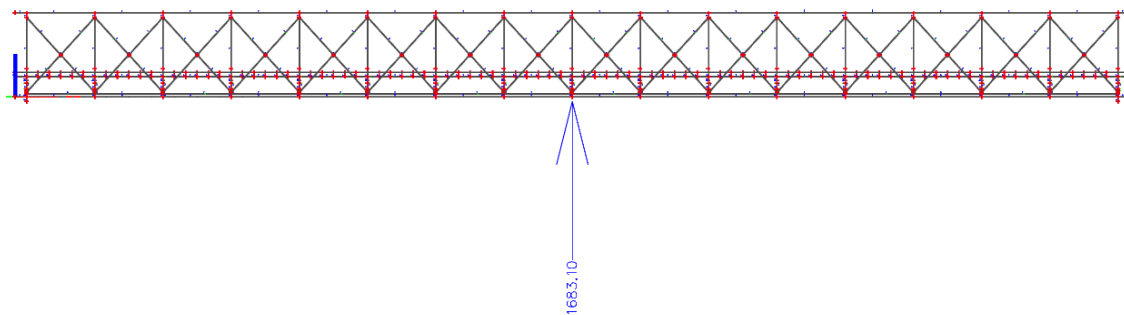
Pro ověření výpočtového modelu jsou zde stanoveny hmotnosti jednotlivých dílů (podle manuálu ŽM16)^[7]:

Příčník	655 kg = 6,55 kN
Pás.....	1100 kg = 11 kN
Koncový pás.....	1174 kg = 11,74 kN
Příhradový element.....	540 kg = 5,4 kN
Koncový příhradový element.....	650 kg = 6,5 kN
Podélník	223 kg = 2,23 kN
Koncový podélník	260 kg = 2,6 kN
Podélníkové ztužidlo.....	60 kg = 0,6 kN
Větrová příčka.....	82 kg = 0,82 kN

Aby hmotnosti prvků v modelu programu SCIA Engineer odpovídaly reálné hmotnosti (otvory a výztuhy prvků) bude u každého prvku přepočítaná objemová tíha, čímž lze docílit stejné hmotnosti modelované a skutečné konstrukce.

Prvek	Plocha [m ²]	Délka [m]	Objem [m ³]	Hmotnost [kg]	Objemová tíha [kg/m ³]	Kontrola		
						Počet [ks]	Jednotková hmotnost [kg]	Hmotnost [kg]
Koncový pás	1,85E-02	6,5	1,20E-01	1174	9784,7	8	1174	9392
Pás	1,85E-02	6	1,11E-01	1110	10022,2	24	1110	26640
Příčník			6,47E-02	655	10116,2	17	655	11135
Střední část	1,45E-02	3,67	5,32E-02	-	-	-	-	-
1. zvětšení	1,56E-02	0,175	2,73E-03	-	-	-	-	-
2. zvětšení	1,73E-02	0,175	3,03E-03	-	-	-	-	-
Podélník	8,58E-03	3	2,57E-02	223	8663,6	56	223	12488
Koncový podélník	8,58E-03	3,5	3,00E-02	260	8658,0	8	260	2080
Podélníkové ztužidlo	2,81E-03	1,679	4,72E-03	60	12703,7	17	60	1020
Krajní podélníkové ztužidlo	2,81E-03	0,856	2,41E-03	46	19103,6	34	46	1564
Ztužidlo (větrová příčka)	3,07E-03	3,841	1,18E-02	82	6949,4	32	82	2624
Koncový element			7,94E-02	650	8188,1	4	650	2600
Stojina	1,67E-02	3,3	5,50E-02	-	-	-	-	-
"rameno"	5,47E-03	2,23	1,22E-02	-	-	-	-	-
Element			7,14E-02	540	7562,2	30	540	16200
zesílená stojina	7,74E-03	1,035	8,01E-03	-	-	-	-	-
Stojina	6,44E-03	2,265	1,46E-02	-	-	-	-	-
"rameno"	5,47E-03	2,23	1,22E-02	-	-	-	-	-
ŽB deska	0,6784	49	3,32E+01	8,31E+04	2500	1	83104	83104
Celkem [kg]								168847
Celkem [kN]								1688,47
Reakce - výpočetní model [kN]								1683
Odchylka [%]								0,33

Tabulka 4 Přepočet objemové hmotnosti dílců



Obrázek 45 Výsledná reakce (SCIA Engineer)

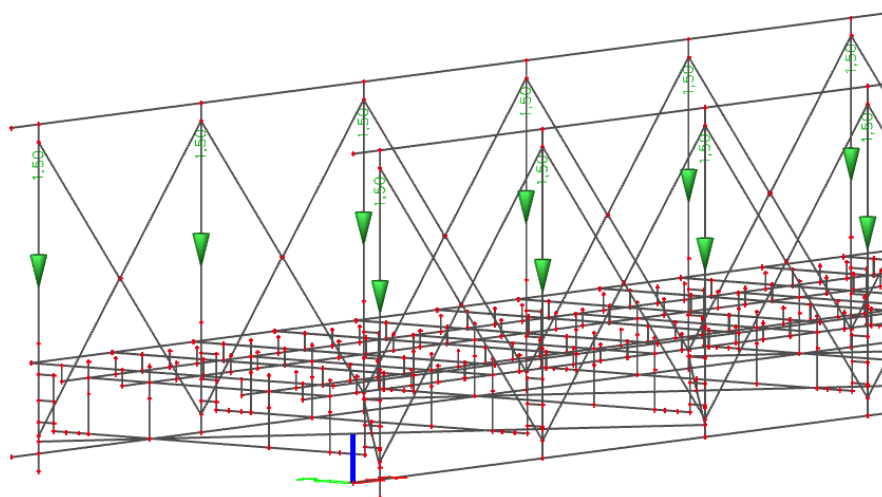
7.1.2 Ostatní stálé zatížení

Mostovka (ŽB panel $t = 160 \text{ mm}$) $25 \cdot 0,16 = 4 \text{ kN/m}^2$

(ŽB deska zadána přímo v modelu.)

Svodidlo (odhad)..... $50 \text{ kg/m} = 0,5 \text{ kN/m} \cdot 3 \text{ m} = 1,5 \text{ kN}$

(Zadána jako bodová síla na svislice elementů, na které je svodidlo připojené.)



Obrázek 46 Zatížení – svodidlo

7.2 Proměnná zatížení

7.2.1 Zatížení rovnoměrnou teplotou

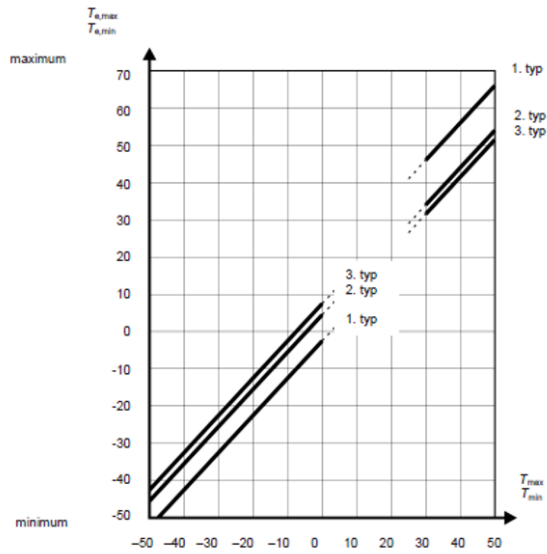
Zatížení vlivem teploty je stanoveno dle ČSN EN 1991-1-5^[13]. Jelikož se jedná o provizorní most, tak nelze přesně určit místo použití konstrukce. Z hlediska teplotní mapy je zvolena oblast Českých Budějovic, jakožto místo s největším teplotním rozdílem. Konstrukce je posuzována jako „typ 1“ – příhradová konstrukce.

Poloha – České Budějovice

Mezní hodnoty teploty vzduchu (dle mapy minimálních a maximálních teplot vzduchu ve stínu ČSN 1991-5-1^[13])

$$T_{\max} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\min} = -36 \text{ }^{\circ}$$



Obrázek 47 Graf k určení teploty konstrukce [13]

Teploty nosné konstrukce

$$T_{e,max} = 56 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{e,min} = -40 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

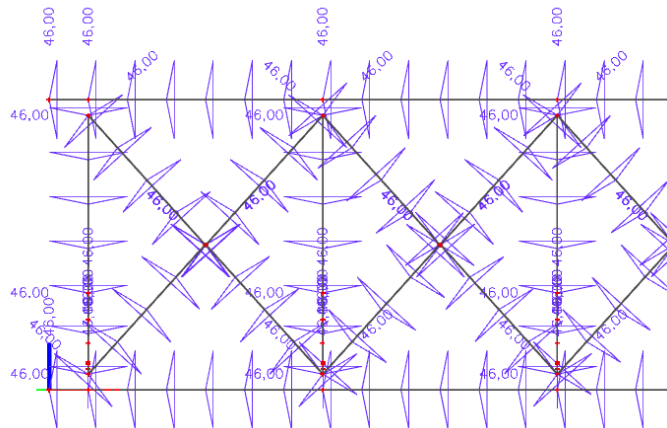
Výchozí teplota

$$T_0 = 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

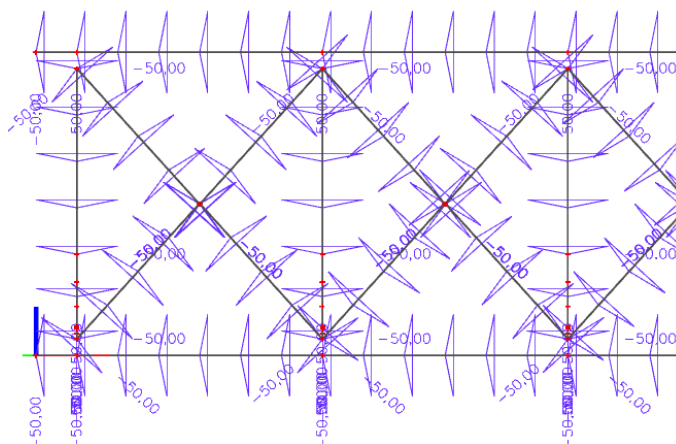
Charakteristické hodnoty teploty pro výpočet prodloužení/zkrácení mostu

$$\Delta T_{N,exp} = 56 - 10 = 46 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{N,con} = 10 - (-40) = -50 \text{ }^{\circ}\text{C}$$



Obrázek 48 Zatížení – rovnoměrné oteplení



Obrázek 49 Zatížení – rovnoměrný ochlazení

7.2.2 Zatížení nerovnoměrnou složkou teploty

Zatížení konstrukce vzniká vlivem odlišného zahřátí/ochlazení jednotlivých dílců (př. horní pás konstrukce vykazuje jinou teplotu než dolní pás příhrady). K zachycení tohoto zatížení je použita norma ČSN EN 1991-1-5^[13] (kapitola 6.1.4 – Rozdílové složky teploty). Je zde využit postup 1 (tj. 6.1.4.1. Svislá lineární složka). „Účinky svislých rozdílů teplot se mají uvažovat pomocí ekvivalentních lineárních rozdílových složek teploty $\Delta T_{M,Heat}$ a $\Delta T_{M,cool}$. Tyto hodnoty se mají použít mezi horním a dolním povrchem nosné konstrukce mostu.“^[13]

Typ nosné konstrukce	Horní povrch teplejší než dolní	Dolní povrch teplejší než horní
	$\Delta T_{M,heat}$ (°C)	$\Delta T_{M,cool}$ (°C)
1. typ: ocelová nosná konstrukce	18	13
2. typ: ocelobetonová nosná konstrukce	15	18
3. typ: betonová nosná konstrukce		
– betonový komorový nosník	10	5
– betonový nosník	15	8
– betonová deska	15	8

POZNÁMKA 1 Hodnoty uvedené v tabulce jsou horními mezními hodnotami lineárně proměnné složky teploty pro reprezentativní vzorek geometrie mostů.

POZNÁMKA 2 Hodnoty uvedené v tabulce pro mosty pozemních komunikací, lávky a pro železniční mosty vycházejí z 50 mm tloušťky mostního svršku. Pro jiné tloušťky mostního svršku se mají tyto hodnoty vynásobit součinitelem k_{sur} . Doporučené hodnoty součinitele k_{sur} jsou uvedené v tabulce 6.2.

Mosty pozemních komunikací, lávky pro chodce a železniční mosty						
Tloušťka mostního svršku	1. typ		2. typ		3. typ	
	horní povrch teplejší než dolní	dolní povrch teplejší než horní	horní povrch teplejší než dolní	dolní povrch teplejší než horní	horní povrch teplejší než dolní	dolní povrch teplejší než horní
[mm]	k_{sur}	k_{sur}	k_{sur}	k_{sur}	k_{sur}	k_{sur}
bez svršku	0,7	0,9	0,9	1,0	0,8	1,1
vodotěsná izolace ¹⁾	1,6	0,6	1,1	0,9	1,5	1,0
50	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
100	0,7	1,2	1,0	1,0	0,7	1,0
150	0,7	1,2	1,0	1,0	0,5	1,0
štěrkové lože (750 mm)	0,6	1,4	0,8	1,2	0,6	1,0

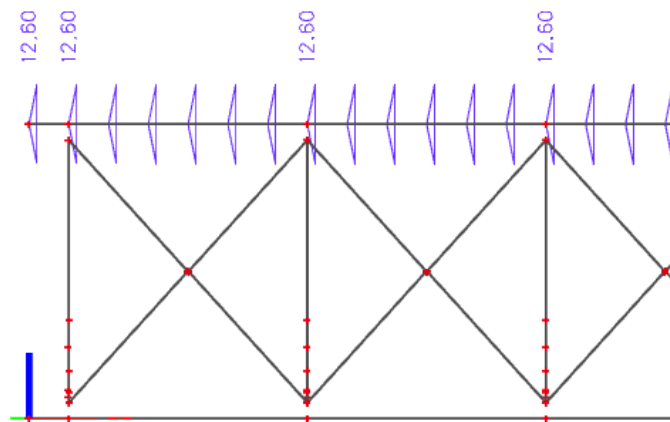
¹⁾ Tyto hodnoty představují horní mezní hodnoty pro tmavé barvy.

Tabulka 5 Součinitel k_{sur} ^[13]

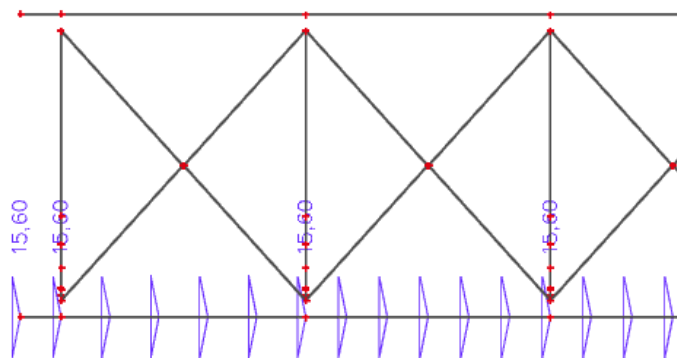
$$\Delta T_{M,Heat} = 0,7 \cdot 18 = 12,6 \text{ } ^\circ\text{C (horní povrch teplejší jak dolní)}$$

$$\Delta T_{M,cool} = 1,2 \cdot 13 = 15,6 \text{ } ^\circ\text{C (dolní povrch teplejší jak horní)}$$

Nejnepříznivější vliv bude vyvozen při rozdílné teplotě horního a dolního pásu, tento stav bude zahrnut do výpočetního modelu.



Obrázek 50 Zatížení - horní pás teplejší než dolní



Obrázek 51 Zatížení - dolní pás teplejší než horní

7.2.3 Zatížení větrem

Zatížení větrem je uvažováno dle normy ČSN EN 1991-1-4^[14] na příhradové nosníky, příčníky a mostovku konstrukce (působení větru na vozidlo na mostě).

Základním předpokladem pro výpočet zatížení je poloha mostu, jelikož se jedná o provizorní konstrukci bude uvažována větrná oblast III (dle ČSN EN 1991-1-4: příloha Mapa větrných oblastí na území ČR^[14]), která bezpečně postihuje většinu území (mimo horské oblasti, kde není předpokládáno využití této konstrukce).

- výchozí základní rychlost větru $v_{b,0} = 27,5 \text{ m/s}$ ^[14]

Základní rychlost větru: $V_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b,0}$

kde v_b = základní rychlost větru v m/s

$v_{b,0}$ = výchozí základní rychlost větru v m/s

C_{dir} = součinitel směru větru, doporučená hodnota 1,0^[14]

C_{season} = součinitel ročního období, doporučená hodnota 1,0^[14]

$$V_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b,0} = 1 \cdot 1 \cdot 27,5 = 27,5 \text{ m/s}$$

Kategorie terénu dle tab. 4.1.^[14] – kategorie terénů a jejich parametry:

Oblast II s nízkou vegetací jako tráva s izolovanými překážkami (stromy, budovy), jejichž vzdálenost je větší než 20násobek výšky překážky.

- $z_0 = 0,05 \text{ m}$, $z_{min} = 2 \text{ m}$

Součinitel terénu: $k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07}$

kde k_r = součinitel terénu závislý na drsnosti

z_0 = parametr drsnosti terénu

$z_{0,II}$ = parametr drsnosti terénu pro II. kategorii terénu; $z_{0,II} = 0,05$

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,05}{0,05}\right)^{0,07} = 0,19$$

Součinitel drsnosti terénu: $c_r = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$

kde $c_r(z)$ = součinitel drsnosti terénu

k_r = součinitel terénu závislý na drsnosti

z = výška nad terénem; uvažována střední hodnota $z = 10 \text{ m}$

z_0 = parametr drsnosti terénu

$$c_r = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,19 \cdot \ln\left(\frac{10}{0,05}\right) = 1,007$$

Střední rychlost větru: $v_m = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 1,007 \cdot 1,0 \cdot 27,5 = 27,7 \text{ m/s}$

Intenzita turbulence $l_{v(z)} = \frac{k_1}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{10}{0,05}\right)} = 0,89$

Základní dynamický tlak: $q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 27,5^2 = 472,66 \text{ Pa}$

kde: ρ = měrná hmotnost vzduchu, doporučená hodnota $1,25 \text{ kg/m}^3$

Maximální dynamický tlak: $q_p(z) = [1 + 7 \cdot l_v(z)] / 2 \cdot \rho \cdot v_m^2$
 $q_p(z) = [1 + 7 \cdot 0,89] / 2 \cdot 1,25 \cdot 27,7^2 = 1113 \text{ Pa}$

Součinitel expozice: $c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b} = \frac{1113}{472,66} = 2,35$

Součinitel síly: $c_{f,x} = c_{f_x,0}$

kde: $c_{f,x}$ = součinitel síly

$c_{f_x,0}$ = součinitel síly bez vlivu proudění kolem volných konců

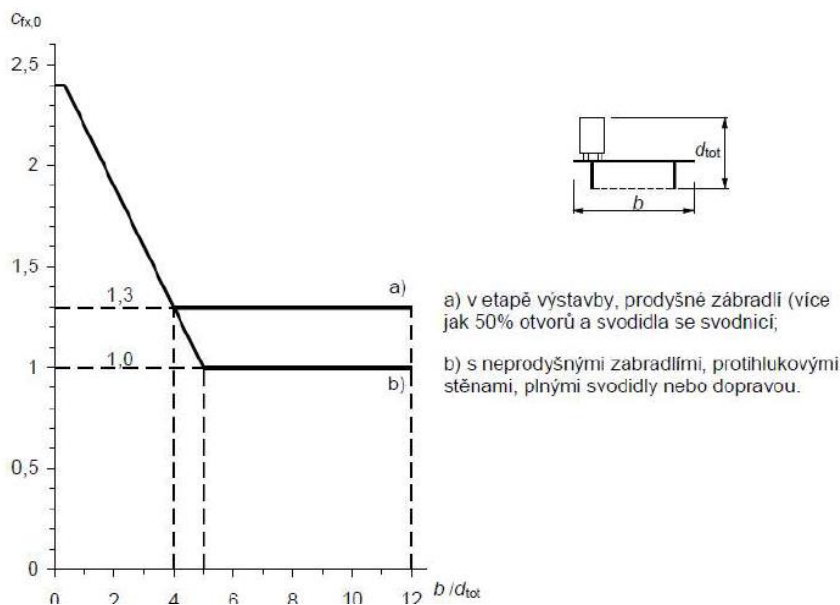
Parametry pro určení součinitele síly

$$b = \text{šířka konstrukce} = 7,4 \text{ m}$$

$$d_{\text{tot}} = \text{stavební výška} + \text{výška normového vozidla}$$

$$d_{\text{tot}} = 1,415 + 2 = 3,415 \text{ m}$$

$$b/d_{\text{tot}} = 3,985$$



$$c_{f,x} = c_{f_x,0} = 1,3$$

Síla větru: $F_w = 0,5 \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot c_e(z) \cdot c_{f,x} \cdot A_{\text{ref},x}$

kde: $A_{\text{ref},x}$ = referenční plocha (ve výpočtu uvažováno plošné zatížení, tzn.

$$A_{\text{ref},x} = 1,0)$$

$$F_w = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 27,5^2 \cdot 2,35 \cdot 1,3 \cdot 1 = 1,44 \text{ kN/m}^2$$

Liniové zatížení jednotlivých prvků:

Příčný vítr

$$\text{Pás} - h = 0,4 \text{ m} \quad F_w = 1,44 \cdot 0,4 = 0,58 \text{ kN/m}$$

$$\text{Svislice} - h = 0,17 \text{ m} \quad F_w = 1,44 \cdot 0,17 = 0,24 \text{ kN/m}$$

$$\text{Diagonála} - h = 0,16 \text{ m} \quad F_w = 1,44 \cdot 0,16 = 0,23 \text{ kN/m}$$

$$\text{Podélníky} - h = 0,36 \text{ m} \quad F_w = 1,44 \cdot 0,36 = 0,52 \text{ kN/m}$$

Podélný vítr (dle ČSN EN 1991-1-4 8.3.4^[14] se uvažuje 50% síla větru v příčném směru)

$$\text{Příčník} - h = 0,88 \text{ m} \quad F_w = 0,5 \cdot 1,44 \cdot 0,88 = 0,635 \text{ kN/m}$$

$$\text{Svislice, diagonála} - h = 0,4 \text{ m} \quad F_w = 0,5 \cdot 1,44 \cdot 0,4 = 0,29 \text{ kN/m}$$

$$\text{Podélníkové ztužidla} - h = 0,18 \text{ m} \quad F_w = 0,5 \cdot 1,44 \cdot 0,18 = 0,13 \text{ kN/m}$$

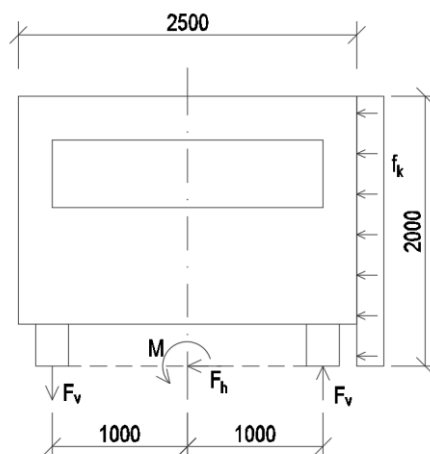
Do výpočtu bude zahrnut i stav, kdy zatížení větrem působí i na stojící vozidlo, výška vozidla bude uvažována dle ČSN EN 1991-1-4^[14] $h = 2 \text{ m}$.

$$\text{Liniové zatížení} \quad f_k = F_w \cdot 1,0 = 1,44 \cdot 1,0 = 1,44 \text{ kN/m}$$

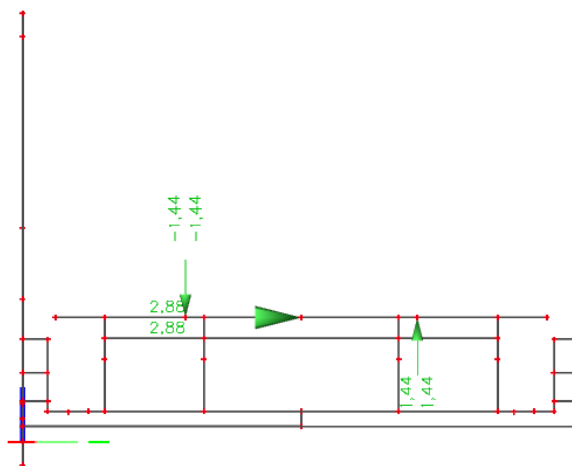
$$\text{Momentový účinek} \quad M = f_k \cdot h^2 / 2 = 1,44 \cdot 4 / 2 = 2,88 \text{ kNm}$$

$$\text{Ekvivalentní dvojice sil} \quad F_v = M / (2 \cdot 1,0) = 2,88 / 2 = 1,44 \text{ kN/m}$$

$$\text{Vodorovné zatížení mostovky} \quad F_h = F_w \cdot h = 1,44 \cdot 2 = 2,88 \text{ kN/m}$$



Obrázek 52 Zatížení - silové účinky na stojící vozidlo



Obrázek 53 Zatížení - stojící vozidlo

7.2.4 Zatížení silniční dopravou

Výpočet zatížení dopravou je proveden dle ČSN 73 6222^[15] – zatížitelnost mostů pozemních komunikací. Od zadavatele je definována požadovaná zatížitelnost konstrukce, na kterou bude konstrukce posouzena včetně posudku na únavu. Podle normy je třeba stanovit 3 kategorie zatížitelnosti mostu:

- Normální zatížitelnost (V_n)
- Výhradní zatížitelnost (V_r)
- Výjimečná zatížitelnost (V_c)

Hodnoty zatížitelnosti budou uvažovány podle obrázku 54. Pro účel této diplomové práce v rámci posouzení konstrukce na únavu je dostačující vycházet z normální zatížitelnosti.

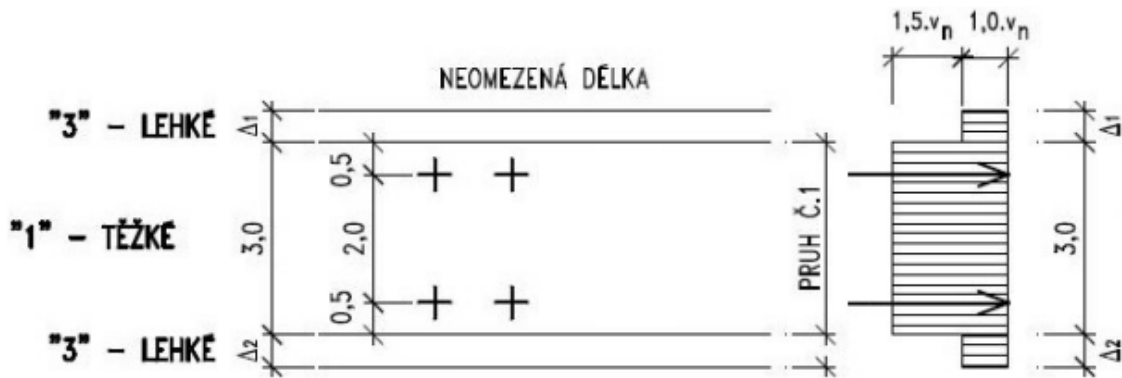
Skupina pozemních komunikací podle ČSN EN 1991-2	Druh zatížitelnosti		
	Normální (V_n)	Výhradní (V_r)	Výjimečná (V_c)
1	32 t	80 t	180 t
2	22 t	40 t	–

Obrázek 54 Minimální doporučené hodnoty zatížitelnosti pro mosty po obnově^[15]

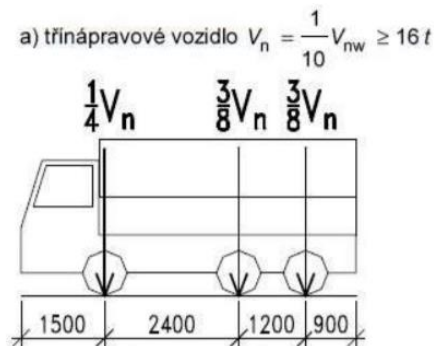
7.2.4.1 Normální zatížitelnost

Největší okamžitá celková hmotnost jednoho vozidla, které může přijíždět most bez dopravních omezení v libovolném počtu.

Podle normy ČSN 73 6222^[15] lze uvažovat pouze jeden zatěžovací pruh šířky 3 m, z důvodu šířky zatěžovacího prostoru (3,8 m), který je menší jak 5,4 m.

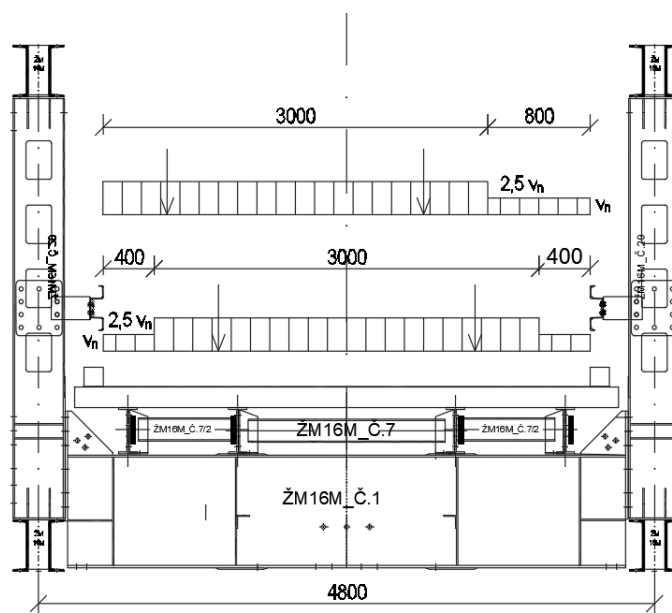
Obrázek 55 Schéma zatížení dopravou^[15]

Jelikož je normální zatížitelnost stanovena na 32 t, tak je pro přejezd zvoleno třínápravové vozidlo (obr. 56)

Obrázek 56 Zatěžovací vozidlo^[15]

S ohledem na šířku dopravního prostoru je možné zatěžovací pruh č. 1 umístit do 2 poloh:

- na kraj mostu
- do středu mostu



Obrázek 57 Zatížení - normální zatížitelnost

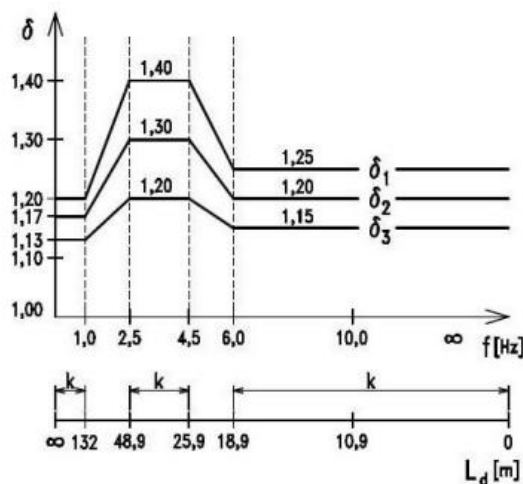
Výpočet zatížení na základě normální zatížitelnosti $V_n = 32 \text{ t}$ dle ČSN 73 6222^[15]

Tíha vozidla normální zatížitelnosti	$V_n = 32 \text{ t} = 320 \text{ kN}$
• Zatížení na přední nápravu	$V_{aj} = 1/4 \cdot V_n = 1/4 \cdot 320 = 80 \text{ kN}$
• Zatížení na dvě zadní nápravy	$V_a = 2 \cdot 3/8 \cdot V_n = 2 \cdot 3/8 \cdot 320 = 240 \text{ kN}$
Rovnoměrné spojité zatížení:	$v_n = 1/100 \cdot V_a = 1/100 \cdot 240 = 2,4 \text{ kN/m}^2$
	$2,5 \cdot v_n = 2,5 \cdot 2,4 = 6 \text{ kN/m}^2$

Dynamické účinky zatížení dopravou se při stanovení zatížitelnosti zohledňují dynamickým součinitelem δ , kterým se násobí statické účinky příslušného zatížení (ČSN 73 6222^[15]).

Dynamický součinitel pro normální zatížitelnost se zatížením v jednom zatěžovacím pruhu je $\delta = \delta_1$, který se dále stanoví v závislosti na náhradní délce L_d jednotlivých prvků konstrukce.

V následující tabulce je současně určen koeficient k_0 , který se využije pro výpočet únavového vozidla.

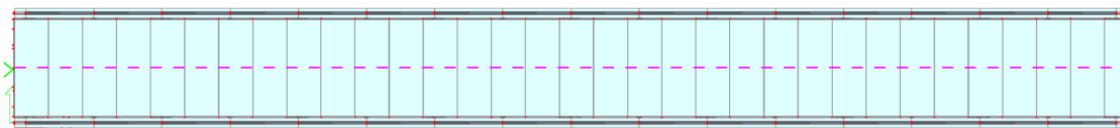


Obrázek 58 Graf pro určení dynamického součinitele^[15]

Náhradní délky a dynamické součinitele prvků			
Dynamický souč. pro prvky hl. nosníku		<i>L1 dle ČSN EN 1991-2 TAB 6.2 odst. 5.1</i>	
rozpětí:	$L_1 =$	48000 mm	
náhradní délka	$L_d =$	48000 mm	
dynamický součinitel	$\delta_1 =$	1,25	
součinitel	(P1) $k_0 =$	0,4	
(podle označení provozu)	(P2) $k_0 =$	0,3	
	(P3) $k_0 =$	0,2 <i>dle ČSN 73 6222 tab. 9.3</i>	
Dynamický souč. pro příčnický		<i>2x L1 dle ČSN EN 1991-2 TAB 6.2 odst. 3.3</i>	
rozpětí:	$L_1 =$	4390 mm	
náhradní délka	$L_d =$	8780 mm	
dynamický součinitel	$\delta_1 =$	1,25	
součinitel	(P1) $k_0 =$	0,5	
(podle označení provozu)	(P2) $k_0 =$	0,4	
	(P3) $k_0 =$	0,3 <i>dle ČSN 73 6222 tab. 9.3</i>	
Dynamický souč. pro koncové příčnický		<i>dle ČSN EN 1991-2 TAB 6.2 odst. 3.4</i>	
rozpětí:	$L_1 =$	3600 mm	
náhradní délka	$L_d =$	3600 mm	
dynamický součinitel	$\delta_1 =$	1,4	
součinitel	(P1) $k_0 =$	0,5	
(podle označení provozu)	(P2) $k_0 =$	0,4	
	(P3) $k_0 =$	0,3 <i>dle ČSN 73 6222 tab. 9.3</i>	
Dynamický souč. pro podélnický		<i>Vzdálenost příčnicků + 3m dle ČSN EN 1991-2 TAB 6.2 odst. 3.1</i>	
rozpětí:	$L_1 =$	3000 mm	
náhradní délka	$L_d =$	6000 mm	
dynamický součinitel	$\delta_1 =$	1,25	
součinitel	(P1) $k_0 =$	0,5	
(podle označení provozu)	(P2) $k_0 =$	0,4	
	(P3) $k_0 =$	0,3 <i>dle ČSN 73 6222 tab. 9.3</i>	

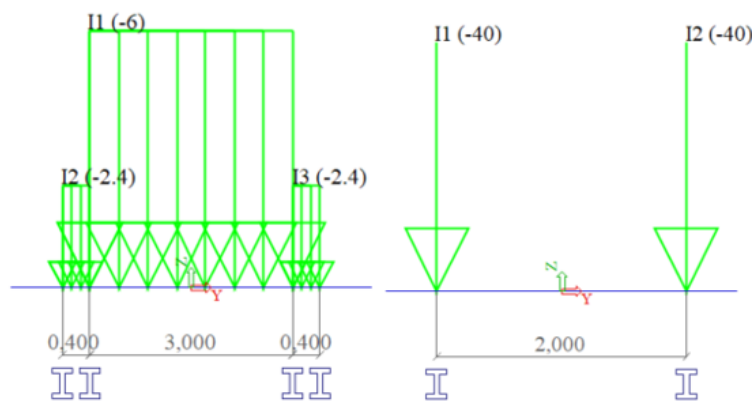
7.2.4.2 Způsob zadání zatížení do modelu

Zatížení dopravou bylo do modelu zadáno pomocí funkcionality pohyblivé zatížení. Nejprve byl zadán dopravní pruh (obr. 59)

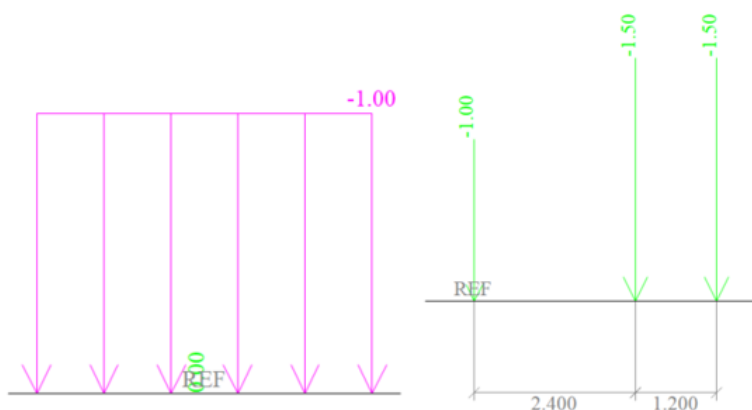


Obrázek 59 Dopravní pruh

Dále bylo zadáno jednotkové zatížení v příčném směru (obr. 60) a podélném směru (obr. 61). Tyto dvě složky byly následně zkombinovány.



Obrázek 60 Zatížení dopravou v příčném směru (UDL/TS)



Obrázek 61 Zatížení dopravou v podélném směru (UDL/TS)

Takto vytvořené zatížení dopravou bylo dle potřeby upravováno součiniteli k_0 .

7.2.5 Stanovení únavového vozidla

Vychází z normy ČSN 73 6222^[15] – zatížitelnost mostů PK

Únavové vozidlo reprezentuje schéma normální zatížitelnosti, jehož hmotnost V_{fat} se stanoví dle následujícího postupu:

$$\text{Pro: } V_n \geq V_{nor} \quad V_{fat} = k_0 \cdot V_n$$

k_0 se stanoví dle tabulky v závislosti na náhradní délce L_d a označení provozu na PK

Označení provozu – z důvodu provizorního mostu bude pracováno s prvními třemi třídami provozu P1,2,3

Kategorie dopravy	Označení provozu na PK	Průměrná denní intenzita těžkých vozidel (viz ²⁾ tabulka 9.1)	Součinitel ϵ
1	P ₁ (velmi těžký)	$\geq 3\,501$	20
2	P ₂ (těžký)	1 501 až 3 500	7
3	P ₃ (střední)	501 až 1 500	3
4	P ₄ (lehký)	do 500	1

Tabulka 6 Zatížení provozem na PK^[15]

Náhradní délka L_d (viz tabulka 8.1) (m)	Zatížení provozem na PK (viz tabulka 9.2)	Hodnoty součinitele k_0
≤ 2	P ₁	0,6
	P ₂	0,4
	P ₃	0,4
	P ₄	0,3
3	P ₁	0,5
	P ₂	0,4
	P ₃	0,3
	P ₄	0,3
4	P ₁	0,5
	P ₂	0,4
	P ₃	0,3
	P ₄	0,2
5	P ₁	0,5
	P ₂	0,4
	P ₃	0,3
	P ₄	0,2
10	P ₁	0,5
	P ₂	0,4
	P ₃	0,3
	P ₄	0,2
15	P ₁	0,4
	P ₂	0,3
	P ₃	0,3
	P ₄	0,2
20	P ₁	0,4
	P ₂	0,3
	P ₃	0,3
	P ₄	0,2
30	P ₁	0,4
	P ₂	0,3
	P ₃	0,3
	P ₄	0,2
50	P ₁	0,4
	P ₂	0,3
	P ₃	0,2
	P ₄	0,2
≥ 100	P ₁	0,4
	P ₂	0,3
	P ₃	0,2
	P ₄	0,2

POZNÁMKA $k = k_0$ pro $V_n \geq V_{nor}$

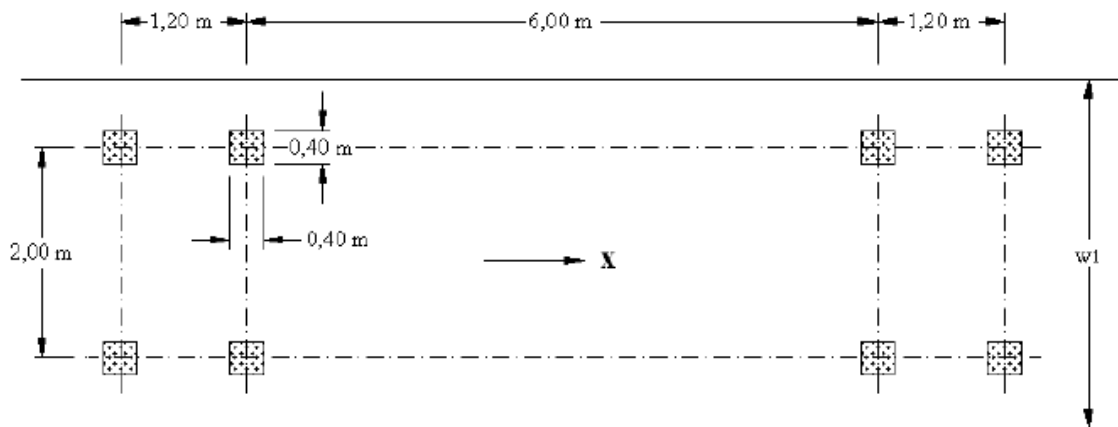
Tabulka 7 Stanovení K_0 ^[15]

Ve znění ČSN 73 6222^[15]: „Konstrukce se posoudí na účinky charakteristické únavové sestavy zatížení, která se od charakteristické sestavy zatížení pro stanovení normální zatížitelnosti V_n liší pouze redukcí všech hodnot zatížení (odpovídajících normální zatížitelnosti) součinitelem K_0 .“

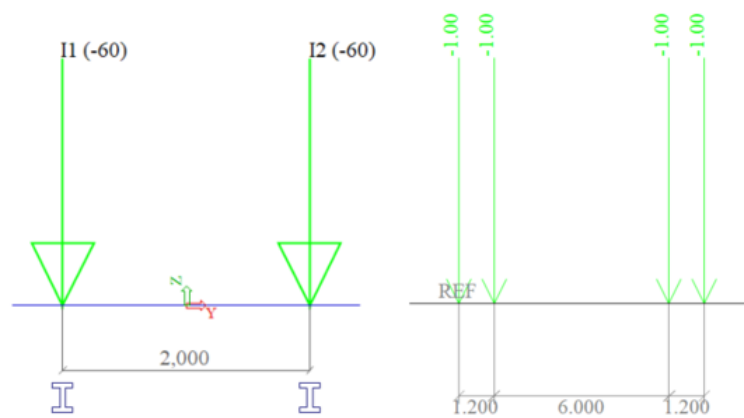
Zatížení vypočítané v kapitole 7.2.4.1 bude vynásobeno součinitel k_0 a δ_1 v závislosti na třídě provozu a posuzovaného prvku.

7.2.6 Model zatížení na únavu 3

Model podle ČSN 1991-2^[11] má 4 nápravy, kdy každá náprava působí svislou silou 120 kN. Uspořádání náprav je podle obr. 62.



Obrázek 62 Model zatížení na únavu 3



Obrázek 63 Způsob zadání do modelu

7.3 Kombinace zatížení

Charakteristická kombinace zatížení je pro účel této diplomové práce využita pro „ladění“ modelu a tuhosti styčnicků v kap. 6.3. (do posouzení na únavu vstupuje únavové zatížení samostatně).

Charakteristická kombinace dle ČSN 1990 ed.2^[12]

$$\sum G_{k,j} \pm "P" \pm Q_{k,1} \pm \sum \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$$G_{k, \text{stálé}} + G_{k, \text{ost. stálé}} + V_{N+n} + 0,6 \cdot (Q_{\text{tep}} + Q_{\text{vitr}})$$

V_{N+n} = zatížení dopravou kapitola 7.2.4.1

8. Mezní stav únavy

U mostních konstrukcí, kde je převládající proměnné zatížení dopravou, je nutné provést posudek konstrukce na mezní stav únavy. Časově proměnlivé zatížení dopravou způsobuje v konstrukci mikroskopické změny ve skruktuře materiálu a může zde dojít ke vzniku trhlin, které se mohou cyklickým zatěžováním rozšiřovat a vést ke kolapsu konstrukce.^[17]

Pro posuzování konstrukcí v mezním stavu únavy lze postupovat dvěma způsoby. V první případě se sleduje kumulace únavového poškození, v druhém se využívá ekvivalentní rozkmit napětí.^[17]

V tomto případě se konstrukce posoudí dle ČSN 1993-1-9 Navrhování ocelových konstrukcí – část 1-9: Únava^[17], která uvádí metody pro posouzení únavové odolnosti nosných prvků, přípojů a spojů, vystavených únavovému zatížení. Mezi ně patří metoda přípustných poškození a metoda bezpečné životnosti.

U metody přípustných poškození se má s přijatelnou spolehlivostí zajistit, že konstrukce bude po dobu její životnosti kontrolována podle předepsaných režimů kontrol.

Metoda bezpečné životnosti má zajistit spolehlivost konstrukce po dobu její životnosti bez předepsaných kontrol. Tato metoda se má použít v případech, kdy vznik lokální trhliny povede ke kolapsu celé konstrukce.^[17]

V tomto případě je zvolena „přísnější“ metoda bezpečné životnosti, při které se použijí vyšší součinitele únavové pevnosti γ_{Mf} .

Metoda hodnocení	Důsledky porušení	
	Mírné	Závažné
Přípustná poškození	1,00	1,15
Bezpečná životnost	1,15	1,35

Tabulka 8 Součinitel únavové pevnosti^[17]

Metody posouzení jsou založeny na principu porovnání účinků zatížení a únavové pevnosti.

$$\frac{\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{E,2}}{\frac{\Delta \sigma_c}{\gamma_{Mf}}} \leq 1,0$$

$$\frac{\gamma_{Ff} \Delta \tau_{E,2}}{\frac{\Delta \tau_c}{\gamma_{Mf}}} \leq 1,0$$

a zároveň musí vyhovět podmínce

$$\Delta\sigma \leq 1,5f_y$$

pro rozkmit normálových napětí

$$\Delta\tau \leq 1,5f_y/\sqrt{3}$$

pro rozkmit smykových napětí

kde	$\Delta\sigma_p$	rozkmit napětí (normálového)
	$\Delta\tau_p$	rozkmit napětí (smykového)
	$\Delta\sigma_{E,2}, \Delta\tau_{E,2}$	ekvivalentní konstantní rozkmit napětí pro 2 miliony cyklů
	$\Delta\sigma_C, \Delta\tau_C$	referenční únavová pevnost při $N_c = 2$ miliony cyklů
	γ_{Ff}	dílčí součinitel spolehlivosti pro ekvivalentní konstantní rozkmit napětí, doporučená hodnota $\gamma_{Ff} = 1,00$ ^[17]
	γ_{Mf}	dílčí součinitel spolehlivosti únavové pevnosti

Pro určení návrhového rozkmitu napětí se určí největší $\sigma_{p,max}$ a nejmenší $\sigma_{p,min}$ napětí v místech možného vzniku únavové trhliny, vyvolané od zatěžovacího modelu na únavu.

$$\Delta\sigma_p = |\sigma_{p,max} - \sigma_{p,min}|$$

Účinky poškození od spektra rozkmitů napětí lze vyjádřit ekvivalentním rozkmitem napětí, vztaženým na 2×10^6 cyklů

$$\Delta\sigma_{E2} = \lambda\Phi_2\Delta\sigma_p$$

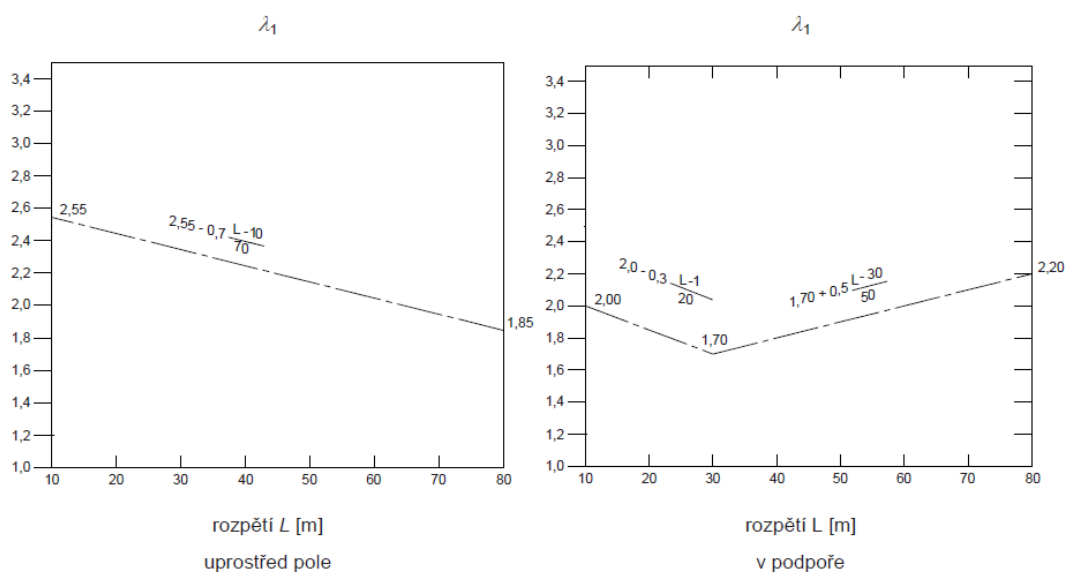
kde	λ	součinitel ekvivalentního poškození
	Φ_2	ekvivalentní dynamický součinitel (pro mosty pozemních komunikací se uvažuje $\Phi_2 = 1,00$ ^[16])

Součinitel ekvivalentního poškození (λ) mostů pozemních komunikací se stanoví dle výrazu^[16]:

$$\lambda = \lambda_1\lambda_2\lambda_3\lambda_4 \quad \text{ale } \lambda \leq \lambda_{max}$$

λ_1 je součinitel účinků poškození od dopravy, který závisí na délce kritické příčinkové čáry. Tato délka bude vyhodnocena pro každý posuzovaný prvek zvlášť v programu

SCIA Engineer. Podle délky kritické příčinkové čáry bude dle obr. 64 určena hodnota λ_1 .



Obrázek 64 Hodnoty součinitele λ_1 ^[16]

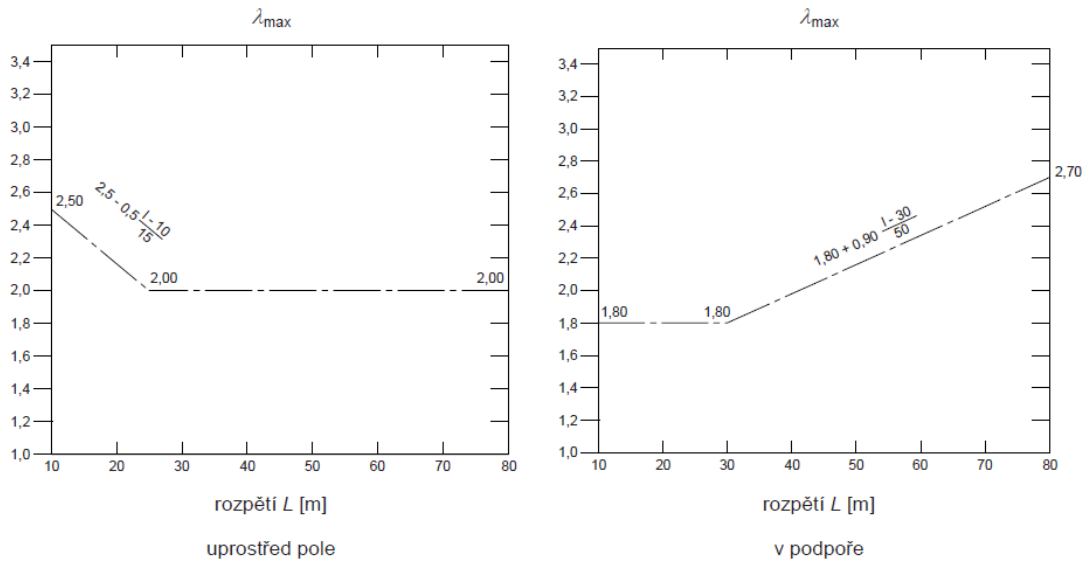
λ_2 je součinitel objemu dopravy, jelikož se jedná o provizorní most, u kterého není jasné v jakých podmínkách a pro jaký objem dopravy bude vystaven, tak není možné tento součinitel jasně určit. Posouzení jednotlivých prvků konstrukce bude provedeno pro různé objemy dopravy. Hodnoty součinitele λ_2 jsou určeny dle tab. 9.

Q_{m1}	N_{Obs}							
	$0,25 \times 10^6$	$0,50 \times 10^6$	$0,75 \times 10^6$	$1,00 \times 10^6$	$1,25 \times 10^6$	$1,50 \times 10^6$	$1,75 \times 10^6$	$2,00 \times 10^6$
200	0,362	0,417	0,452	0,479	0,500	0,519	0,535	0,550
300	0,544	0,625	0,678	0,712	0,751	0,779	0,803	0,825
400	0,725	0,833	0,904	0,957	1,001	1,038	1,071	1,100
500	0,907	1,042	1,130	1,197	1,251	1,298	1,338	1,374
600	1,088	1,250	1,356	1,436	1,501	1,557	1,606	1,649

Tabulka 9 Hodnoty součinitele λ_2 ^[16]

λ_3 je součinitel návrhové životnosti mostu. S ohledem na typ a stáří konstrukce je uvažována návrhová životnost 50 let, tedy $\lambda_3 = 0,871$.

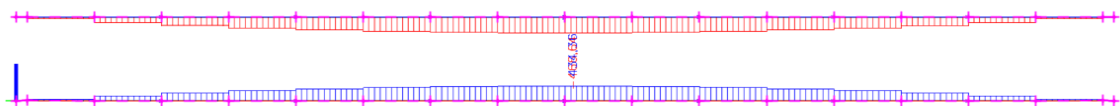
λ_4 je součinitel vlivu dopravy v dalších jízdních pružích. Šířka mostu umožňuje provoz pouze v jednom pruhu, tudíž hodnota součinitele $\lambda_4 = 1,00$ ^[16].

Obrázek 65 Hodnoty součinitele λ_{max} [16]

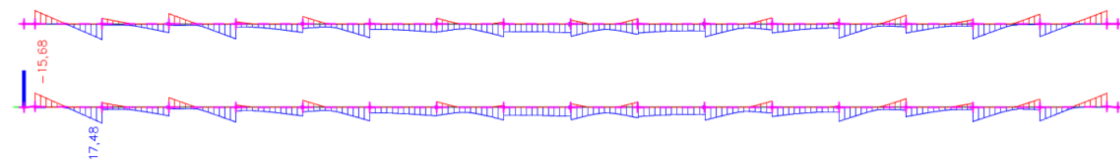
Únavová pevnost $\Delta\sigma_C$, se určí podle vybrané kategorie detailu dle ČSN 1993-1-9 (tab. 8.1) [17]. Přiřazení detailu je na základě podobnosti tvaru detailu a působení napětí (kap. 8.5.1).

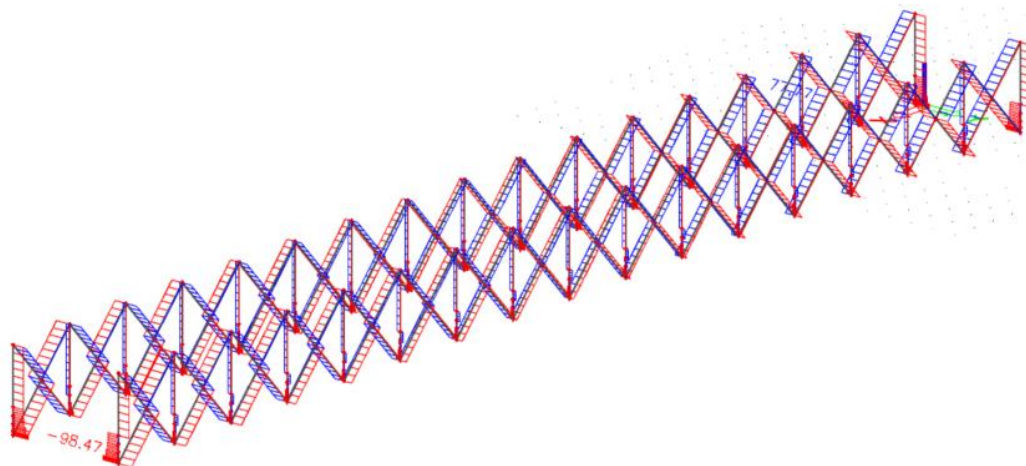
8.1 Vnitřní síly na modelu

Pro ilustraci jsou na obrázcích níže zobrazeny vnitřní síly na základních prvcích konstrukce. Vnitřní síly odpovídají únavovému vozidlu a kategorii provozu P2.

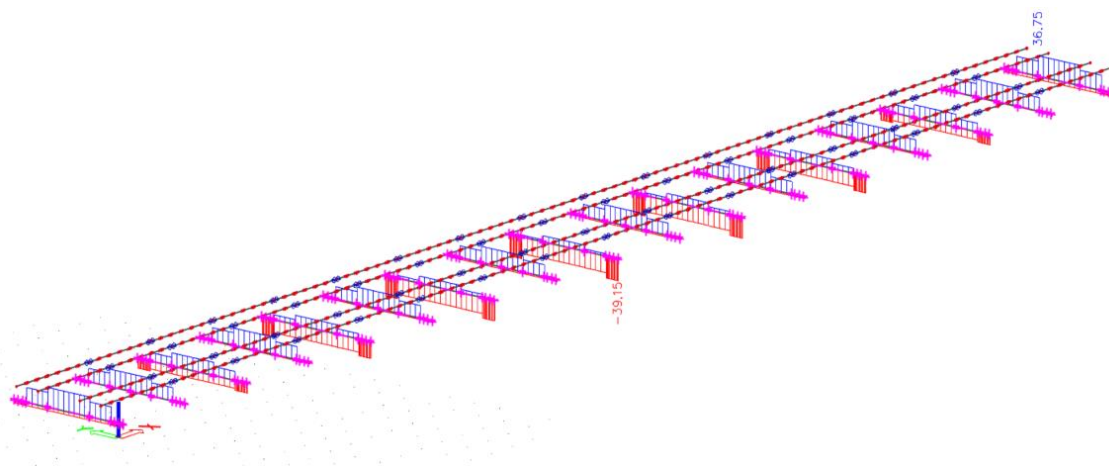


Obrázek 66 Normálová síla - horní/dolní pás

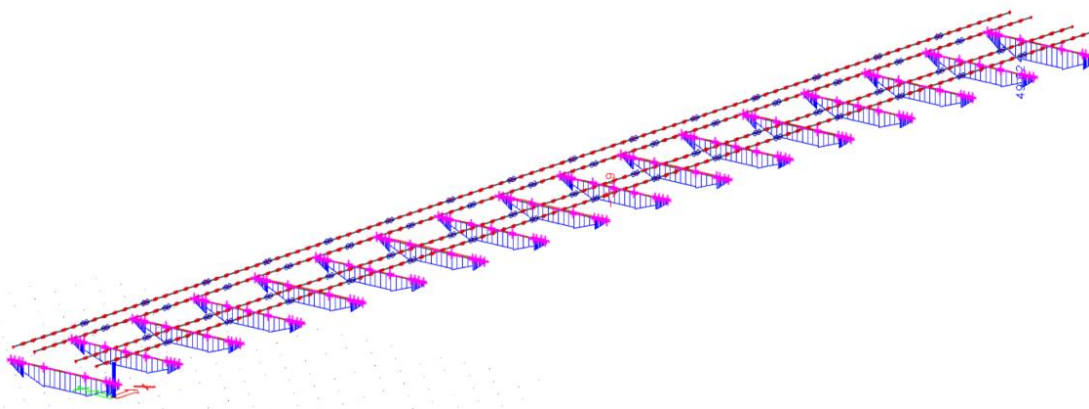
Obrázek 67 Ohybový moment M_y - horní/dolní pás



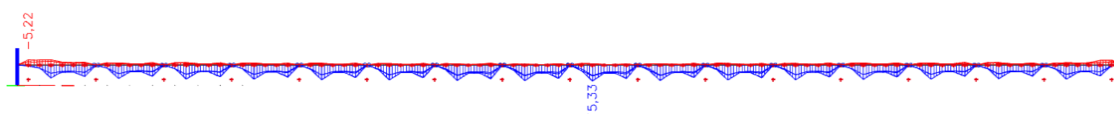
Obrázek 68 Normálová síla - příhr. elementy



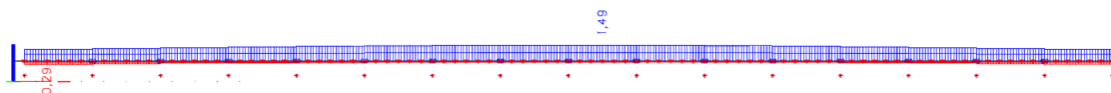
Obrázek 69 Normálová síla - příčnky



Obrázek 70 Ohybový moment M_y - příčnky



Obrázek 71 Ohybový moment M_y - podélník



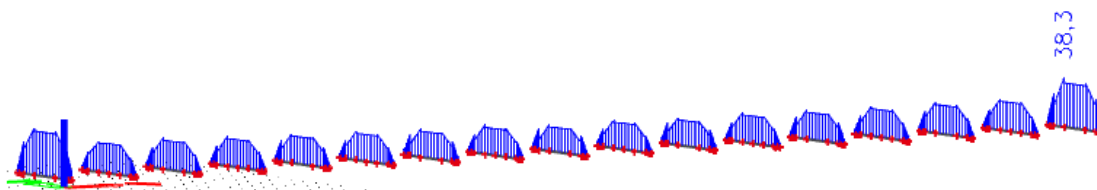
Obrázek 72 Normálová síla - podélník

8.2 Lokalizace nejvíce namáhaných prvků

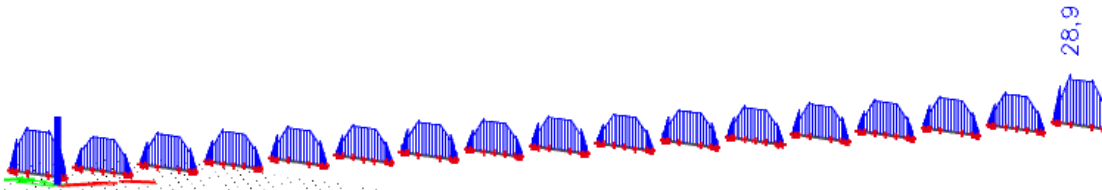
Důležité je poznamenat, že níže uvedené hodnoty rozkmitů napětí ne vždy odpovídají hodnotám v posudcích. Ve statickém výpočtu je brán zřetel na rozkmit napětí v konkrétním místě na průřezu.

8.2.1 Příčník

Z obrázků je patrné, že nejvíce namáhané jsou příčníky koncové. Do posouzení detailů č. 1, 2 a 3 budou vstupovat i z důvodu přísnějších kritérií z pohledu dynamického součinitele.



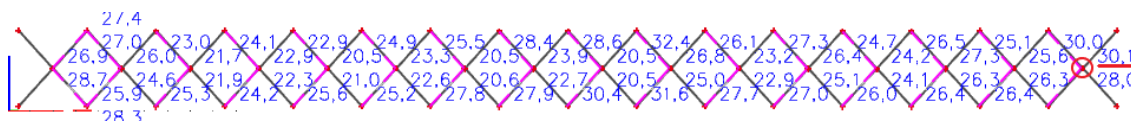
Obrázek 73 Rozkmit napětí – Model 3 – nejvíce namáhané příčníky



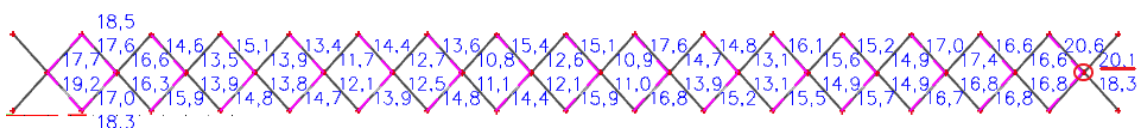
Obrázek 74 Rozkmit napětí – únavové vozidlo (P2) – nejvíce namáhané příčníky

8.2.2 Spoj diagonál

Vyznačená místa na obrázcích 75 a 76 se týkají detailu č. 5.



Obrázek 75 Rozkmit napětí – Model 3 – nejvíce namáhané diagonály (spoj)



Obrázek 76 Rozkmit napětí–únavové voz. (P2)–nejvíce namáhané diagonály(spoj)

8.2.3 Svislice elementu

Únavový detail č. 6 se nachází na přechodu mezi dvěma různými průřezy svislice elementu. Na obr. 77 a 78 jsou vyznačená místa, která budou dále posouzena.



Obrázek 77 Rozkmit napětí – Model 3 – nejvíce namáhané svislice

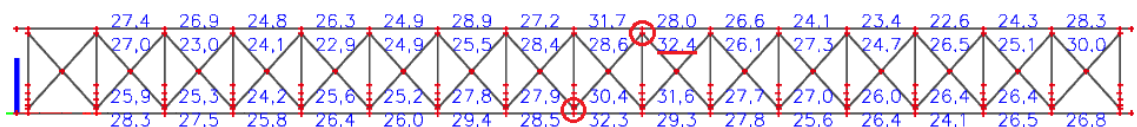


Obrázek 78 Rozkmit napětí – únavové vozidlo (P2) – nejvíce namáhané svislice

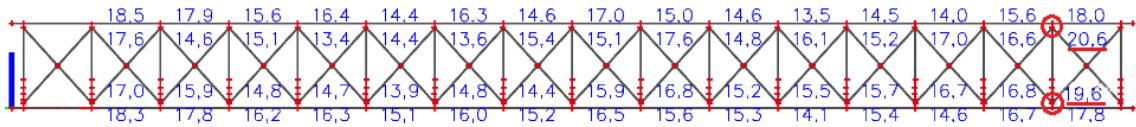
8.2.4 Diagonály elementů – styčníky s horním a dolním pásem

U detailů č. 7, 8, 9 a 10 (kapitola 5.2.1) nelze jednoznačně určit rozkmit napětí na prutovém modelu, proto byla tato místa nahrazena deskostěnovým modelem.

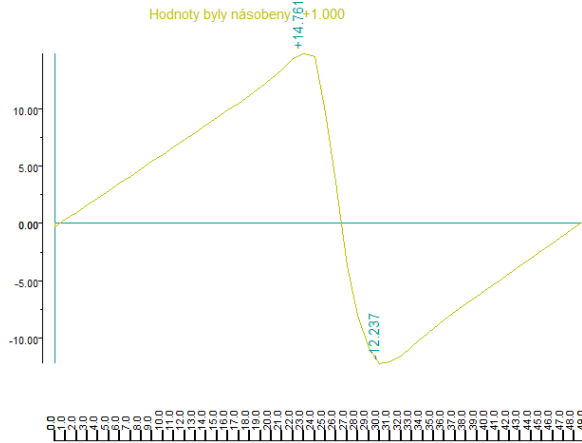
Pro lokalizaci konkrétních míst byl využit 3D prutový model, který byl vystaven zatěžovacímu Modelu 3 na únavu a únavovému vozidlu. Do míst s největším rozkmitem napětí byl vložen model deskostěnový. Poloha detailů se liší v závislosti na typu zatížení, při zatížení modelem 3 se nejvíce namáhaná místa z pohledu rozkmitu napětí nacházejí uprostřed konstrukce (obr. 79), při zatížení únavovým vozidlem se nacházejí na krajním elementu (obr. 80). Rozdíl spočívá v charakteru zatížení, zatěžovací Model 3 se skládá pouze ze šestice sil (kap. 7.3), které v poloze „před“ a „za“ kritickým styčníkem způsobí opačné namáhání diagonály (obr. 81), kdežto u únavového vozidla se kromě sil vyskytuje dle ČSN 73 6222 i spojité zatížení, to způsobí změnu polohy kritických detailů na krajní element. Rozkmit napětí v tomto případě vychází ze stavu, kdy je most po celé délce zatížen spojitým zatížením + na kraji skupinou sil a když na most nepůsobí žádné zatížení.



Obrázek 79 Rozkmit napětí - Model 3 - nejvíce namáhané styčníky



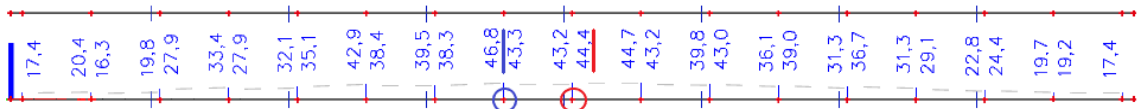
Obrázek 80 Rozkmit napětí- únavové voz.(P2)- nejvíce namáhané styčníky



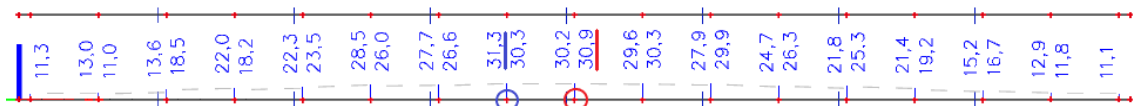
Obrázek 81 Příčinková čára normálové síly pro styčník uprostřed mostu (obr. 62)

8.2.5 Dolní pás

Na dolním pásu jsou posuzovány dva detaily č. 11 – „zámek“ pásu (vyznačený červeně) a č. 12 – příhradová spojka (vyznačený modře)



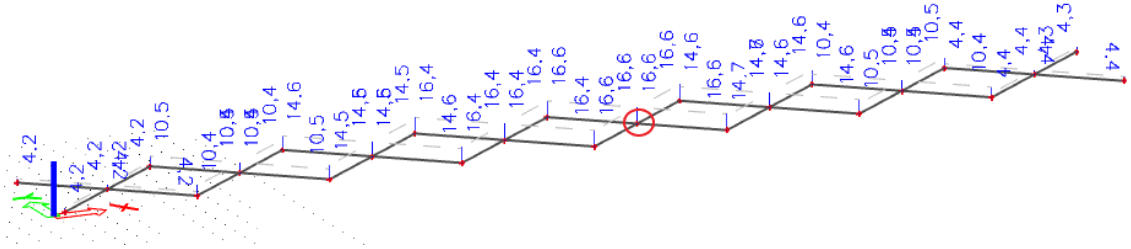
Obrázek 82 Rozkmit napětí – Model 3 – nejvíce namáhané části dolního pásu



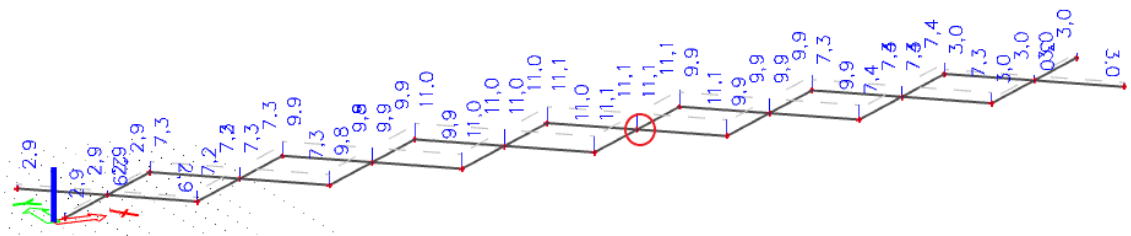
Obrázek 83 Rozkmit napětí – únavové voz. (P2) – nejvíce namáhané části dolního pásu

8.2.6 Podélné ztužidla

Místa posouzení detailu č. 13 jsou vyznačena na obr. 84 a 85



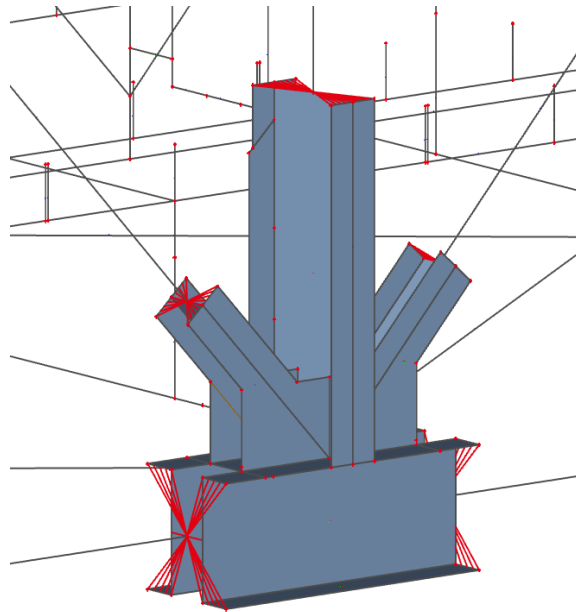
Obrázek 84 Rozkmit napětí – Model 3 – nejvíce namáhané části ztužidla



Obrázek 85 Rozkmit napětí –únavové voz.(P2) –nejvíce namáhané části dolního pásu

8.3 Deskostěnové modely styčnicků příhradových elementů

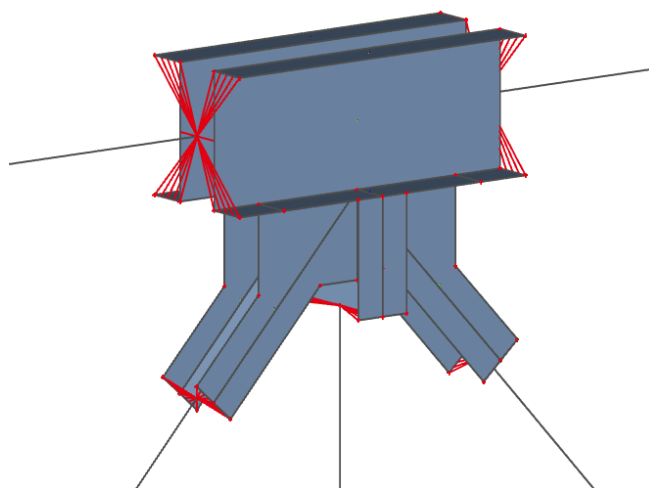
2D makra styčnicku jsou napojena k prutové konstrukci pomocí liniových tuhých ramen. Správné spolupůsobení je ověřeno na průběhu deformací a napětí mezi prutovou a deskostěnovou částí konstrukce.



Obrázek 86 "Dolní" styčník - 2D makra



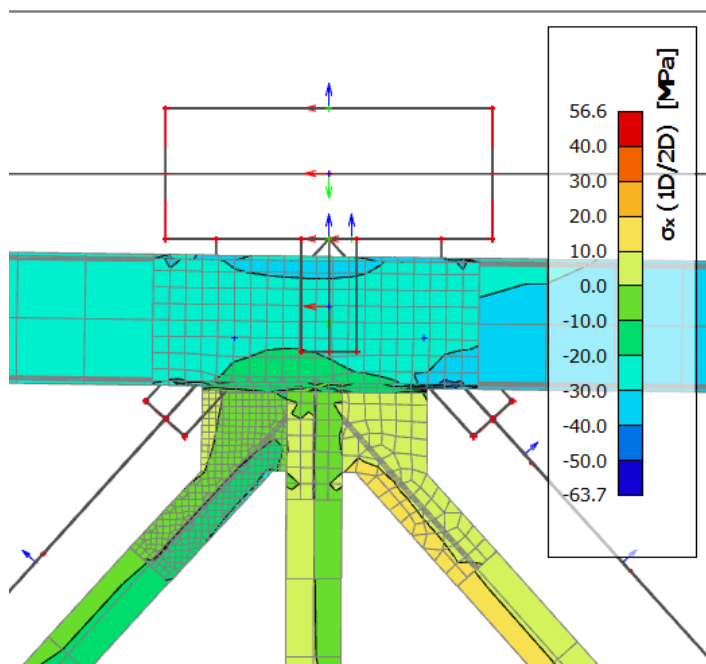
Obrázek 87 Styčník - dolní pas^[9]



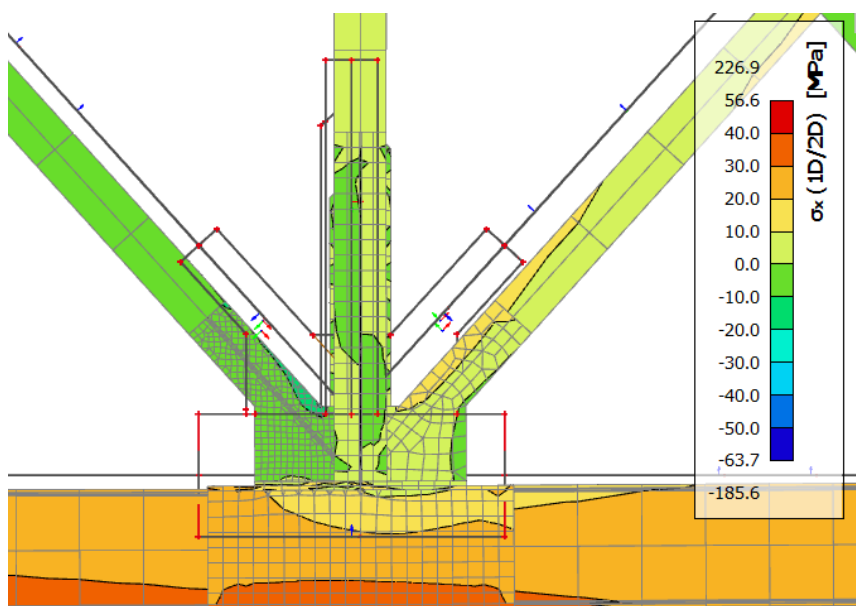
Obrázek 88 "Horní" stýčnik - 2D makra



Obrázek 89 Stýčnik - horní pás^[9]



Obrázek 90 Normálové napětí na deformované konstrukci - zatížení Model 3



Obrázek 91 Normálové napětí na deformované konstrukci - zatížení Model 3

Z pohledu deformací a průběhu normálového napětí lze konstatovat, že oba typy konstrukcí správně spolupůsobí.

Místa na vybraných styčnicích, kde by potenciálně mohlo dojít k únavovému poškození jsou zobrazeny na obrázku 92, místa vycházejí z diagnostického průřezu v kapitole 5.2.1. Červeně označená místa jsou svary mezi pásnicí diagonály elementu a koutové výtzuhy, modrá místa reprezentují svary diagonály ke stojině elementu styčnickovému plechu.

Obrázek 92 Element - únavové detaily^[9]

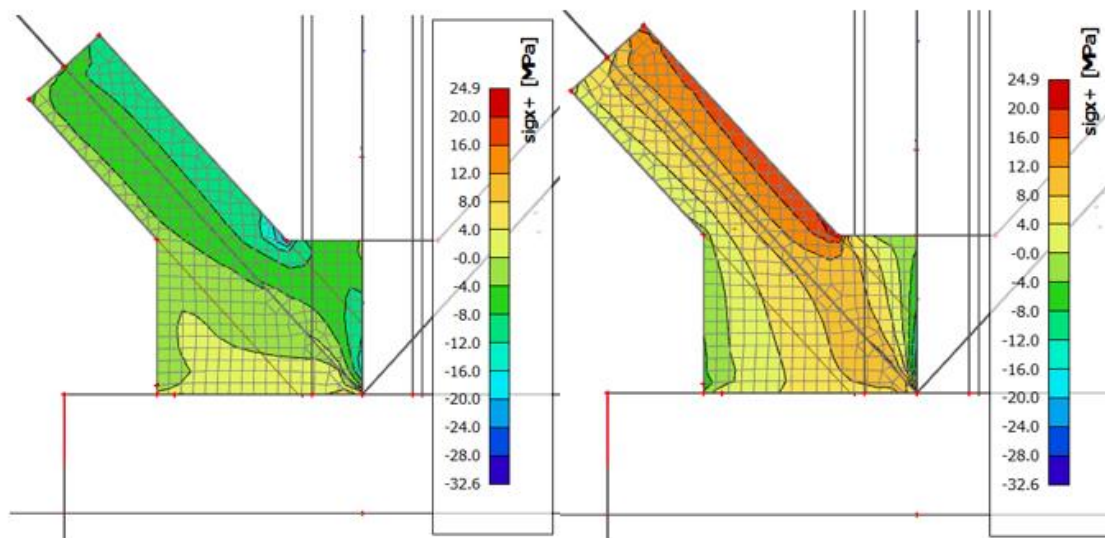
8.3.1 Napětí na styčnicích

Pro přehled o průběhu napětí na 2D makrech jsou výsledky zobrazeny pomocí izopásem, detailnější posouzení bude provedeno na řezech v kritických místech.

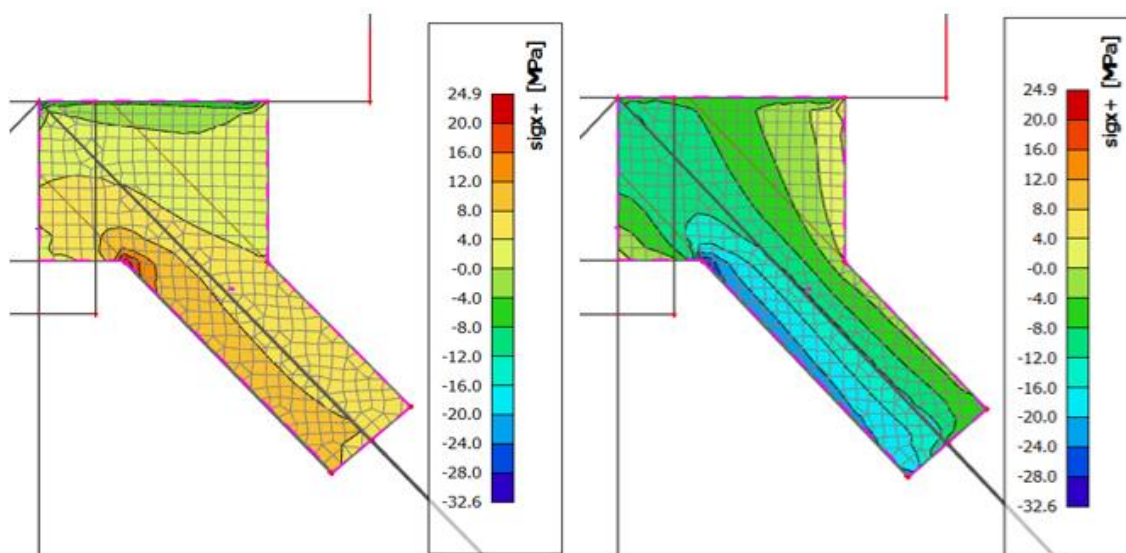
Pro vyhodnocení svaru mezi diagonálou a koutovými výztuhami (červeně) je souřadný systém pootočen ve směru sklonu diagonály a pro vyhodnocení svaru mezi koutovými výztuhami a styčnickovým plechem (modře) bude souřadný systém reprezentovat globální.

Změny souřadného systému, jsou z důvodu respektování směru působení napětí vycházející z kategorie detailu dle ČSN EN 1993-2^[16].

Z výsledných napětí je patrné, že největší rozkmit napětí a z pohledu únavy nejzajímavější místo je horní/dolní část diagonály s extrémními hodnotami na počátečním kontaktu s koutovou výztuhou, tato oblast bude detailněji posouzena v mezním stavu únavy.



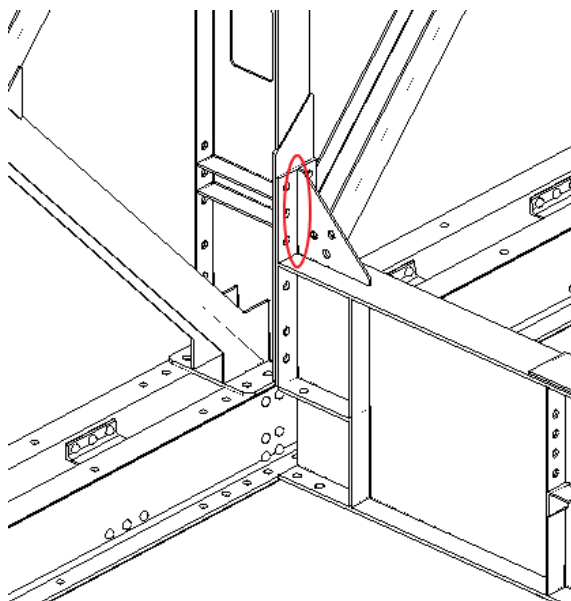
Obrázek 93 Max/Min norm. napětí na diagonále (souř. systém ve směru diagonály)



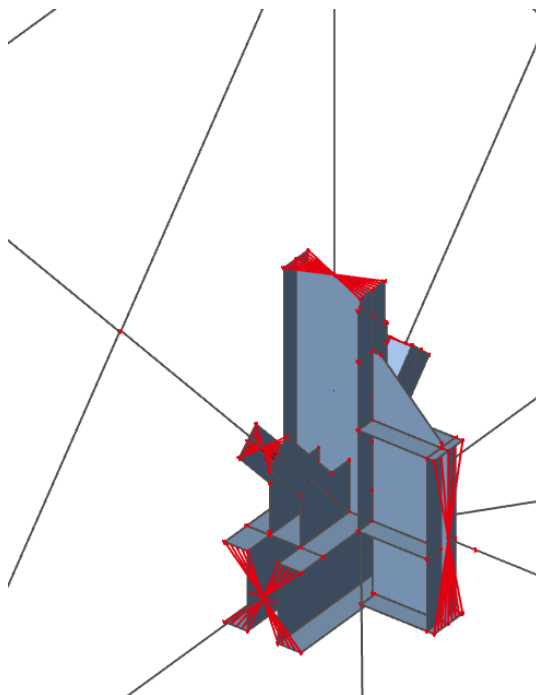
Obrázek 94 Max/Min norm. napětí na diagonále (souř. systém ve sklonu diagonály)

8.4 Deskostěnový model elementu a příčnicku

Podle závěrečné zprávy z diagnostického průzkumu je vyznačené místo na obr. 98 určeno k pravidelným kontrolám a potencionálním místem vzniku únavových trhlin (dle kapitoly 5.2.1 detail č. 4). Na prutovém modelu není možno odečíst napětí v tomto místě, proto byla část příčnicku vymodelována pomocí 2D maker se všemi výztuhami odpovídající skutečné geometrii prvku. „Deskostěnová“ část příčnicku byla připojena na již vytvořený deskostěnový styčník. Pro zajištění spolupůsobení odlišně modelovaných částí příčnicku bylo využito spoje pomocí liniových tuhých ramen (obr. 99).

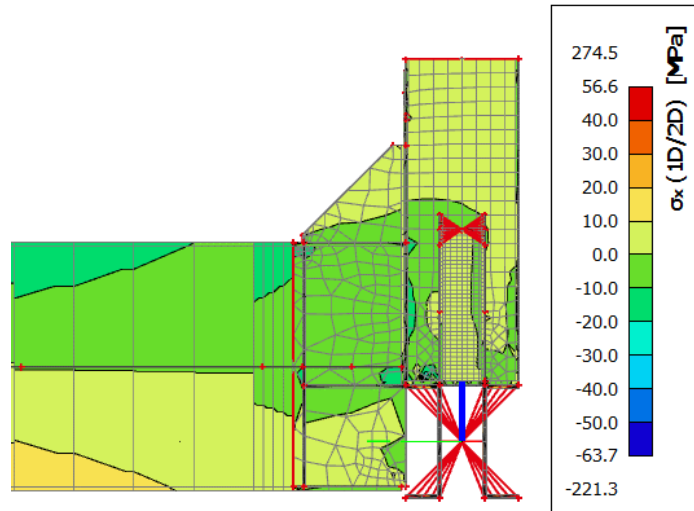


Obrázek 98 Styčník příčniku a elementu



Obrázek 99 Model styčnicku v programu SCIA Engineer

Pro ověření a dokázání správného spolupůsobení všech částí, je na obr. 100 vykresleno normálové napětí.



Obrázek 100 Normálové napětí od Modelu 3 v kritické poloze

8.5 Posouzení vybraných detailů

Vybrané detaily budou posouzeny dle normy ČSN 1993-1-9^[17] a ČSN 1993-2^[16], a to za působení zatěžovacího Modelu 3 na únavu a únavového vozidla vycházejícího ze zatížitelnosti mostů. Konstrukce bude tedy posouzena jako nová, kde se využívá k posouzení na únavu Model 3 (kap. 7.3) a jako konstrukce stávající, podléhající přepočtu zatížitelnosti, kde se využívá zatížení únavovým vozidlem (kap. 7.2.5).

Pro provizorní most nelze jasně stanovit umístění a tudíž ani charakteristiky dopravy, proto bude posouzení parametrické, kde proměnou veličinou bude: 1) součinitel λ_2 (vstupující do výpočtu ekvivalentního rozkmitu napětí) a 2) označení provozu na PK (určující koeficient k_0 a tedy hmotnost únavového vozidla).

Postup výpočtu:

- zatížení konstrukce podle kategorie dopravy (P1,P2,P3... k_0) – kap. 7.2.5, potažmo Modelem 3 na únavu (kap. 7.3).
- Odečtení rozkmitu napětí ve vybraných detailech
- Přepočet na ekvivalentní rozkmit napětí.
- Porovnání ekvivalentního rozkmitu napětí (v závislosti na měnícím se součiniteli λ_2 , odpovídající „sloupečku“ kategorii dopravy) s návrhovou hodnotou únavové pevnosti.

$$\frac{\Delta\sigma_E(\lambda_2)}{\Delta\sigma_C} \leq 1,0$$

Výstupem bude přehledná tabulka, kde budou vyznačeny hodnoty λ_2 , se kterými je posudek vyhovující a z toho lze odečíst charakteristiky dopravy, za kterých bude most použitelný dle předpisů ČSN 1993-1-9^[17] a ČSN 1993-2^[16]. Posouzení bude zpracováno metodou bezpečné životnosti i metodou přípustných poškození, výsledkem porovnání bude stanovení detailů, které nevyhoví „přísnější“ metodě bezpečné životnosti, ale metodě přípustných poškození ještě ano. Tyto detaily musejí být důkladně kontrolovány v mezních hodnotách charakteristiky dopravy (Q_{m1} , N_{obs})

Kategorie dopravy	Označení provozu na PK	Průměrná denní intenzita těžkých vozidel (viz ²⁾ tabulka 9.1)	Součinitel ϵ
1	P ₁ (velmi těžký)	$\geq 3\,501$	20
2	P ₂ (těžký)	1 501 až 3 500	7
3	P ₃ (střední)	501 až 1 500	3
4	P ₄ (lehký)	do 500	1

Tabulka 10 Označení provozu na PK^[15]

Q_{m1}	N_{obs}							
	P3		P2			P1		
	$0,25 \times 10^6$	$0,50 \times 10^6$	$0,75 \times 10^6$	$1,00 \times 10^6$	$1,25 \times 10^6$	$1,50 \times 10^6$	$1,75 \times 10^6$	$2,00 \times 10^6$
200	0,362	0,417	0,452	0,479	0,5	0,519	0,535	0,55
300	0,544	0,625	0,678	0,712	0,751	0,779	0,803	0,825
400	0,725	0,833	0,904	0,957	1,001	1,038	1,071	1,1
500	0,907	1,042	1,13	1,197	1,251	1,298	1,338	1,374
600	1,088	1,25	1,356	1,436	1,501	1,557	1,606	1,649

Tabulka 11 Hodnoty součinitele λ_2

Q_{m1} je průměrná celková hmotnost (kN) nákladních vozidel

N_{obs} je celkový počet nákladních vozidel za rok

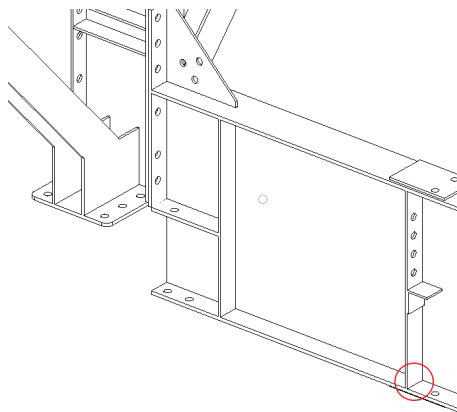
Na přání zadavatele budou vybrané detaily ověřeny i pro spojitý nosník o dvou polích (2x48 m), pro porovnání výsledků bude využit pouze Model 3 na únavu.

Pro ilustraci statického výpočtu bude zvolen součinitel dopravy $\lambda_2 = 0,678$ odpovídající kategorii provozu P2 a metoda **bezpečné životnosti** (vyšší součinitele únavové pevností γ_{Mf}).

8.5.1 Kategorie detailu

Kategorie detailu dle ČSN 1993-1-9^[17] určují charakteristickou hodnotu únavové pevnosti. Výběr se řídil geometrií detailu a způsobem namáhání.

1. Spodní pásnice příčnicku – svislá výztuha

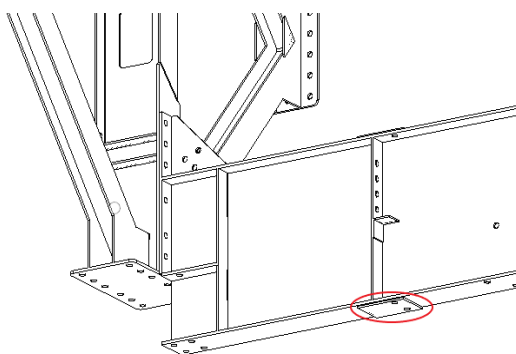


80	$l \leq 50\text{mm}$		<u>Příčně připojené prvky:</u>	<u>Detaily 6) a 7):</u>
71	$50 < l \leq 80\text{mm}$		6) Prvky přivařené k plechu. 7) Svislé výztuhy přivařené k válcovanému nebo svařovanému nosníku. 8) Diafragma komorových nosníků přivařené k pásům nebo ke stojině. Nelze použít pro malé duté průřezy. Hodnoty platí také pro kruhové výztuhy.	Konce svarů se pečlivě zabrousí pro odstranění všech možných vrubů. 7) $\Delta\sigma$ se vypočte s použitím hlavních napětí, je-li výztuha ukončena na stojině, viz příklad vlevo.

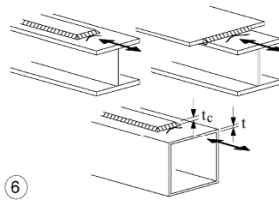
Obrázek 101 Kategorie detailu č. 1^[17]

$$\Delta\sigma_c = 80 \text{ MPa} \dots l \leq 50\text{mm}$$

2. Spodní pásnice příčnicku – plech pro připojení podélníku

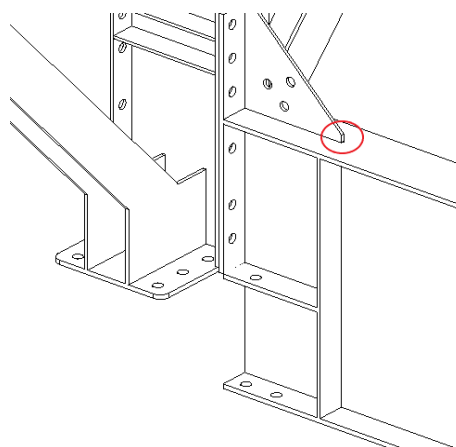


Kategorie detailu	Konstrukční detail		Popis	Požadavky
	$t_c < t$	$t_c \geq t$		
56*	$t \leq 20$	–	<u>Krycí pásnice válcovaných a svařovaných nosníků:</u> 6) Koncové oblasti jednoduchých nebo složených krycích pásnic s čelním svarem nebo bez čelního svaru.	6) Jestliže je krycí pásnice širší než pásnice, je čelní svar potřebný. Tento čelní svar je potřebné opatrně obrousit pro odstranění vrubů. Minimální délka krycí pásnice je 300 mm. Pro kratší připoje se bere vliv velikosti podle detailu 1).
50	$20 < t \leq 30$	$t \leq 20$		
45	$30 < t \leq 50$	$20 < t \leq 30$		
40	$t > 50$	$30 < t \leq 50$		
36	–	$t > 50$		

Obrázek 102 Kategorie detailu č. 2^[17]

$$\Delta\sigma_c = 56 \text{ MPa} \dots t \leq 20 \text{ mm}$$

3. Konec koutové výztuhy příčníku – horní pásnice

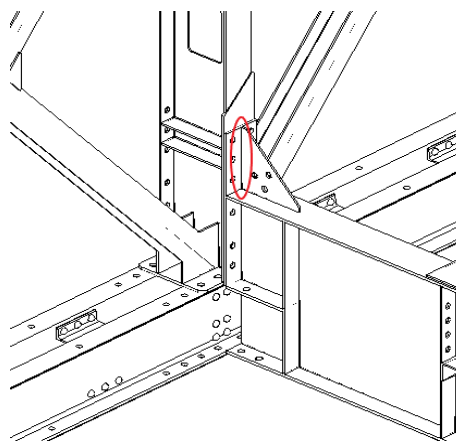


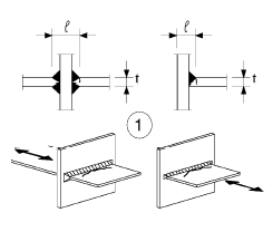
Kategorie detailu	Konstrukční detail	Popis	Požadavky
80	$L \leq 50 \text{ mm}$	<u>Podélné připojené prvky:</u> 1) Kategorie detailu se mění podle délky připojení L.	Tloušťka připojeného prvku musí být menší než jeho výška. Jestliže není, viz detaily 5 nebo 6 v tabulce 8.5.
71	$50 < L \leq 80 \text{ mm}$		
63	$80 < L \leq 100 \text{ mm}$		
56	$L > 100 \text{ mm}$		

Obrázek 103 Kategorie detailu č. 3^[17]

$$\Delta\sigma_c = 56 \text{ MPa} \dots L > 100 \text{ mm}$$

4. Svislá část koutové výztuhy příčníku – čelní deska

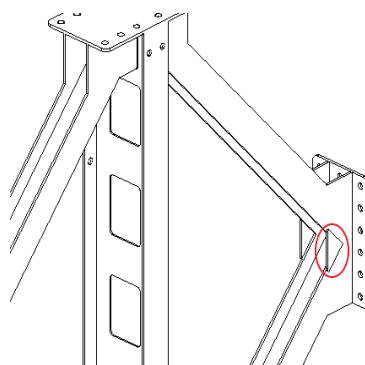


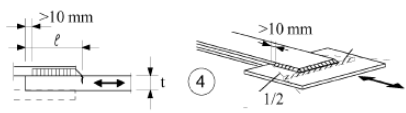
Kategorie detailu	Konstrukční detail		Popis	Požadavky	
80	$l < 50 \text{ mm}$	všechny tloušťky t (mm)		<p><u>Křížové a T spoje:</u></p> <p>1) Vady v přechodu svaru do základního materiálu u plně provařených tupých svarů a všech částečně provařených spojů.</p>	
71	$50 < l \leq 80$				
63	$80 < l \leq 100$				
56	$100 < l \leq 120$				
56	$l > 120$				$t \leq 20$
50	$120 < l \leq 200$ $0 < l > 200$				$t > 20$ $20 < t \leq 30$
45	$200 < l \leq 300$ $l > 300$	$t > 30$ $30 < t \leq 50$	<p>3) U částečně provařených svarů se požaduje dvojnásobné posouzení na únavu:</p> <p>– na porušení v kofeni svaru pro</p>		
40	$l > 300$	$t > 50$			

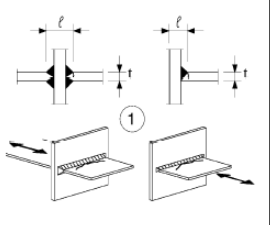
Obrázek 104 Kategorie detailu č. 4^[17]

$$\Delta\sigma_c = 80 \text{ MPa} \dots L < 50 \text{ mm}$$

5. Spoj diagonál – výztuha



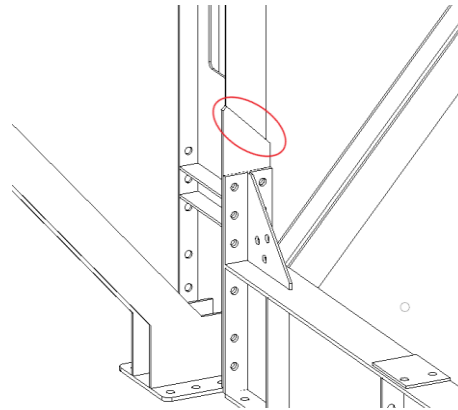
Stejně jako pro detail 1	 <p>namáhaná plocha hlavního plechu: sklon = 1/2</p>	<p><u>Přeplátované svarové spoje:</u></p> <p>4) Přeplátovaný spoj s koutovými svary.</p>	<p>4) $\Delta\sigma$ v hlavním plechu se vypočte pro plochu nosného průřezu podle obrázku.</p> <p>5) $\Delta\sigma$ se vypočte</p>
--------------------------	---	--	--

Kategorie detailu	Konstrukční detail		Popis	Požadavky	
80	$l < 50 \text{ mm}$	všechny tloušťky t (mm)		<p><u>Křížové a T spoje:</u></p> <p>1) Vady v přechodu svaru do základního materiálu u plně provařených tupých svarů a všech částečně provařených spojů.</p>	
71	$50 < l \leq 80$				
63	$80 < l \leq 100$				
56	$100 < l \leq 120$				
56	$l > 120$				$t \leq 20$
50	$120 < l \leq 200$ $0 < l > 200$				$t > 20$ $20 < t \leq 30$
45	$200 < l \leq 300$ $l > 300$	$t > 30$ $30 < t \leq 50$	<p>3) U částečně provařených svarů se požaduje dvojnásobné posouzení na únavu:</p> <p>– na porušení v kofeni svaru pro</p>		
40	$l > 300$	$t > 50$			

Obrázek 105 Kategorie detailu č. 5^[17]

$$\Delta\sigma_c = 80 \text{ MPa} \dots L < 50 \text{ mm}$$

6. Přechod rozšířené pásnice

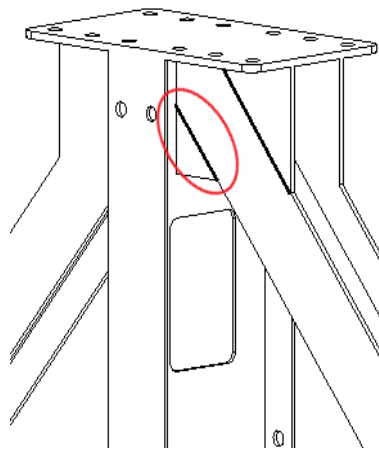


71	součinitel velikosti pro $t > 25\text{mm}$: $k_s = (25/t)^{0.2}$		Svary na podložce: 14) Příčný styk. 15) Příčný tupý svar prvků proměnné šířky nebo tloušťky se sklonem $\leq 1/4$. Platí též pro zakřivené plechy.	Detaily 14) a 15): Koutové svary upevňující podložku se ukončí ve vzdálenosti $\geq 10\text{ mm}$ od hran namáhaného plechu. Připojovací svary na vnitřní straně úkosu tupého svaru.
----	--	--	--	--

Obrázek 106 Kategorie detailu č. 6^[17]

$\Delta\sigma_c = 71\text{ MPa} \dots t < 25\text{ mm}$

7. Diagonála – koutová výztuha (styčník s horním pásem)

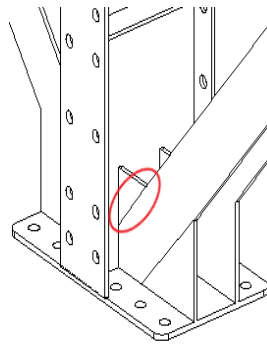


90	$\frac{r}{\ell} \geq \frac{1}{3}$ nebo $r > 150\text{mm}$		4) Styčníkový plech, přivařený k hraně plechu nebo k pásnici nosníku.	příčného svaru bylo plně odstraněno.
71	$\frac{1}{6} \leq \frac{r}{\ell} \leq \frac{1}{3}$			
50	$\frac{r}{\ell} < \frac{1}{6}$			

Obrázek 107 Kategorie detailu č. 7^[17]

$\Delta\sigma_c = 71\text{ MPa} \dots \frac{r}{\ell} = \frac{30}{180} = \frac{1}{6}$

8. Diagonála – koutová výztuha (styčník s dolním pásem)

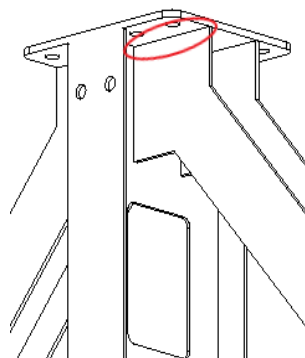


90	$\frac{r}{l} \geq \frac{1}{3}$ nebo $r > 150\text{mm}$		4) Styčníkový plech, přivařený k hraně plechu nebo k pásnici nosníku.	příčného sváru bylo plně odstraněno.
71	$\frac{1}{6} \leq \frac{r}{l} \leq \frac{1}{3}$			
50	$\frac{r}{l} < \frac{1}{6}$			

Obrázek 108 Kategorie detailu č. 8^[17]

$$\Delta\sigma_c = 71 \text{ MPa} \dots \frac{r}{l} = \frac{30}{180} = \frac{1}{6}$$

9. Koutová výztuha – styčníkový plech (styčník s horním pásem)

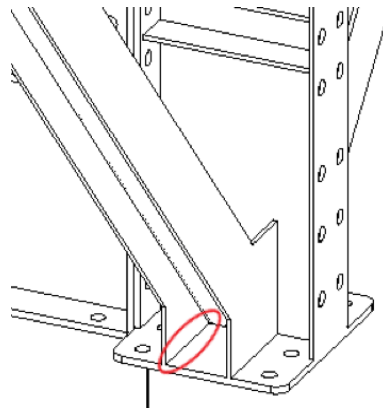


Kategorie detailu	Konstrukční detail		Popis	Požadavky	
80	$l < 50 \text{ mm}$	všechny tloušťky t (mm)		<p><u>Křížové a T spoje:</u></p> <p>1) Vady v přechodu svaru do základního materiálu u plně provařených tupých svarů a všech částečně provařených spojů.</p>	<p>1) Kontrolované svary bez defektů a přesazení větších než tolerance podle EN 1090.</p> <p>2) $\Delta\sigma$ se vypočte s použitím modifikovaných jmenovitých napětí</p> <p>3) U částečně provařených svarů se požaduje dvojnásobné posouzení na únavu.</p> <p>– na porušení v kofení svaru pro</p>
71	$50 < l \leq 80$				
63	$80 < l \leq 100$				
56	$100 < l \leq 120$				
56	$l > 120$				
50	$120 < l \leq 200$ $0 < l > 200$	$t > 20$ $20 < t \leq 30$			
45	$200 < l \leq 300$ $l > 300$	$t > 30$ $30 < t \leq 50$			
40	$l > 300$	$t > 50$			

Obrázek 109 Kategorie detailu č. 9^[17]

$$\Delta\sigma_c = 80 \text{ MPa} \dots l < 50 \text{ mm}$$

10. Koutová výztuha – styčnický plech (styčník s dolním pásem)

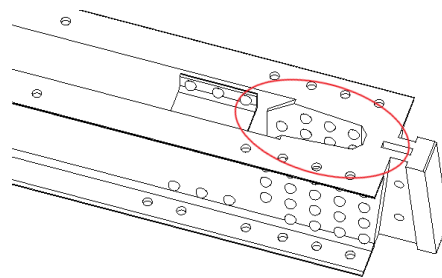


Kategorie detailu	Konstrukční detail		Popis	Požadavky
80	$l < 50 \text{ mm}$	všechny tloušťky t (mm)		<p><u>Křížové a T spoje:</u></p> <p>1) Vady v přechodu svaru do základního materiálu u plně provařených tupých svarů a všech částečně provařených spojů.</p> <p>2) $\Delta\sigma$ se vypočte s použitím modifikovaných jmenovitých napětí</p> <p>3) U částečně provařených svarů se požaduje dvoji posouzení na únavu:</p> <p>– na porušení v kofení svaru pro</p>
71	$50 < l \leq 80$			
63	$80 < l \leq 100$			
56	$100 < l \leq 120$			
56	$l > 120$	$t \leq 20$		
50	$120 < l \leq 200$	$t > 20$		
	$l > 200$	$20 < t \leq 30$		
45	$200 < l \leq 300$	$t > 30$		
	$l > 300$	$30 < t \leq 50$		
40	$l > 300$	$t > 50$		

Obrázek 110 Kategorie detailu č. 10^[17]

$\Delta\sigma_c = 80 \text{ MPa} \dots l < 50 \text{ mm}$

11. Nýtový spoj mezi nosníkem a zámekem

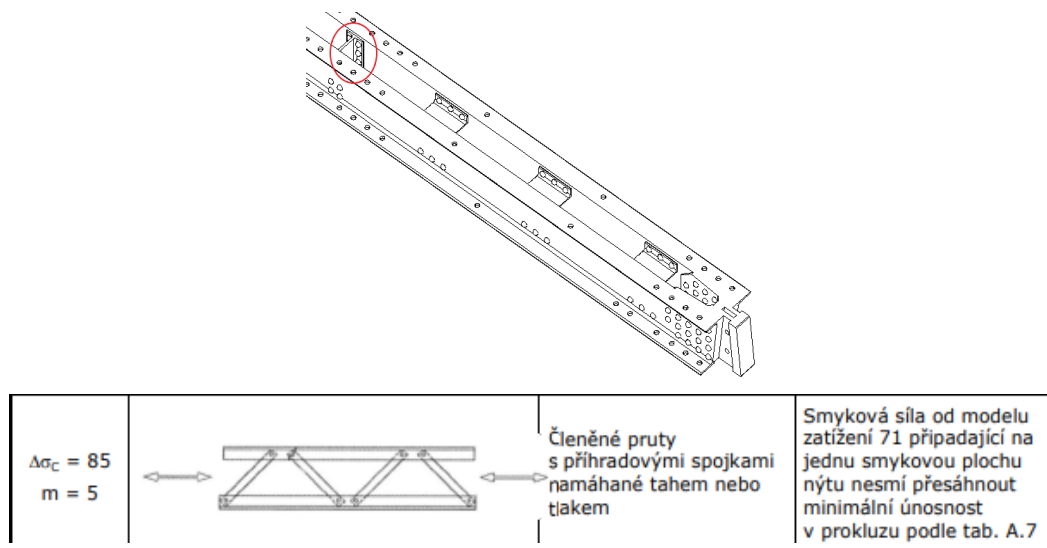


$\Delta\sigma_c = 71$ $m = 5$		<p>Jednostřížný spoj s příložkami</p>	<p>Pokud je smyková síla od modelu zatížení 71 v nýtech nižší, než je minimální únosnost v prokluzu, může být použita $\Delta\sigma_c = 85 \text{ MPa}$</p>
----------------------------------	--	---------------------------------------	--

Obrázek 111 Kategorie detailu č. 11^[18]

$\Delta\sigma_c = 71 \text{ MPa}$

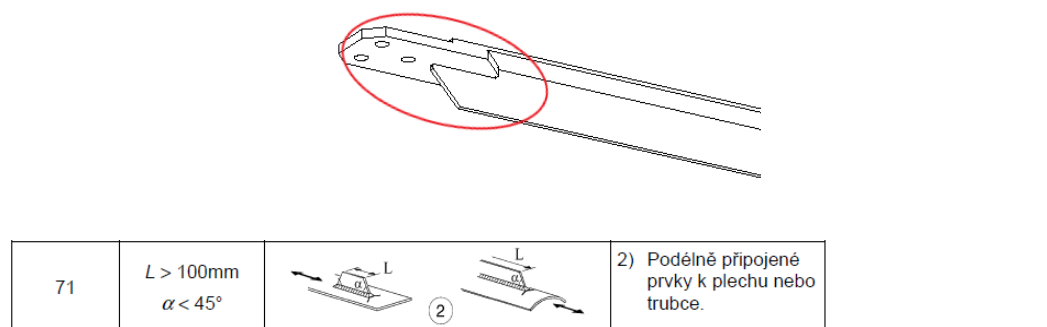
12. Příhradová spojka mezi profily dolního pásu



Obrázek 112 Kategorie detailu č. 12^[18]

$\Delta\sigma_c = 85 \text{ MPa}$

13. Detail na podélném ztužidlu



Obrázek 113 Kategorie detailu č. 13^[17]

$\Delta\sigma_c = 71 \text{ MPa}$

8.5.2 Statický výpočet – Únavové vozidlo ($V_n = 32t$), kat. provozu P2

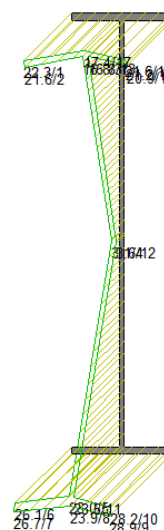
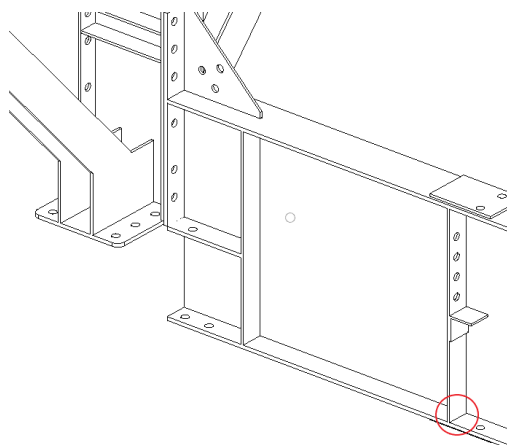
Posouzení mezního stavu únavy ocelové konstrukce ŽM16 dle ČSN 1993-2

Zatížení: Únavové vozidlo ($V_n = 32t$)

Označení provozu na PK: P2

Prvek	Detail 1 - Koncový příčník
Prut / poloha bodu	B1185; 0,993 m
Popis	Spodní pásnice - příčná výtzuha

Kritická délka příčinkové čáry	$L =$	5,000 m
Součinitel účinků poškození od dopravy (dle obrázku 9.5. ČSN 1993-2)	$\lambda_1 =$	2,000
Součinitel objemu dopravy (dle tabulky 9.1. ČSN 1993-2)	$\lambda_2 =$	0,678
Celkový počet nákladních vozidel za rok	$N_{OBS} =$	$0,75 \times 10^6$
Průměrná celková hmotnost nákladních vozidel	$Q_{m1} =$	300 kN
Součinitel návrhové životnosti mostu (pro 25 let)	$\lambda_3 =$	0,871
Součinitel vlivu dopravy v dalších jízdách pruzích (pro jeden pruh těžkých vozidel)	$\lambda_4 =$	1,000
Výsledný součinitel ekvivalentního poškození	$\lambda = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 =$	1,181
Součinitel únavového zatížení	$\gamma_{FF} =$	1,000
Součinitel spolehlivosti materiálu (mírné důsledky vlivem poškození - bezpečná životnost)	$\gamma_{Mf} =$	1,150
Největší hodnota součinitele λ s uvažováním meze únavy (dle obrázku 9.6. ČSN 1993-2)	$\lambda_{max} =$	1,800
Základní hodnota únavové pevnosti (kategorie detailu) (dle tabulky 8.4. ČSN 1993-1-9)		80,000 MPa
Rozkmit napětí od zatěžovacího modelu 3 pro únavu	$\Delta\sigma_p =$	28,200 MPa
Ekvivalentní rozkmit napětí	$\Delta\sigma_E =$	33,306 MPa
Návrhová hodnota únavové pevnosti	$\Delta\sigma_c =$	69,565 MPa
Využití vlákna průřezu na únavu		47,9 %



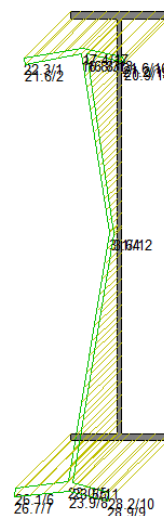
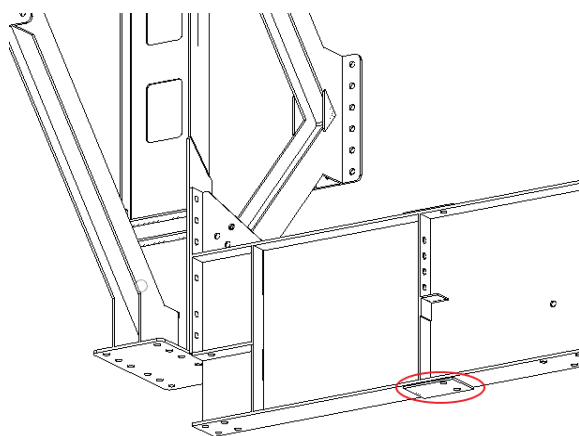
Posouzení mezního stavu únavy ocelové konstrukce ŽM16 dle ČSN 1993 -2

Zatížení: Únavové vozidlo ($V_n = 32t$)

Označení provozu na PK: P2

Prvek	Detail 2 - Koncový příčník
Prut / poloha bodu	B1185; 0,993 m
Popis	Spodní pásnice - plech pro připojení podélníku

Kritická délka příčinkové čáry	$L =$	5,000 m
Součinitel účinků poškození od dopravy (dle obrázku 9.5. ČSN 1993-2)	$\lambda_1 =$	2,000
Součinitel objemu dopravy (dle tabulky 9.1. ČSN 1993-2)	$\lambda_2 =$	0,678
Celkový počet nákladních vozidel za rok	$N_{OBS} =$	$0,75 \times 10^6$
Průměrná celková hmotnost nákladních vozidel	$Q_{m1} =$	300 kN
Součinitel nvrhové životnosti mostu (pro 25 let)	$\lambda_3 =$	0,871
Součinitel vlivu dopravy v dalších jízdních pružích (pro jeden pruh těžkých vozidel)	$\lambda_4 =$	1,000
Výsledný součinitel ekvivalentního poškození	$\lambda = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 =$	1,181
Součinitel únavového zatížení	$\gamma_{Ff} =$	1,000
Součinitel spolehlivosti materiálu (mírné důsledky vlivem poškození - bezpečná životnost)	$\gamma_{Mf} =$	1,150
Největší hodnota součinitele λ s uvážením meze únavy (dle obrázku 9.6. ČSN 1993-2)	$\lambda_{max} =$	1,800
Základní hodnota únavové pevnosti (kategorie detailu) (dle tabulky 8.4. ČSN 1993-1-9)		56,000 MPa
Rozkmit napětí od zatěžovacího modelu 3 pro únavu	$\Delta\sigma_p =$	28,900 MPa
Ekvivalentní rozkmit napětí	$\Delta\sigma_E =$	34,133 MPa
Návrhová hodnota únavové pevnosti	$\Delta\sigma_c =$	48,696 MPa
Využití vlákna průřezu na únavu		70,1 %



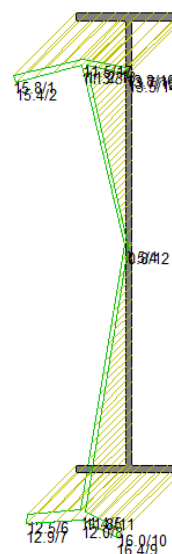
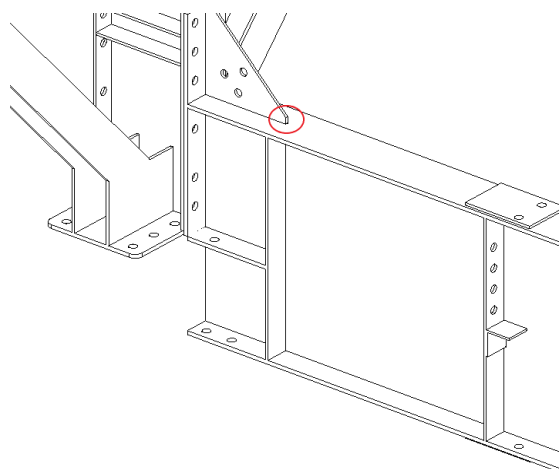
Posouzení mezního stavu únavy ocelové konstrukce ŽM16 dle ČSN 1993 -2

Zatížení: Únavové vozidlo ($V_n = 32t$)

Označení provozu na PK: P2

Prvek	Detail 3 - Koncový příčnick
Prut / poloha bodu	B1185; 0,000 m
Popis	Konec koutové výztuhy - horní pásnice

Kritická délka příčinkové čáry	$L =$	5,000 m
Součinitel účinků poškození od dopravy (dle obrázku 9.5. ČSN 1993-2)	$\lambda_1 =$	2,000
Součinitel objemu dopravy (dle tabulky 9.1. ČSN 1993-2)	$\lambda_2 =$	0,678
Celkový počet nákladních vozidel za rok	$N_{OBS} =$	$0,75 \times 10^6$
Průměrná celková hmotnost nákladních vozidel	$Q_{m1} =$	300 kN
Součinitel nvrhové životnosti mostu (pro 25 let)	$\lambda_3 =$	0,871
Součinitel vlivu dopravy v dalších jízdách pružích (pro jeden pruh těžkých vozidel)	$\lambda_4 =$	1,000
Výsledný součinitel ekvivalentního poškození	$\lambda = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 =$	1,181
Součinitel únavového zatížení	$\gamma_{FF} =$	1,000
Součinitel spolehlivosti materiálu (mírné důsledky vlivem poškození - bezpečná životnost)	$\gamma_{Mf} =$	1,150
Největší hodnota součinitele λ s uvážením meze únavy (dle obrázku 9.6. ČSN 1993-2)	$\lambda_{max} =$	1,800
Základní hodnota únavové pevnosti (kategorie detailu) (dle tabulky 8.4. ČSN 1993-1-9)		56,000 MPa
Rozkmit napětí od zatěžovacího modelu 3 pro únavu	$\Delta\sigma_p =$	11,500 MPa
Ekvivalentní rozkmit napětí	$\Delta\sigma_E =$	13,582 MPa
Návrhová hodnota únavové pevnosti	$\Delta\sigma_c =$	48,696 MPa
Využití vlákna průřezu na únavu		27,9 %



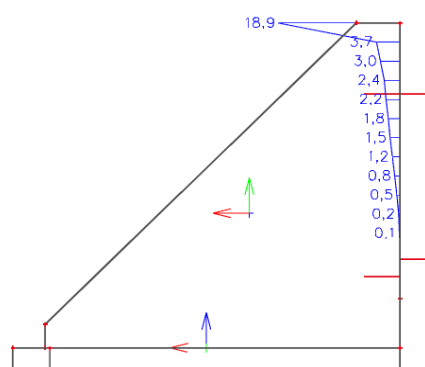
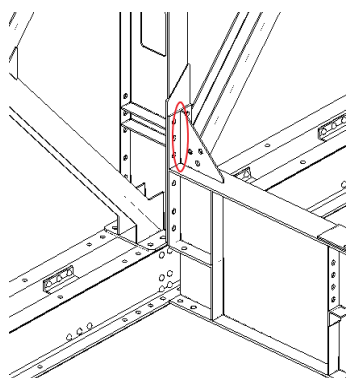
Posouzení mezního stavu únavy ocelové konstrukce ŽM16 dle ČSN 1993 -2

Zatížení: Únavové vozidlo ($V_n = 32t$)

Označení provozu na PK: P2

Prvek	Detail 4 - Příčnick
Prut / poloha bodu	Deskostěnový model
Popis	Svislá část koutové výztuhy - čelní deska

Kritická délka příčinkové čáry	$L =$	13,000 m
Součinitel účinků poškození od dopravy (dle obrázku 9.5. ČSN 1993-2)	$\lambda_1 =$	2,520
Součinitel objemu dopravy (dle tabulky 9.1. ČSN 1993-2)	$\lambda_2 =$	0,678
Celkový počet nákladních vozidel za rok	$N_{OBS} =$	$0,75 \times 10^6$
Průměrná celková hmotnost nákladních vozidel	$Q_{m1} =$	300 kN
Součinitel návrhové životnosti mostu (pro 25 let)	$\lambda_3 =$	0,871
Součinitel vlivu dopravy v dalších jízdách pružích (pro jeden pruh těžkých vozidel)	$\lambda_4 =$	1,000
Výsledný součinitel ekvivalentního poškození	$\lambda = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 =$	1,488
Součinitel únavového zatížení	$\gamma_{Ff} =$	1,000
Součinitel spolehlivosti materiálu (mírné důsledky vlivem poškození - bezpečná životnost)	$\gamma_{Mf} =$	1,150
Největší hodnota součinitele λ s uvažováním meze únavy (dle obrázku 9.6. ČSN 1993-2)	$\lambda_{max} =$	1,800
Základní hodnota únavové pevnosti (kategorie detailu) (dle tabulky 8.5. ČSN 1993-1-9) $l < 50$ mm		80,000 MPa
Rozkmit napětí od zatěžovacího modelu 3 pro únavu	$\Delta\sigma_p =$	18,900 MPa
Ekvivalentní rozkmit napětí	$\Delta\sigma_E =$	28,126 MPa
Návrhová hodnota únavové pevnosti	$\Delta\sigma_c =$	69,565 MPa
Využití vlákna průřezu na únavu		40,4 %



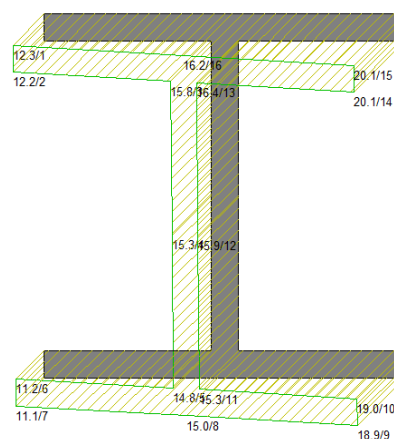
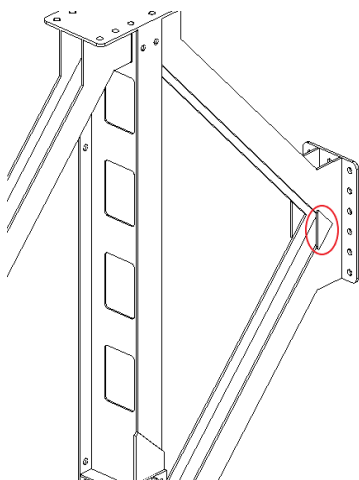
Posouzení mezního stavu únavy ocelové konstrukce ŽM16 dle ČSN 1993 -2

Zatížení: Únavové vozidlo ($V_n = 32t$)

Označení provozu na PK: P2

Prvek	Detail 5 - Diagonála elementu
Prut / poloha bodu	B1876; 0,276 m
Popis	Spoj diagonál - výztužný plech

Kritická délka příčinkové čáry	$L =$	48,000 m
Součinitel účinků poškození od dopravy (dle obrázku 9.5. ČSN 1993-2)	$\lambda_1 =$	2,170
Součinitel objemu dopravy (dle tabulky 9.1. ČSN 1993-2)	$\lambda_2 =$	0,678
Celkový počet nákladních vozidel za rok	$N_{OBS} =$	$0,75 \times 10^6$
Průměrná celková hmotnost nákladních vozidel	$Q_{m1} =$	300 kN
Součinitel nvrhové životnosti mostu (pro 25 let)	$\lambda_3 =$	0,871
Součinitel vlivu dopravy v dalších jízdách pružích (pro jeden pruh těžkých vozidel)	$\lambda_4 =$	1,000
Výsledný součinitel ekvivalentního poškození	$\lambda = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 =$	1,281
Součinitel únavového zatížení	$\gamma_{Ff} =$	1,000
Součinitel spolehlivosti materiálu (závažné důsledky vlivem poškození - bezpečná životnost)	$\gamma_{Mf} =$	1,350
Největší hodnota součinitele λ s uvážením meze únavy (dle obrázku 9.6. ČSN 1993-2)	$\lambda_{max} =$	2,500
Základní hodnota únavové pevnosti (kategorie detailu) (dle tabulky 8.4. ČSN 1993-1-9)		80,000 MPa
Rozkmit napětí od zatěžovacího modelu 3 pro únavu	$\Delta\sigma_p =$	20,100 MPa
Ekvivalentní rozkmit napětí	$\Delta\sigma_E =$	25,757 MPa
Návrhová hodnota únavové pevnosti	$\Delta\sigma_c =$	59,259 MPa
Využití vlákna průřezu na únavu		43,5 %



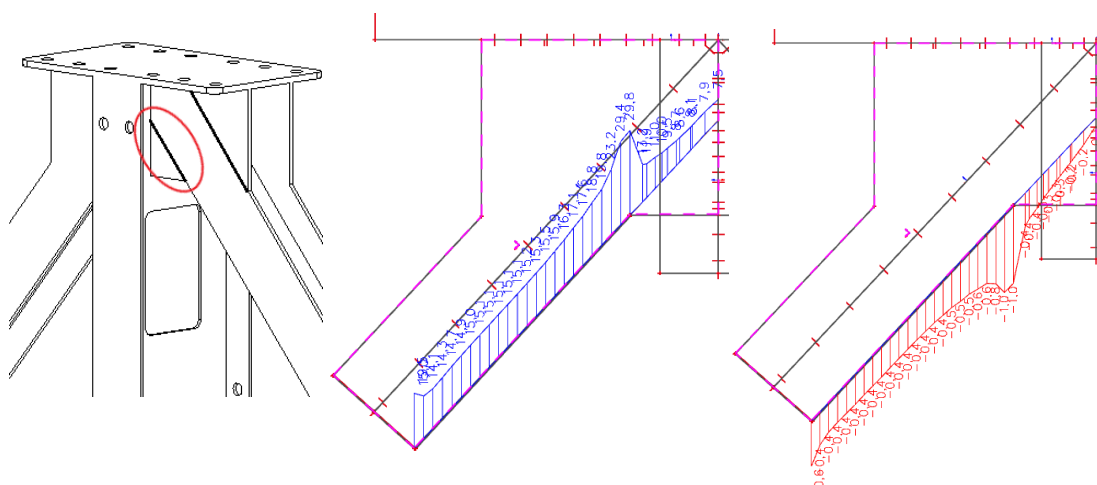
Posouzení mezního stavu únavy ocelové konstrukce ŽM16 dle ČSN 1993 -2

Zatížení: Únavové vozidlo ($V_n = 32t$)

Označení provozu na PK: P2

Prvek	Detail 7 - Horní styčník elementu a pásu
Prut / poloha bodu	Deskostěnový model
Popis	Svar diagonály a koutové výztuhy

Kritická délka příčinkové čáry	$L =$	48,000 m
Součinitel účinků poškození od dopravy (dle obrázku 9.5. ČSN 1993-2)	$\lambda_1 =$	2,170
Součinitel objemu dopravy (dle tabulky 9.1. ČSN 1993-2)	$\lambda_2 =$	0,678
Celkový počet nákladních vozidel za rok	$N_{OBS} =$	$0,75 \times 10^6$
Průměrná celková hmotnost nákladních vozidel	$Q_{m1} =$	300 kN
Součinitel návrhové životnosti mostu (pro 25 let)	$\lambda_3 =$	0,871
Součinitel vlivu dopravy v dalších jízdách pružích (pro jeden pruh těžkých vozidel)	$\lambda_4 =$	1,000
Výsledný součinitel ekvivalentního poškození	$\lambda = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 =$	1,281
Součinitel únavového zatížení	$\gamma_{Ff} =$	1,000
Součinitel spolehlivosti materiálu (závažné důsledky vlivem poškození - bezpečná životnost)	$\gamma_{Mf} =$	1,350
Největší hodnota součinitele λ s uvážením meze únavy (dle obrázku 9.6. ČSN 1993-2)	$\lambda_{max} =$	2,500
Základní hodnota únavové pevnosti (kategorie detailu) (dle tabulky 8.4. ČSN 1993-1-9) $r/L = 30/180 = 1/6$		71,000 MPa
Rozkmit napětí od zatěžovacího modelu 3 pro únavu	$\Delta\sigma_p =$	30,800 MPa
Ekvivalentní rozkmit napětí	$\Delta\sigma_E =$	39,469 MPa
Návrhová hodnota únavové pevnosti	$\Delta\sigma_c =$	52,593 MPa
Využití vlákna průřezu na únavu		75,0 %



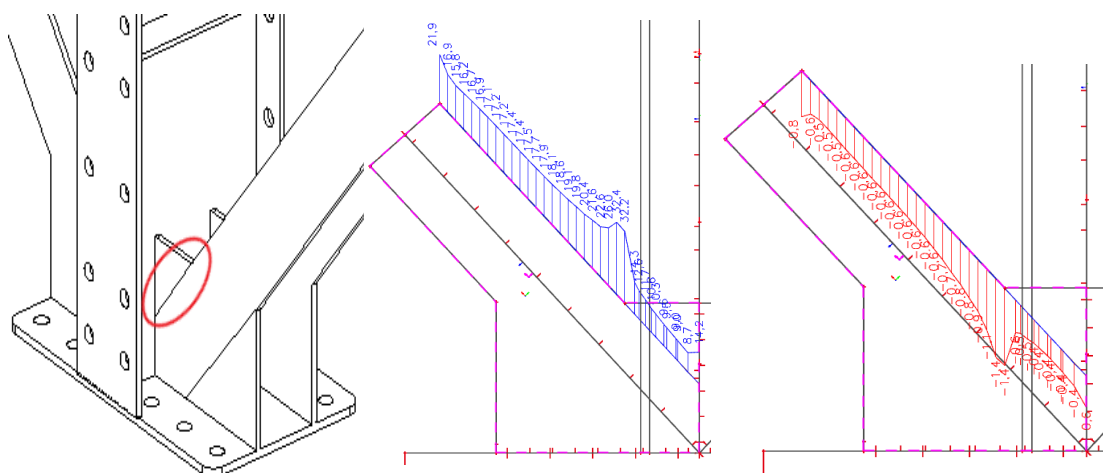
Posouzení mezního stavu únavy ocelové konstrukce ŽM16 dle ČSN 1993 -2

Zatížení: Únavové vozidlo ($V_n = 32t$)

Označení provozu na PK: P2

Prvek	Detail 8 - Dolní styčník elementu a pásu
Prut / poloha bodu	Deskostěnový model
Popis	Šikmý svar diagonály a koutové výtzuhy

Kritická délka příčinkové čáry	$L =$	48,000 m
Součinitel účinků poškození od dopravy (dle obrázku 9.5. ČSN 1993-2)	$\lambda_1 =$	2,170
Součinitel objemu dopravy (dle tabulky 9.1. ČSN 1993-2)	$\lambda_2 =$	0,678
Celkový počet nákladních vozidel za rok	$N_{OBS} =$	$0,75 \times 10^6$
Průměrná celková hmotnost nákladních vozidel	$Q_{m1} =$	300 kN
Součinitel návrhové životnosti mostu (pro 25 let)	$\lambda_3 =$	0,871
Součinitel vlivu dopravy v dalších jízdách pruzích (pro jeden pruh těžkých vozidel)	$\lambda_4 =$	1,000
Výsledný součinitel ekvivalentního poškození	$\lambda = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 =$	1,281
Součinitel únavového zatížení	$\gamma_{Ff} =$	1,000
Součinitel spolehlivosti materiálu (závažné důsledky vlivem poškození - bezpečná životnost)	$\gamma_{Mf} =$	1,350
Největší hodnota součinitele λ s uvážením meze únavy (dle obrázku 9.6. ČSN 1993-2)	$\lambda_{max} =$	2,500
Základní hodnota únavové pevnosti (kategorie detailu) (dle tabulky 8.4. ČSN 1993-1-9) $r/L = 30/180 = 1/6$		71,000 MPa
Rozkmit napětí od zatěžovacího modelu 3 pro únavu	$\Delta\sigma_p =$	32,100 MPa
Ekvivalentní rozkmit napětí	$\Delta\sigma_E =$	41,135 MPa
Návrhová hodnota únavové pevnosti	$\Delta\sigma_c =$	52,593 MPa
Využití vlákna průřezu na únavu		78,2 %



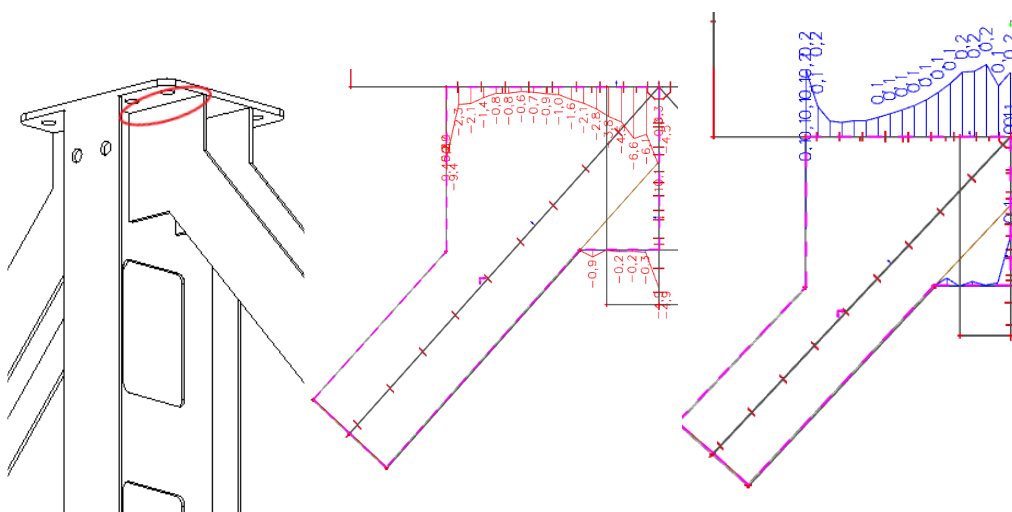
Posouzení mezního stavu únavy ocelové konstrukce ŽM16 dle ČSN 1993 -2

Zatížení: Únavové vozidlo ($V_n = 32t$)

Označení provozu na PK: P2

Prvek	Detail 9 - Horní styčník elementu a pásu
Prut / poloha bodu	Deskostěnový model
Popis	Svar diagonály a koutové výztuhy

Kritická délka příčinkové čáry	$L =$	48,000 m
Součinitel účinků poškození od dopravy (dle obrázku 9.5. ČSN 1993-2)	$\lambda_1 =$	2,170
Součinitel objemu dopravy (dle tabulky 9.1. ČSN 1993-2)	$\lambda_2 =$	0,678
Celkový počet nákladních vozidel za rok	$N_{OBS} =$	$0,75 \times 10^6$
Průměrná celková hmotnost nákladních vozidel	$Q_{m1} =$	300 kN
Součinitel nvrhové životnosti mostu (pro 25 let)	$\lambda_3 =$	0,871
Součinitel vlivu dopravy v dalších jízdních pružích (pro jeden pruh těžkých vozidel)	$\lambda_4 =$	1,000
Výsledný součinitel ekvivalentního poškození	$\lambda = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 =$	1,281
Součinitel únavového zatížení	$\gamma_{FF} =$	1,000
Součinitel spolehlivosti materiálu (závažné důsledky vlivem poškození - bezpečná životnost)	$\gamma_{Mf} =$	1,350
Největší hodnota součinitele λ s uvažáním meze únavy (dle obrázku 9.6. ČSN 1993-2)	$\lambda_{max} =$	2,500
Základní hodnota únavové pevnosti (kategorie detailu) (dle tabulky 8.4. ČSN 1993-1-9)		80,000 MPa
Rozkmit napětí od zatěžovacího modelu 3 pro únavu	$\Delta\sigma_p =$	10,300 MPa
Ekvivalentní rozkmit napětí	$\Delta\sigma_E =$	13,199 MPa
Návrhová hodnota únavové pevnosti	$\Delta\sigma_c =$	59,259 MPa
Využití vlákna průřezu na únavu		22,3 %



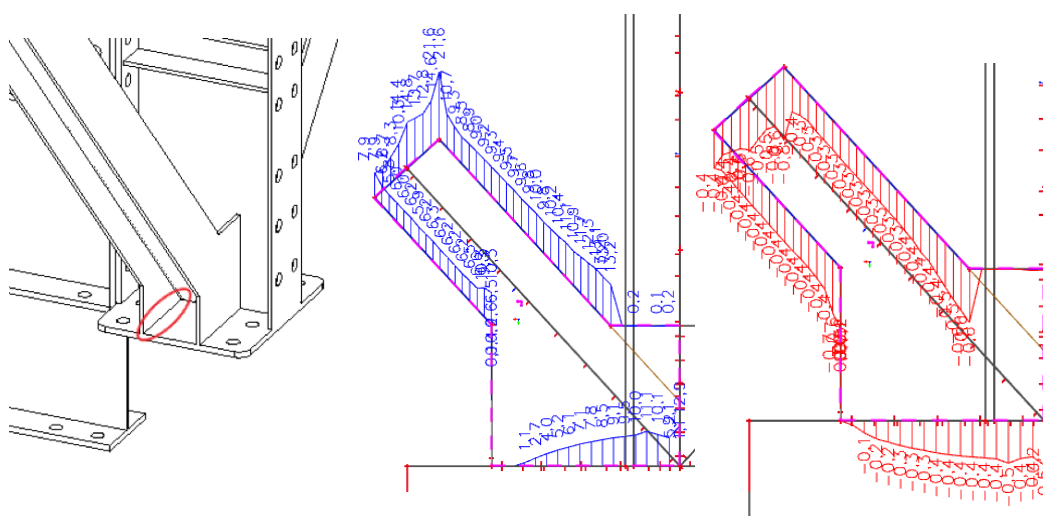
Posouzení mezního stavu únavy ocelové konstrukce ŽM16 dle ČSN 1993 -2

Zatížení: Únavové vozidlo ($V_n = 32t$)

Označení provozu na PK: P2

Prvek	Detail 10 - Dolní styčník elementu a pásu
Prut / poloha bodu	Deskostěnový model
Popis	Horizontální svar diagonály a styčnickového plechu

Kritická délka příčinkové čáry	$L =$	48,000 m
Součinitel účinků poškození od dopravy (dle obrázku 9.5. ČSN 1993-2)	$\lambda_1 =$	2,170
Součinitel objemu dopravy (dle tabulky 9.1. ČSN 1993-2)	$\lambda_2 =$	0,678
Celkový počet nákladních vozidel za rok	$N_{OBS} =$	$0,75 \times 10^6$
Průměrná celková hmotnost nákladních vozidel	$Q_{m1} =$	300 kN
Součinitel návrhové životnosti mostu (pro 25 let)	$\lambda_3 =$	0,871
Součinitel vlivu dopravy v dalších jízdách pruzích (pro jeden pruh těžkých vozidel)	$\lambda_4 =$	1,000
Výsledný součinitel ekvivalentního poškození	$\lambda = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 =$	1,281
Součinitel únavového zatížení	$\gamma_{FF} =$	1,000
Součinitel spolehlivosti materiálů (závažné důsledky vlivem poškození - bezpečná životnost)	$\gamma_{Mf} =$	1,350
Největší hodnota součinitele λ s uvážením meze únavy (dle obrázku 9.6. ČSN 1993-2)	$\lambda_{max} =$	2,500
Základní hodnota únavové pevnosti (kategorie detailu) (dle tabulky 8.4. ČSN 1993-1-9)		80,000 MPa
Rozkmit napětí od zatěžovacího modelu 3 pro únavu	$\Delta\sigma_p =$	11,600 MPa
Ekvivalentní rozkmit napětí	$\Delta\sigma_E =$	14,865 MPa
Návrhová hodnota únavové pevnosti	$\Delta\sigma_c =$	59,259 MPa
Využití vlákna průřezu na únavu		25,1 %



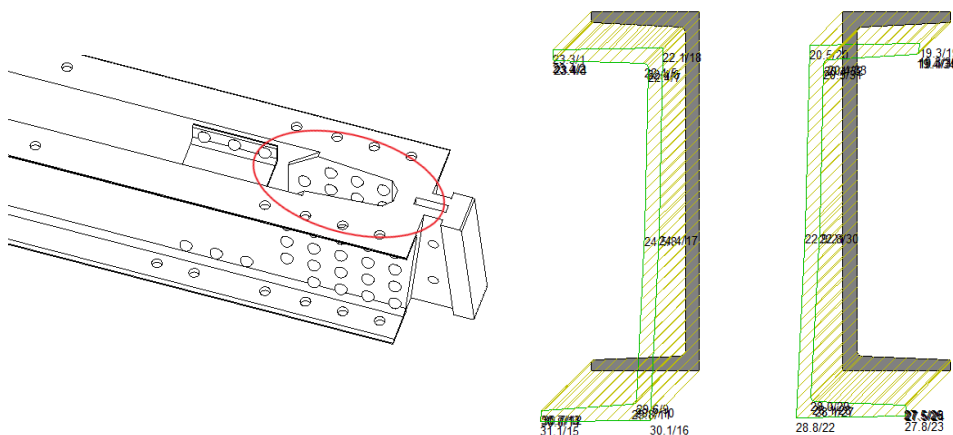
Posouzení mezního stavu únavy ocelové konstrukce ŽM16 dle ČSN 1993 -2

Zatížení: Únavové vozidlo ($V_n = 32t$)

Označení provozu na PK: P2

Prvek	Detail 11 - Dolní pás
Prut / poloha bodu	B972; 0,000 m
Popis	Nýtový spoj mezi nosníkem a "zámkem"

Kritická délka příčinkové čáry	$L =$	48,000 m
Součinitel účinků poškození od dopravy (dle obrázku 9.5. ČSN 1993-2)	$\lambda_1 =$	2,170
Součinitel objemu dopravy (dle tabulky 9.1. ČSN 1993-2)	$\lambda_2 =$	0,678
Celkový počet nákladních vozidel za rok	$N_{OBS} =$	$0,75 \times 10^6$
Průměrná celková hmotnost nákladních vozidel	$Q_{m1} =$	300 kN
Součinitel návrhové životnosti mostu (pro 25 let)	$\lambda_3 =$	0,871
Součinitel vlivu dopravy v dalších jízdních pružích (pro jeden pruh těžkých vozidel)	$\lambda_4 =$	1,000
Výsledný součinitel ekvivalentního poškození	$\lambda = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 =$	1,281
Součinitel únavového zatížení	$\gamma_{FF} =$	1,000
Součinitel spolehlivosti materiálu (závažné důsledky vlivem poškození - bezpečná životnost)	$\gamma_{Mf} =$	1,350
Největší hodnota součinitele λ s uvážením meze únavy (dle obrázku 9.6. ČSN 1993-2)	$\lambda_{max} =$	2,000
Základní hodnota únavové pevnosti (kategorie detailu) (dle tabulky A.6. SŽ S5/1)		71,000 MPa
Rozkmit napětí od zatěžovacího modelu 3 pro únavu	$\Delta\sigma_p =$	30,100 MPa
Ekvivalentní rozkmit napětí	$\Delta\sigma_E =$	38,572 MPa
Návrhová hodnota únavové pevnosti	$\Delta\sigma_c =$	52,593 MPa
Využití vlákna průřezu na únavu		73,3 %



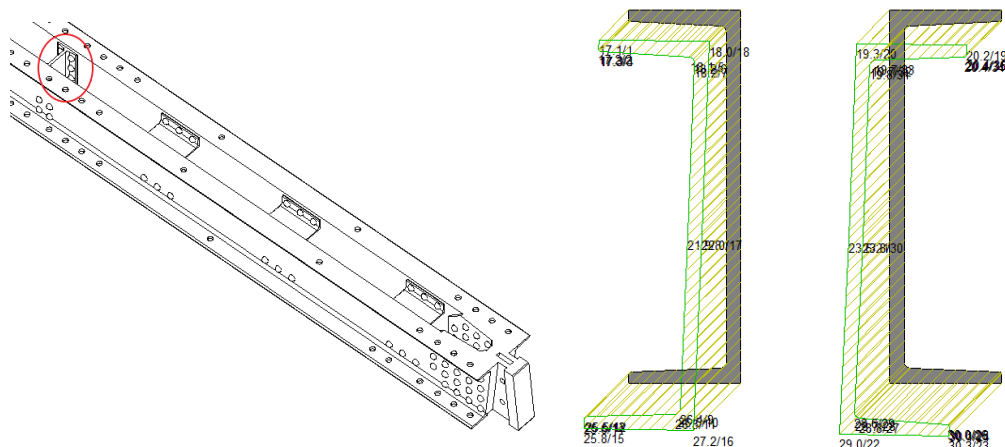
Posouzení mezního stavu únavy ocelové konstrukce ŽM16 dle ČSN 1993 -2

Zatížení: Únavové vozidlo ($V_n = 32t$)

Označení provozu na PK: P2

Prvek	Detail 12 - Dolní pás
Prut / poloha bodu	B63; 1,000 m
Popis	Příhradová spojka

Kritická délka příčinkové čáry	$L =$	48,000 m
Součinitel účinků poškození od dopravy (dle obrázku 9.5. ČSN 1993-2)	$\lambda_1 =$	2,170
Součinitel objemu dopravy (dle tabulky 9.1. ČSN 1993-2)	$\lambda_2 =$	0,678
Celkový počet nákladních vozidel za rok	$N_{OBS} =$	$0,75 \times 10^6$
Průměrná celková hmotnost nákladních vozidel	$Q_{m1} =$	300 kN
Součinitel návrhové životnosti mostu (pro 25 let)	$\lambda_3 =$	0,871
Součinitel vlivu dopravy v dalších jízdách pružích (pro jeden pruh těžkých vozidel)	$\lambda_4 =$	1,000
Výsledný součinitel ekvivalentního poškození	$\lambda = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 =$	1,281
Součinitel únavového zatížení	$\gamma_{Ff} =$	1,000
Součinitel spolehlivosti materiálu (závažné důsledky vlivem poškození - bezpečná životnost)	$\gamma_{Mf} =$	1,350
Největší hodnota součinitele λ s uvážením meze únavy (dle obrázku 9.6. ČSN 1993-2)	$\lambda_{max} =$	2,000
Základní hodnota únavové pevnosti (kategorie detailu) (dle tabulky A.6. SŽ S5/1)		85,000 MPa
Rozkmit napětí od zatěžovacího modelu 3 pro únavu	$\Delta\sigma_p =$	29,000 MPa
Ekvivalentní rozkmit napětí	$\Delta\sigma_E =$	37,163 MPa
Návrhová hodnota únavové pevnosti	$\Delta\sigma_c =$	62,963 MPa
Využití vlákna průřezu na únavu		59,0 %



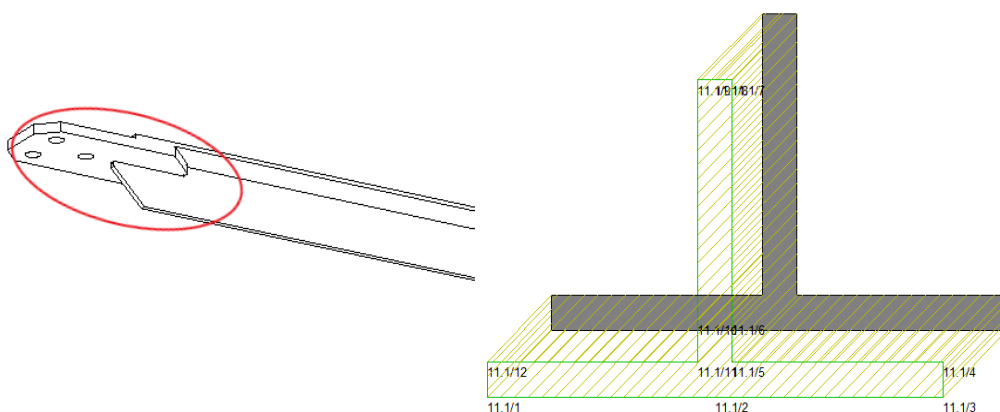
Posouzení mezního stavu únavy ocelové konstrukce ŽM16 dle ČSN 1993 -2

Zatížení: Únavové vozidlo ($V_n = 32t$)

Označení provozu na PK: P2

Prvek	Detail 13 - Ztužidlo
Prut / poloha bodu	B972; 0,000 m
Popis	Přivařený přípojný plech k profilu ztužidla

Kritická délka příčinkové čáry	$L =$	48,000 m
Součinitel účinků poškození od dopravy (dle obrázku 9.5. ČSN 1993-2)	$\lambda_1 =$	2,170
Součinitel objemu dopravy (dle tabulky 9.1. ČSN 1993-2)	$\lambda_2 =$	0,678
Celkový počet nákladních vozidel za rok	$N_{OBS} =$	$0,75 \times 10^6$
Průměrná celková hmotnost nákladních vozidel	$Q_{m1} =$	300 kN
Součinitel nvrhové životnosti mostu (pro 25 let)	$\lambda_3 =$	0,871
Součinitel vlivu dopravy v dalších jízdních pružích (pro jeden pruh těžkých vozidel)	$\lambda_4 =$	1,000
Výsledný součinitel ekvivalentního poškození	$\lambda = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 =$	1,281
Součinitel únavového zatížení	$\gamma_{Ff} =$	1,000
Součinitel spolehlivosti materiálu (mírné důsledky vlivem poškození - bezpečná životnost)	$\gamma_{Mf} =$	1,150
Největší hodnota součinitele λ s uvážením meze únavy (dle obrázku 9.6. ČSN 1993-2)	$\lambda_{max} =$	2,500
Základní hodnota únavové pevnosti (kategorie detailu) (dle tabulky 8.4. ČSN 1993-1-9)		71,000 MPa
Rozkmit napětí od zatěžovacího modelu 3 pro únavu	$\Delta\sigma_p =$	11,100 MPa
Ekvivalentní rozkmit napětí	$\Delta\sigma_E =$	14,224 MPa
Návrhová hodnota únavové pevnosti	$\Delta\sigma_c =$	61,739 MPa
Využití vlákna průřezu na únavu		23,0 %



8.5.3 Statický výpočet – zatěžovací Model 3 na únavu

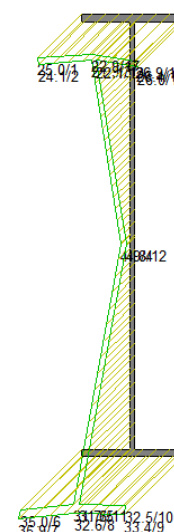
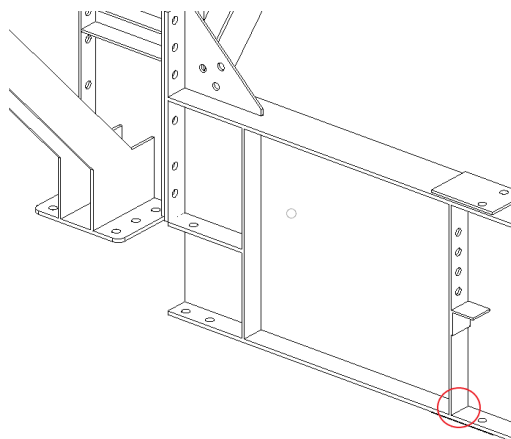
Posouzení mezního stavu únavy ocelové konstrukce ŽM16 dle ČSN 1993 -2

Zatížení: Zatěžovací model 3 na únavu

MODEL 3

Prvek	Detail 1 - Koncový příčník
Prut / poloha bodu	B1185; 0,993 m
Popis	Spodní pásnice - svislá výztuha

Kritická délka příčinkové čáry	$L =$	5,000 m
Součinitel účinků poškození od dopravy (dle obrázku 9.5. ČSN 1993-2)	$\lambda_1 =$	2,000
Součinitel objemu dopravy (dle tabulky 9.1. ČSN 1993-2)	$\lambda_2 =$	0,678
Celkový počet nákladních vozidel za rok	$N_{OBS} =$	$0,75 \times 10^6$
Průměrná celková hmotnost nákladních vozidel	$Q_{m1} =$	300 kN
Součinitel návrhové životnosti mostu (pro 25 let)	$\lambda_3 =$	0,871
Součinitel vlivu dopravy v dalších jízdnicích (pro jeden pruh těžkých vozidel)	$\lambda_4 =$	1,000
Výsledný součinitel ekvivalentního poškození	$\lambda = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 =$	1,181
Součinitel únavového zatížení	$\gamma_{FF} =$	1,000
Součinitel spolehlivosti materiálu (mírné důsledky vlivem poškození - bezpečná životnost)	$\gamma_{Mf} =$	1,150
Největší hodnota součinitele λ s uvažováním meze únavy (dle obrázku 9.6. ČSN 1993-2)	$\lambda_{max} =$	1,800
Základní hodnota únavové pevnosti (kategorie detailu) (dle tabulky 8.4. ČSN 1993-1-9)		80,000 MPa
Rozkmit napětí od zatěžovacího modelu 3 pro únavu	$\Delta\sigma_p =$	35,00 MPa
Ekvivalentní rozkmit napětí	$\Delta\sigma_E =$	41,338 MPa
Návrhová hodnota únavové pevnosti	$\Delta\sigma_c =$	69,565 MPa
Využití vlákna průřezu na únavu		59,4 %



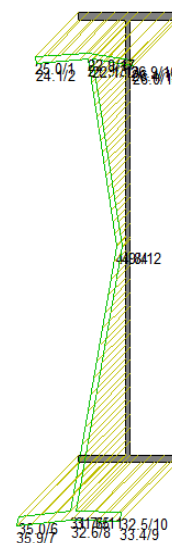
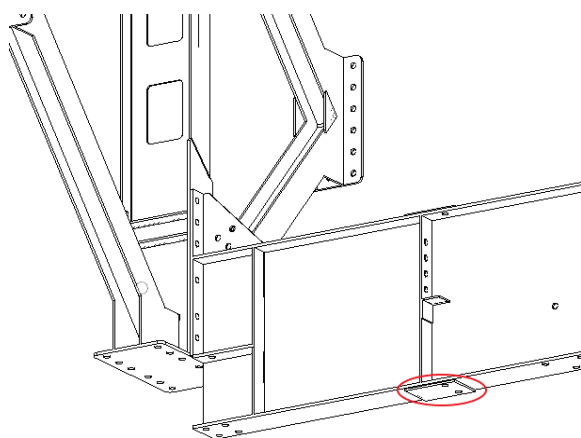
Posouzení mezního stavu únavy ocelové konstrukce ŽM16 dle ČSN 1993 -2

Zatížení: Zatěžovací model 3 na únavu

MODEL 3

Prvek	Detail 2 - Koncový příčník
Prut / poloha bodu	B1185; 0,993 m
Popis	Spodní pásnice - plech pro připojení podélníku

Kritická délka příčinkové čáry	$L =$	5,000 m
Součinitel účinků poškození od dopravy (dle obrázku 9.5. ČSN 1993-2)	$\lambda_1 =$	2,000
Součinitel objemu dopravy (dle tabulky 9.1. ČSN 1993-2)	$\lambda_2 =$	0,678
Celkový počet nákladních vozidel za rok	$N_{OBS} =$	$0,75 \times 10^6$
Průměrná celková hmotnost nákladních vozidel	$Q_{m1} =$	300 kN
Součinitel návrhové životnosti mostu (pro 25 let)	$\lambda_3 =$	0,871
Součinitel vlivu dopravy v dalších jízdních pružích (pro jeden pruh těžkých vozidel)	$\lambda_4 =$	1,000
Výsledný součinitel ekvivalentního poškození	$\lambda = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 =$	1,181
Součinitel únavového zatížení	$\gamma_{FF} =$	1,000
Součinitel spolehlivosti materiálů (mírné důsledky vlivem poškození - bezpečná životnost)	$\gamma_{Mf} =$	1,150
Největší hodnota součinitele λ s uvážením meze únavy (dle obrázku 9.6. ČSN 1993-2)	$\lambda_{max} =$	1,800
Základní hodnota únavové pevnosti (kategorie detailu) (dle tabulky 8.4. ČSN 1993-1-9)		56,000 MPa
Rozkmit napětí od zatěžovacího modelu 3 pro únavu	$\Delta\sigma_p =$	35,900 MPa
Ekvivalentní rozkmit napětí	$\Delta\sigma_E =$	42,401 MPa
Návrhová hodnota únavové pevnosti	$\Delta\sigma_c =$	48,696 MPa
Využití vlákna průřezu na únavu		87,1 %



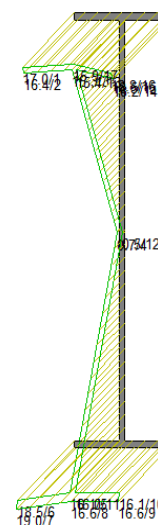
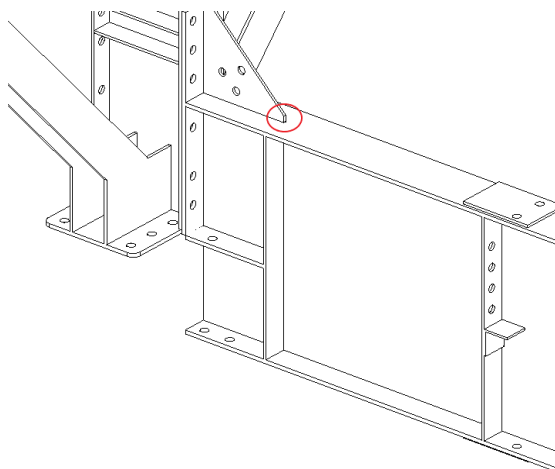
Posouzení mezního stavu únavy ocelové konstrukce ŽM16 dle ČSN 1993 -2

Zatížení: Zatěžovací model 3 na únavu

MODEL 3

Prvek	Detail 3 - Koncový příčnick
Prut / poloha bodu	B1185; 0,000 m
Popis	Konec koutové výztuhy - horní pásnice

Kritická délka příčinkové čáry	$L =$	5,000 m
Součinitel účinků poškození od dopravy (dle obrázku 9.5. ČSN 1993-2)	$\lambda_1 =$	2,000
Součinitel objemu dopravy (dle tabulky 9.1. ČSN 1993-2)	$\lambda_2 =$	0,678
Celkový počet nákladních vozidel za rok	$N_{OBS} =$	$0,75 \times 10^6$
Průměrná celková hmotnost nákladních vozidel	$Q_{m1} =$	300 kN
Součinitel návrhové životnosti mostu (pro 25 let)	$\lambda_3 =$	0,871
Součinitel vlivu dopravy v dalších jízdních pružích (pro jeden pruh těžkých vozidel)	$\lambda_4 =$	1,000
Výsledný součinitel ekvivalentního poškození	$\lambda = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 =$	1,181
Součinitel únavového zatížení	$\gamma_{Fr} =$	1,000
Součinitel spolehlivosti materiálu (mírné důsledky vlivem poškození - bezpečná životnost)	$\gamma_{Mf} =$	1,150
Největší hodnota součinitele λ s uvážením meze únavy (dle obrázku 9.6. ČSN 1993-2)	$\lambda_{max} =$	1,800
Základní hodnota únavové pevnosti (kategorie detailu) (dle tabulky 8.4. ČSN 1993-1-9)		56,000 MPa
Rozkmit napětí od zatěžovacího modelu 3 pro únavu	$\Delta\sigma_p =$	15,900 MPa
Ekvivalentní rozkmit napětí	$\Delta\sigma_E =$	18,779 MPa
Návrhová hodnota únavové pevnosti	$\Delta\sigma_c =$	48,696 MPa
Využití vlákna průřezu na únavu		38,6 %



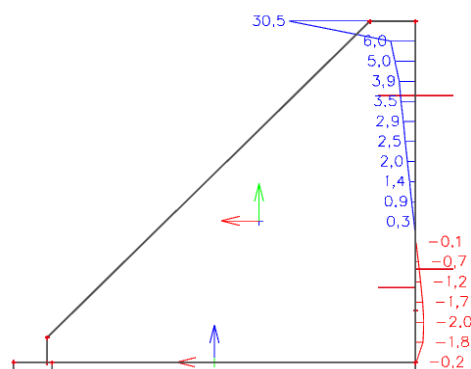
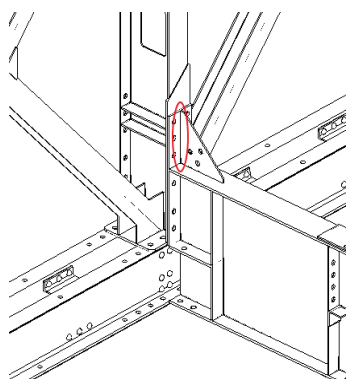
Posouzení mezního stavu únavy ocelové konstrukce ŽM16 dle ČSN 1993 -2

Zatížení: Zatěžovací model 3 na únavu

MODEL 3

Prvek	Detail 4 - Příčnick
Prut / poloha bodu	Deskostěnový model
Popis	Svislá část koutové výztuhy - čelní deska

Kritická délka příčinkové čáry	$L =$	13,000 m
Součinitel účinků poškození od dopravy (dle obrázku 9.5. ČSN 1993-2)	$\lambda_1 =$	2,520
Součinitel objemu dopravy (dle tabulky 9.1. ČSN 1993-2)	$\lambda_2 =$	0,678
Celkový počet nákladních vozidel za rok	$N_{OBS} =$	$0,75 \times 10^6$
Průměrná celková hmotnost nákladních vozidel	$Q_{m1} =$	300 kN
Součinitel návrhové životnosti mostu (pro 25 let)	$\lambda_3 =$	0,871
Součinitel vlivu dopravy v dalších jízdách pružích (pro jeden pruh těžkých vozidel)	$\lambda_4 =$	1,000
Výsledný součinitel ekvivalentního poškození	$\lambda = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 =$	1,488
Součinitel únavového zatížení	$\gamma_{FF} =$	1,000
Součinitel spolehlivosti materiálu (mírné důsledky vlivem poškození - bezpečná životnost)	$\gamma_{Mf} =$	1,150
Největší hodnota součinitele λ s uvážením meze únavy (dle obrázku 9.6. ČSN 1993-2)	$\lambda_{max} =$	1,800
Základní hodnota únavové pevnosti (kategorie detailu) (dle tabulky 8.5. ČSN 1993-1-9) $l < 50$ mm		80,000 MPa
Rozkmit napětí od zatěžovacího modelu 3 pro únavu	$\Delta\sigma_p =$	30,500 MPa
Ekvivalentní rozkmit napětí	$\Delta\sigma_E =$	45,389 MPa
Návrhová hodnota únavové pevnosti	$\Delta\sigma_c =$	69,565 MPa
Využití vlákna průřezu na únavu		65,2 %



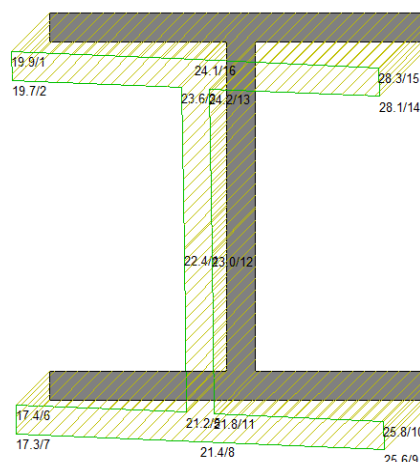
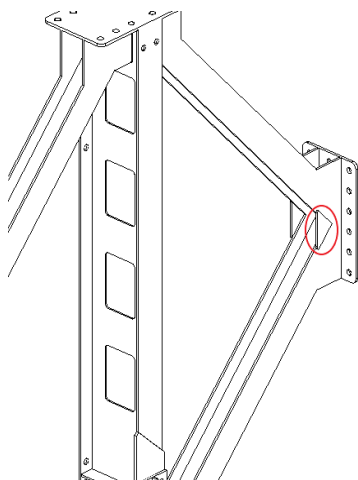
Posouzení mezního stavu únavy ocelové konstrukce ŽM16 dle ČSN 1993 -2

Zatížení: Zatěžovací model 3 na únavu

MODEL 3

Prvek	Detail 5 - Diagonála elementu
Prut / poloha bodu	B1876; 0,276 m
Popis	Spoj diagonál - výztužný plech

Kritická délka příčinkové čáry	$L =$	48,000 m
Součinitel účinků poškození od dopravy (dle obrázku 9.5. ČSN 1993-2)	$\lambda_1 =$	2,170
Součinitel objemu dopravy (dle tabulky 9.1. ČSN 1993-2)	$\lambda_2 =$	0,678
Celkový počet nákladních vozidel za rok	$N_{OBS} =$	$0,75 \times 10^6$
Průměrná celková hmotnost nákladních vozidel	$Q_{m1} =$	300 kN
Součinitel návrhové životnosti mostu (pro 25 let)	$\lambda_3 =$	0,871
Součinitel vlivu dopravy v dalších jízdách pružích (pro jeden pruh těžkých vozidel)	$\lambda_4 =$	1,000
Výsledný součinitel ekvivalentního poškození	$\lambda = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 =$	1,281
Součinitel únavového zatížení	$\gamma_{FF} =$	1,000
Součinitel spolehlivosti materiálu (závažné důsledky vlivem poškození - bezpečná životnost)	$\gamma_{Mf} =$	1,350
Největší hodnota součinitele λ s uvážením meze únavy (dle obrázku 9.6. ČSN 1993-2)	$\lambda_{max} =$	2,500
Základní hodnota únavové pevnosti (kategorie detailu) (dle tabulky 8.4. ČSN 1993-1-9)		80,000 MPa
Rozkmit napětí od zatěžovacího modelu 3 pro únavu	$\Delta\sigma_p =$	28,300 MPa
Ekvivalentní rozkmit napětí	$\Delta\sigma_E =$	36,266 MPa
Návrhová hodnota únavové pevnosti	$\Delta\sigma_c =$	59,259 MPa
Využití vlákna průřezu na únavu		61,2 %



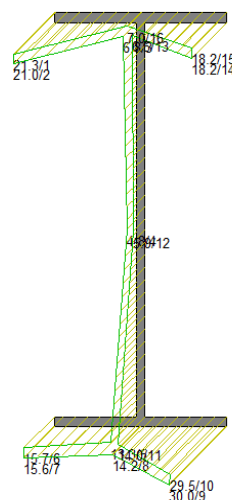
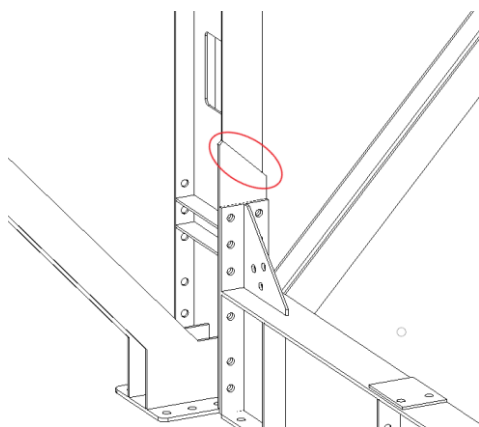
Posouzení mezního stavu únavy ocelové konstrukce ŽM16 dle ČSN 1993 -2

Zatížení: Zatěžovací model 3 na únavu

MODEL 3

Prvek	Detail 6 - Svislice elementu - v poli
Prut / poloha bodu	B137; 0,000 m
Popis	Přechod rozšířené pásnice

Kritická délka příčinkové čáry	$L =$	10,000 m
Součinitel účinků poškození od dopravy (dle obrázku 9.5. ČSN 1993-2)	$\lambda_1 =$	2,550
Součinitel objemu dopravy (dle tabulky 9.1. ČSN 1993-2)	$\lambda_2 =$	0,678
Celkový počet nákladních vozidel za rok	$N_{OBS} =$	$0,75 \times 10^6$
Průměrná celková hmotnost nákladních vozidel	$Q_{m1} =$	300 kN
Součinitel nvrhové životnosti mostu (pro 25 let)	$\lambda_3 =$	0,871
Součinitel vlivu dopravy v dalších jízdách pružích (pro jeden pruh těžkých vozidel)	$\lambda_4 =$	1,000
Výsledný součinitel ekvivalentního poškození	$\lambda = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 =$	1,506
Součinitel únavového zatížení	$\gamma_{Fr} =$	1,000
Součinitel spolehlivosti materiálu (závažné důsledky vlivem poškození - bezpečná životnost)	$\gamma_{Mf} =$	1,350
Největší hodnota součinitele λ s uvážením meze únavy (dle obrázku 9.6. ČSN 1993-2)	$\lambda_{max} =$	2,500
Základní hodnota únavové pevnosti (kategorie detailu) (dle tabulky 8.4. ČSN 1993-1-9)		71,000 MPa
Rozkmit napětí od zatěžovacího modelu 3 pro únavu	$\Delta\sigma_p =$	30,000 MPa
Ekvivalentní rozkmit napětí	$\Delta\sigma_E =$	45,176 MPa
Návrhová hodnota únavové pevnosti	$\Delta\sigma_c =$	52,593 MPa
Využití vlákna průřezu na únavu		85,9 %



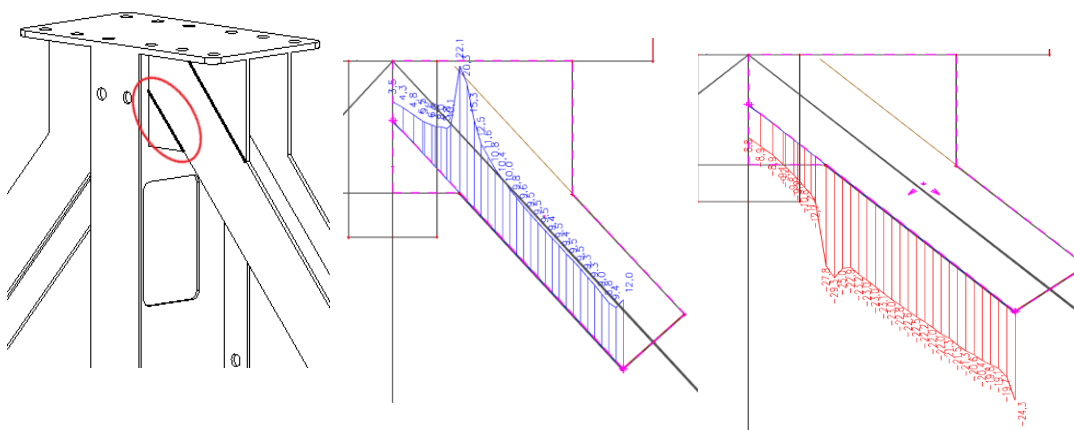
Posouzení mezního stavu únavy ocelové konstrukce ŽM16 dle ČSN 1993 -2

Zatížení: Zatěžovací model 3 na únavu

MODEL 3

Prvek	Detail 7 - Horní styčník elementu a pásu
Pрут / poloha bodu	Deskostěnový model
Popis	Svar diagonály a koutové výztuhy

Kritická délka příčinkové čáry	$L =$	48,000 m
Součinitel účinků poškození od dopravy (dle obrázku 9.5. ČSN 1993-2)	$\lambda_1 =$	2,170
Součinitel objemu dopravy (dle tabulky 9.1. ČSN 1993-2)	$\lambda_2 =$	0,678
Celkový počet nákladních vozidel za rok	$N_{OBS} =$	$0,75 \times 10^6$
Průměrná celková hmotnost nákladních vozidel	$Q_{m1} =$	300 kN
Součinitel návrhové životnosti mostu (pro 25 let)	$\lambda_3 =$	0,871
Součinitel vlivu dopravy v dalších jízdách pružích (pro jeden pruh těžkých vozidel)	$\lambda_4 =$	1,000
Výsledný součinitel ekvivalentního poškození	$\lambda = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 =$	1,281
Součinitel únavového zatížení	$\gamma_{Fr} =$	1,000
Součinitel spolehlivosti materiálu (závažné důsledky vlivem poškození - bezpečná životnost)	$\gamma_{Mf} =$	1,350
Největší hodnota součinitele λ s uvážením meze únavy (dle obrázku 9.6. ČSN 1993-2)	$\lambda_{max} =$	2,500
Základní hodnota únavové pevnosti (kategorie detailu) (dle tabulky 8.4. ČSN 1993-1-9) $r/L = 30/180 = 1/6$		71,000 MPa
Rozkmit napětí od zatěžovacího modelu 3 pro únavu	$\Delta\sigma_p =$	49,900 MPa
Ekvivalentní rozkmit napětí	$\Delta\sigma_E =$	63,945 MPa
Návrhová hodnota únavové pevnosti	$\Delta\sigma_c =$	52,593 MPa
Využití vlákna průřezu na únavu		121,6 %



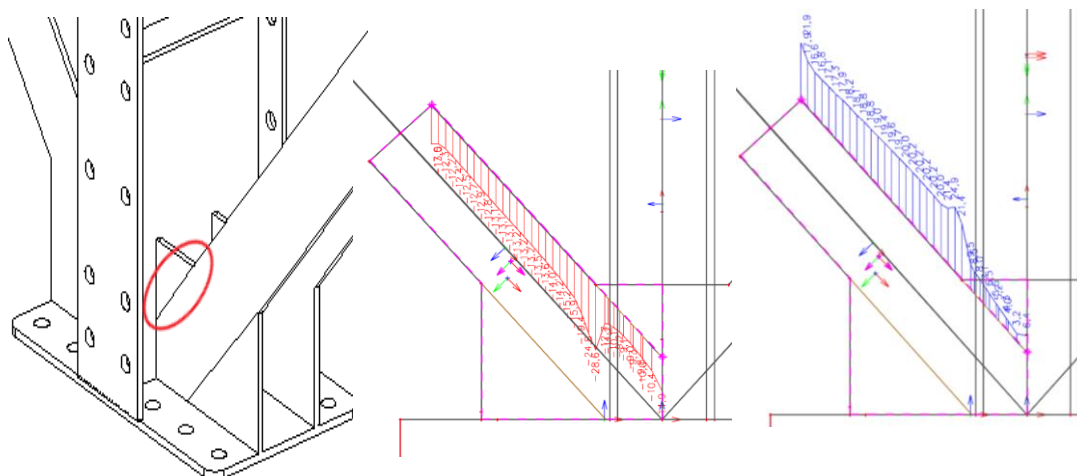
Posouzení mezního stavu únavy ocelové konstrukce ŽM16 dle ČSN 1993 -2

Zatížení: Zatěžovací model 3 na únavu

MODEL 3

Prvek	Detail 8 - Dolní styčník elementu a pásu
Prut / poloha bodu	Deskostěnový model
Popis	Šikmý svar diagonály a koutové výtzuhy

Kritická délka příčinkové čáry	$L =$	48,000 m
Součinitel účinků poškození od dopravy (dle obrázku 9.5. ČSN 1993-2)	$\lambda_1 =$	2,170
Součinitel objemu dopravy (dle tabulky 9.1. ČSN 1993-2)	$\lambda_2 =$	0,678
Celkový počet nákladních vozidel za rok	$N_{OBS} =$	0,75 x10 ⁶
Průměrná celková hmotnost nákladních vozidel	$Q_{m1} =$	300 kN
Součinitel návrhové životnosti mostu (pro 25 let)	$\lambda_3 =$	0,871
Součinitel vlivu dopravy v dalších jízdách pružích (pro jeden pruh těžkých vozidel)	$\lambda_4 =$	1,000
Výsledný součinitel ekvivalentního poškození	$\lambda = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 =$	1,281
Součinitel únavového zatížení	$\gamma_{FF} =$	1,000
Součinitel spolehlivosti materiálů (závažné důsledky vlivem poškození - bezpečná životnost)	$\gamma_{Mf} =$	1,350
Největší hodnota součinitele λ s uvážením meze únavy (dle obrázku 9.6. ČSN 1993-2)	$\lambda_{max} =$	2,500
Základní hodnota únavové pevnosti (kategorie detailu) (dle tabulky 8.4. ČSN 1993-1-9) $r/L = 30/180 = 1/6$		71,000 MPa
Rozkmit napětí od zatěžovacího modelu 3 pro únavu	$\Delta\sigma_p =$	50,000 MPa
Ekvivalentní rozkmit napětí	$\Delta\sigma_E =$	64,073 MPa
Návrhová hodnota únavové pevnosti	$\Delta\sigma_c =$	52,593 MPa
Využití vlákna průřezu na únavu		121,8 %



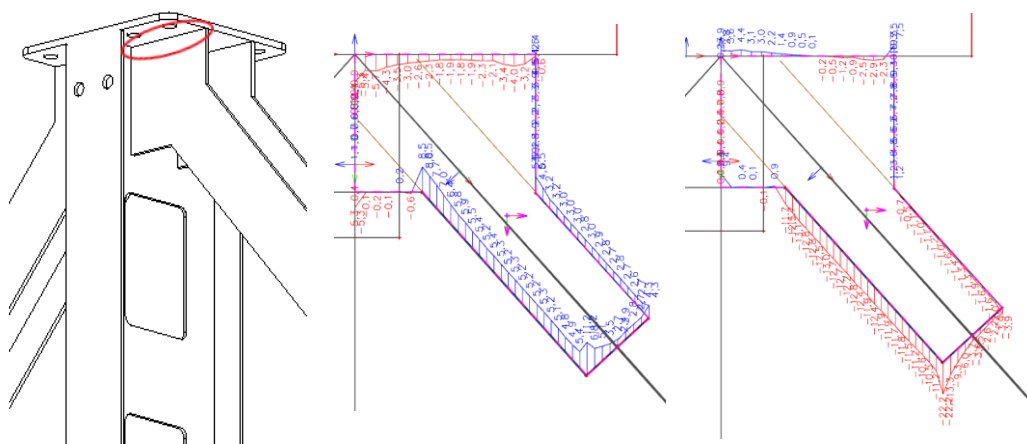
Posouzení mezního stavu únavy ocelové konstrukce ŽM16 dle ČSN 1993 -2

Zatížení: Zatěžovací model 3 na únavu

MODEL 3

Prvek	Detail 9 - Horní styčník elementu a pásu
Pruh / poloha bodu	Deskostěnový model
Popis	Svar diagonály a koutové výztuhy

Kritická délka příčinkové čáry	$L =$	48,000 m
Součinitel účinků poškození od dopravy (dle obrázku 9.5. ČSN 1993-2)	$\lambda_1 =$	2,170
Součinitel objemu dopravy (dle tabulky 9.1. ČSN 1993-2)	$\lambda_2 =$	0,678
Celkový počet nákladních vozidel za rok	$N_{OBS} =$	$0,75 \times 10^6$
Průměrná celková hmotnost nákladních vozidel	$Q_{m1} =$	300 kN
Součinitel nvrhové životnosti mostu (pro 25 let)	$\lambda_3 =$	0,871
Součinitel vlivu dopravy v dalších jízdách pruzích (pro jeden pruh těžkých vozidel)	$\lambda_4 =$	1,000
Výsledný součinitel ekvivalentního poškození	$\lambda = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 =$	1,281
Součinitel únavového zatížení	$\gamma_{FF} =$	1,000
Součinitel spolehlivosti materiálu (závažné důsledky vlivem poškození - bezpečná životnost)	$\gamma_{Mf} =$	1,350
Největší hodnota součinitele λ s uvážením meze únavy (dle obrázku 9.6. ČSN 1993-2)	$\lambda_{max} =$	2,500
Základní hodnota únavové pevnosti (kategorie detailu) (dle tabulky 8.4. ČSN 1993-1-9)		80,000 MPa
Rozkmit napětí od zatěžovacího modelu 3 pro únavu	$\Delta\sigma_p =$	13,300 MPa
Ekvivalentní rozkmit napětí	$\Delta\sigma_E =$	17,044 MPa
Návrhová hodnota únavové pevnosti	$\Delta\sigma_c =$	59,259 MPa
Využití vlákna průřezu na únavu		28,8 %



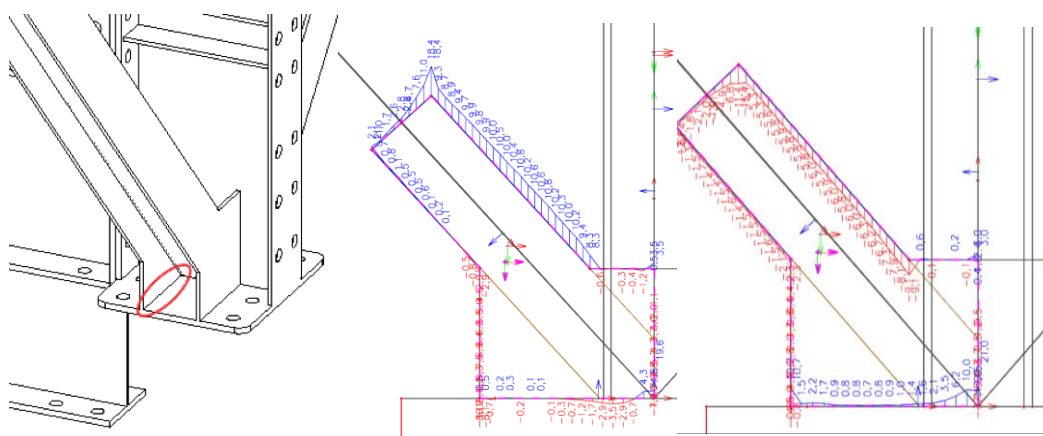
Posouzení mezního stavu únavy ocelové konstrukce ŽM16 dle ČSN 1993 -2

Zatížení: Zatěžovací model 3 na únavu

MODEL 3

Prvek	Detail 10 - Dolní styčník elementu a pásu
Prut / poloha bodu	Deskostěnový model
Popis	Horizontální svar diagonály a styčnickového plechu

Kritická délka příčinkové čáry	$L =$	48,000 m
Součinitel účinků poškození od dopravy (dle obrázku 9.5. ČSN 1993-2)	$\lambda_1 =$	2,170
Součinitel objemu dopravy (dle tabulky 9.1. ČSN 1993-2)	$\lambda_2 =$	0,678
Celkový počet nákladních vozidel za rok	$N_{OBS} =$	0,75 x10 ⁶
Průměrná celková hmotnost nákladních vozidel	$Q_{m1} =$	300 kN
Součinitel návrhové životnosti mostu (pro 25 let)	$\lambda_3 =$	0,871
Součinitel vlivu dopravy v dalších jízdách pružích (pro jeden pruh těžkých vozidel)	$\lambda_4 =$	1,000
Výsledný součinitel ekvivalentního poškození	$\lambda = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 =$	1,281
Součinitel únavového zatížení	$\gamma_{FF} =$	1,000
Součinitel spolehlivosti materiálu (závažné důsledky vlivem poškození - bezpečná životnost)	$\gamma_{Mf} =$	1,350
Největší hodnota součinitele λ s uvážením meze únavy (dle obrázku 9.6. ČSN 1993-2)	$\lambda_{max} =$	2,500
Základní hodnota únavové pevnosti (kategorie detailu) (dle tabulky 8.4. ČSN 1993-1-9)		80,000 MPa
Rozkmit napětí od zatěžovacího modelu 3 pro únavu	$\Delta\sigma_p =$	9,000 MPa
Ekvivalentní rozkmit napětí	$\Delta\sigma_E =$	11,533 MPa
Návrhová hodnota únavové pevnosti	$\Delta\sigma_c =$	59,259 MPa
Využití vlákna průřezu na únavu		19,5 %



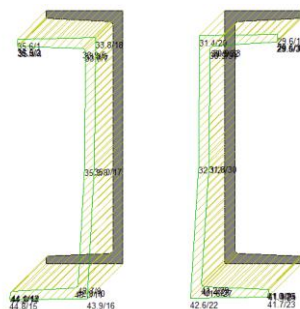
Posouzení mezního stavu únavy ocelové konstrukce ŽM16 dle ČSN 1993 -2

Zatížení: Zatěžovací model 3 na únavu

MODEL 3

Prvek	Detail 11 - Dolní pás
Prut / poloha bodu	B972; 0,000 m
Popis	Nýtový spoj mezi nosníkem a "zámkem"

Kritická délka příčinkové čáry	$L =$	48,000 m
Součinitel účinků poškození od dopravy (dle obrázku 9.5. ČSN 1993-2)	$\lambda_1 =$	2,170
Součinitel objemu dopravy (dle tabulky 9.1. ČSN 1993-2)	$\lambda_2 =$	0,678
Celkový počet nákladních vozidel za rok	$N_{OBS} =$	0,75 x10 ⁶
Průměrná celková hmotnost nákladních vozidel	$Q_{m1} =$	300 kN
Součinitel návrhové životnosti mostu (pro 25 let)	$\lambda_3 =$	0,871
Součinitel vlivu dopravy v dalších jízdních pružích (pro jeden pruh těžkých vozidel)	$\lambda_4 =$	1,000
Výsledný součinitel ekvivalentního poškození	$\lambda = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 =$	1,281
Součinitel únavového zatížení	$\gamma_{FF} =$	1,000
Součinitel spolehlivosti materiálu (závažné důsledky vlivem poškození - bezpečná životnost)	$\gamma_{Mf} =$	1,350
Největší hodnota součinitele λ s uvážením meze únavy (dle obrázku 9.6. ČSN 1993-2)	$\lambda_{max} =$	2,000
Základní hodnota únavové pevnosti (kategorie detailu) (dle tabulky A.6. SŽ S5/1)		71,000 MPa
Rozkmit napětí od zatěžovacího modelu 3 pro únavu	$\Delta\sigma_p =$	43,900 MPa
Ekvivalentní rozkmit napětí	$\Delta\sigma_E =$	56,256 MPa
Návrhová hodnota únavové pevnosti	$\Delta\sigma_c =$	52,593 MPa
Využití vlákna průřezu na únavu		107,0 %
Minimální únosnost v prokluzu na smykovou plochu nýtu (30 nýtů) (dle tabulky A.7. SŽ S5/1)		450 kN
Smyková síla v místě nýtového spoje (možno použít kategorii detailu 85 MPa)		11,7 kN
Rozkmit napětí od zatěžovacího modelu 3 pro únavu	$\Delta\sigma_p =$	43,900 MPa
Ekvivalentní rozkmit napětí	$\Delta\sigma_E =$	56,256 MPa
Návrhová hodnota únavové pevnosti	$\Delta\sigma_c =$	62,963 MPa
Využití vlákna průřezu na únavu		89,3 %



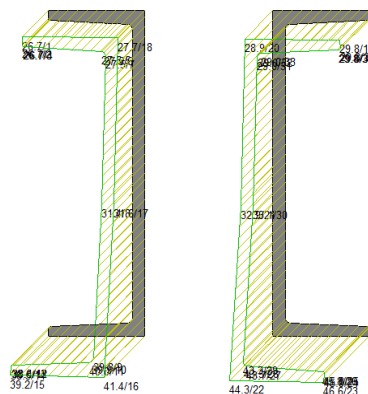
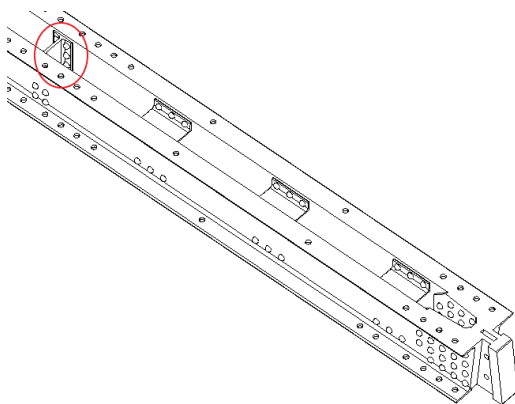
Posouzení mezního stavu únavy ocelové konstrukce ŽM16 dle ČSN 1993 -2

Zatížení: Zatěžovací model 3 na únavu

MODEL 3

Prvek	Detail 12 - Dolní pás
Prut / poloha bodu	B63; 1,000 m
Popis	Příhradová spojka

Kritická délka příčinkové čáry	$L =$	48,000 m
Součinitel účinků poškození od dopravy (dle obrázku 9.5. ČSN 1993-2)	$\lambda_1 =$	2,170
Součinitel objemu dopravy (dle tabulky 9.1. ČSN 1993-2)	$\lambda_2 =$	0,678
Celkový počet nákladních vozidel za rok	$N_{OBS} =$	$0,75 \times 10^6$
Průměrná celková hmotnost nákladních vozidel	$Q_{m1} =$	300 kN
Součinitel návrhové životnosti mostu (pro 25 let)	$\lambda_3 =$	0,871
Součinitel vlivu dopravy v dalších jízdách pružích (pro jeden pruh těžkých vozidel)	$\lambda_4 =$	1,000
Výsledný součinitel ekvivalentního poškození	$\lambda = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 =$	1,281
Součinitel únavového zatížení	$\gamma_{FF} =$	1,000
Součinitel spolehlivosti materiálu (závažné důsledky vlivem poškození - bezpečná životnost)	$\gamma_{Mf} =$	1,350
Největší hodnota součinitele λ s uvážením meze únavy (dle obrázku 9.6. ČSN 1993-2)	$\lambda_{max} =$	2,000
Základní hodnota únavové pevnosti (kategorie detailu) (dle tabulky A.6. SŽ S5/1)		85,000 MPa
Rozkmit napětí od zatěžovacího modelu 3 pro únavu	$\Delta\sigma_p =$	44,300 MPa
Ekvivalentní rozkmit napětí	$\Delta\sigma_E =$	56,769 MPa
Návrhová hodnota únavové pevnosti	$\Delta\sigma_c =$	62,963 MPa
Využití vlákna průřezu na únavu		90,2 %



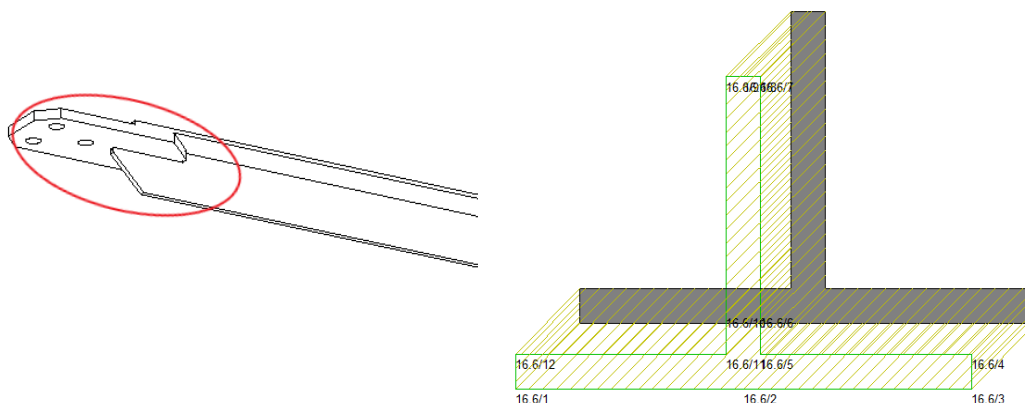
Posouzení mezního stavu únavy ocelové konstrukce ŽM16 dle ČSN 1993 -2

Zatížení: Zatěžovací model 3 na únavu

MODEL 3

Prvek	Detail 13 - Ztužidlo
Prut / poloha bodu	B972; 0,000 m
Popis	Přivařený přípojný plech k profilu ztužidla

Kritická délka příčinkové čáry	$L =$	48,000 m
Součinitel účinků poškození od dopravy (dle obrázku 9.5. ČSN 1993-2)	$\lambda_1 =$	2,170
Součinitel objemu dopravy (dle tabulky 9.1. ČSN 1993-2)	$\lambda_2 =$	0,678
Celkový počet nákladních vozidel za rok	$N_{OBS} =$	$0,75 \times 10^6$
Průměrná celková hmotnost nákladních vozidel	$Q_{m1} =$	300 kN
Součinitel nvrhové životnosti mostu (pro 25 let)	$\lambda_3 =$	0,871
Součinitel vlivu dopravy v dalších jízdách pružích (pro jeden pruh těžkých vozidel)	$\lambda_4 =$	1,000
Výsledný součinitel ekvivalentního poškození	$\lambda = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 =$	1,281
Součinitel únavového zatížení	$\gamma_{FF} =$	1,000
Součinitel spolehlivosti materiálu (mírné důsledky vlivem poškození - bezpečná životnost)	$\gamma_{Mf} =$	1,150
Největší hodnota součinitele λ s uvážením meze únavy (dle obrázku 9.6. ČSN 1993-2)	$\lambda_{max} =$	2,500
Základní hodnota únavové pevnosti (kategorie detailu) (dle tabulky 8.4. ČSN 1993-1-9)		71,000 MPa
Rozkmit napětí od zatěžovacího modelu 3 pro únavu	$\Delta\sigma_p =$	16,600 MPa
Ekvivalentní rozkmit napětí	$\Delta\sigma_E =$	21,272 MPa
Návrhová hodnota únavové pevnosti	$\Delta\sigma_c =$	61,739 MPa
Využití vlákna průřezu na únavu		34,5 %



8.5.4 Statický výpočet – zatěžovací Model 3 na únavu – spojitý nosník

K porovnání rozkmitů napětí na spojitém a prostém nosníku jsou dostačující pouze výsledky na prutovém modelu, proto budou vytvořeny posudky pouze na detailech č. 1, 2, 3, 5, 6, 11, 12 a 13. *(pozn. rozhodnutí bylo konzultováno s vedoucím diplomové práce).*

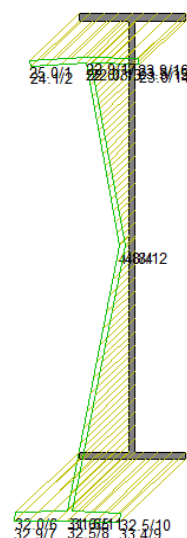
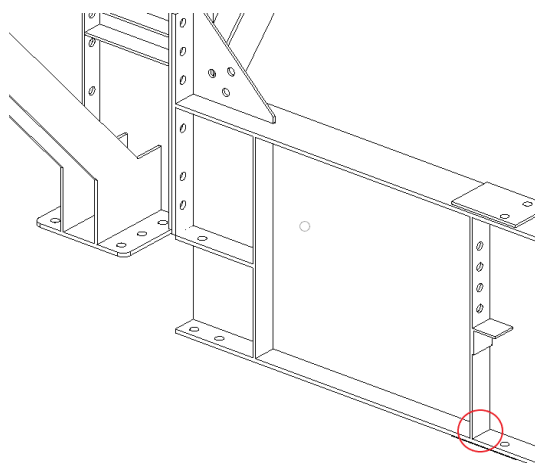
Posouzení mezního stavu únavy ocelové konstrukce ŽM16 dle ČSN 1993 -2

Zatížení: Zatěžovací model 3 na únavu

MODEL 3

Prvek	Detail 1 - Koncový příčnick
Prut / poloha bodu	B1185; 0,993 m
Popis	Spodní pásnice - příčná výztuha

Kritická délka příčinkové čáry	$L =$	5,000 m
Součinitel účinků poškození od dopravy (dle obrázku 9.5. ČSN 1993-2)	$\lambda_1 =$	2,000
Součinitel objemu dopravy (dle tabulky 9.1. ČSN 1993-2)	$\lambda_2 =$	0,678
Celkový počet nákladních vozidel za rok	$N_{OBS} =$	$0,75 \times 10^6$
Průměrná celková hmotnost nákladních vozidel	$Q_{m1} =$	300 kN
Součinitel návrhové životnosti mostu (pro 25 let)	$\lambda_3 =$	0,871
Součinitel vlivu dopravy v dalších jízdách pružích (pro jeden pruh těžkých vozidel)	$\lambda_4 =$	1,000
Výsledný součinitel ekvivalentního poškození	$\lambda = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 =$	1,181
Součinitel únavového zatížení	$\gamma_{FF} =$	1,000
Součinitel spolehlivosti materiálu (mírné důsledky vlivem poškození - bezpečná životnost)	$\gamma_{Mf} =$	1,150
Největší hodnota součinitele λ s uvažováním meze únavy (dle obrázku 9.6. ČSN 1993-2)	$\lambda_{max} =$	1,800
Základní hodnota únavové pevnosti (kategorie detailu) (dle tabulky 8.4. ČSN 1993-1-9)		80,000 MPa
Rozkmit napětí od zatěžovacího modelu 3 pro únavu	$\Delta\sigma_p =$	32,500 MPa
Ekvivalentní rozkmit napětí	$\Delta\sigma_E =$	38,385 MPa
Návrhová hodnota únavové pevnosti	$\Delta\sigma_c =$	69,565 MPa
Využití vlákna průřezu na únavu		55,2 %



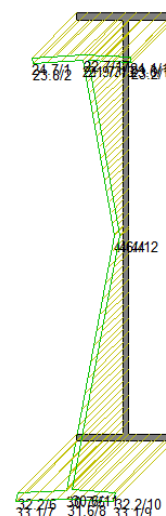
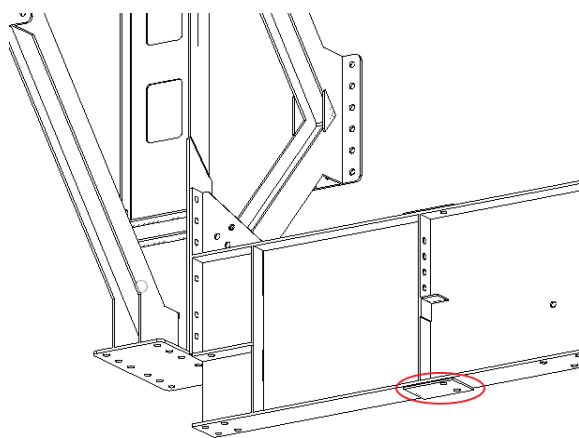
Posouzení mezního stavu únavy ocelové konstrukce ŽM16 dle ČSN 1993 -2

Zatížení: Zatěžovací model 3 na únavu

MODEL 3

Prvek	Detail 2 - Koncový příčnick
Prut / poloha bodu	B1185; 0,993 m
Popis	Spodní pásnice - plech pro připojení podélníku

Kritická délka příčinkové čáry	$L =$	5,000 m
Součinitel účinků poškození od dopravy (dle obrázku 9.5. ČSN 1993-2)	$\lambda_1 =$	2,000
Součinitel objemu dopravy (dle tabulky 9.1. ČSN 1993-2)	$\lambda_2 =$	0,678
Celkový počet nákladních vozidel za rok	$N_{OBS} =$	$0,75 \times 10^6$
Průměrná celková hmotnost nákladních vozidel	$Q_{m1} =$	300 kN
Součinitel nvrhové životnosti mostu (pro 25 let)	$\lambda_3 =$	0,871
Součinitel vlivu dopravy v dalších jízdních pružích (pro jeden pruh těžkých vozidel)	$\lambda_4 =$	1,000
Výsledný součinitel ekvivalentního poškození	$\lambda = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 =$	1,181
Součinitel únavového zatížení	$\gamma_{FF} =$	1,000
Součinitel spolehlivosti materiálu (mírné důsledky vlivem poškození - bezpečná životnost)	$\gamma_{Mf} =$	1,150
Největší hodnota součinitele λ s uvážením meze únavy (dle obrázku 9.6. ČSN 1993-2)	$\lambda_{max} =$	1,800
Základní hodnota únavové pevnosti (kategorie detailu) (dle tabulky 8.4. ČSN 1993-1-9)		56,000 MPa
Rozkmit napětí od zatěžovacího modelu 3 pro únavu	$\Delta\sigma_p =$	33,800 MPa
Ekvivalentní rozkmit napětí	$\Delta\sigma_E =$	39,920 MPa
Návrhová hodnota únavové pevnosti	$\Delta\sigma_c =$	48,696 MPa
Využití vlákna průřezu na únavu		82,0 %



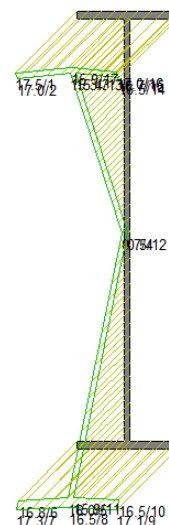
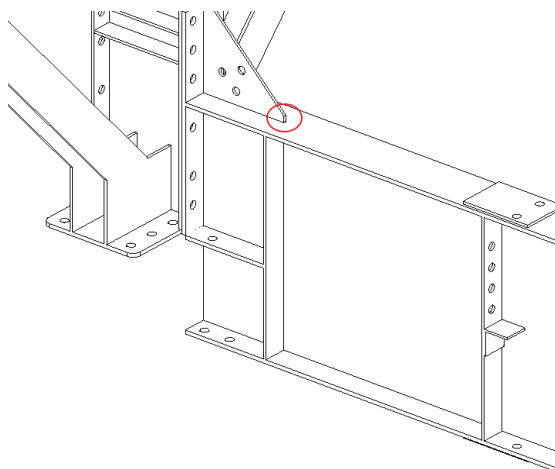
Posouzení mezního stavu únavy ocelové konstrukce ŽM16 dle ČSN 1993 -2

Zatížení: Zatěžovací model 3 na únavu

MODEL 3

Prvek	Detail 3 - Koncový příčnick
Prut / poloha bodu	B1185; 0,000 m
Popis	Konec koutové výztuhy - horní pásnice

Kritická délka příčinkové čáry	$L =$	5,000 m
Součinitel účinků poškození od dopravy (dle obrázku 9.5. ČSN 1993-2)	$\lambda_1 =$	2,000
Součinitel objemu dopravy (dle tabulky 9.1. ČSN 1993-2)	$\lambda_2 =$	0,678
Celkový počet nákladních vozidel za rok	$N_{OBS} =$	$0,75 \times 10^6$
Průměrná celková hmotnost nákladních vozidel	$Q_{m1} =$	300 kN
Součinitel návrhové životnosti mostu (pro 25 let)	$\lambda_3 =$	0,871
Součinitel vlivu dopravy v dalších jízdách pružích (pro jeden pruh těžkých vozidel)	$\lambda_4 =$	1,000
Výsledný součinitel ekvivalentního poškození	$\lambda = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 =$	1,181
Součinitel únavového zatížení	$\gamma_{FF} =$	1,000
Součinitel spolehlivosti materiálu (mírné důsledky vlivem poškození - bezpečná životnost)	$\gamma_{Mf} =$	1,150
Největší hodnota součinitele λ s uvážením meze únavy (dle obrázku 9.6. ČSN 1993-2)	$\lambda_{max} =$	1,800
Základní hodnota únavové pevnosti (kategorie detailu) (dle tabulky 8.4. ČSN 1993-1-9)		56,000 MPa
Rozkmit napětí od zatěžovacího modelu 3 pro únavu	$\Delta\sigma_p =$	16,900 MPa
Ekvivalentní rozkmit napětí	$\Delta\sigma_E =$	19,960 MPa
Návrhová hodnota únavové pevnosti	$\Delta\sigma_c =$	48,696 MPa
Využití vlákna průřezu na únavu		41,0 %



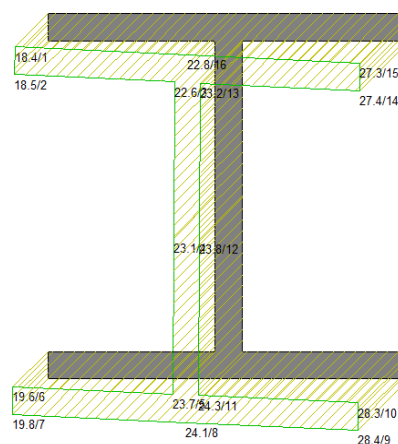
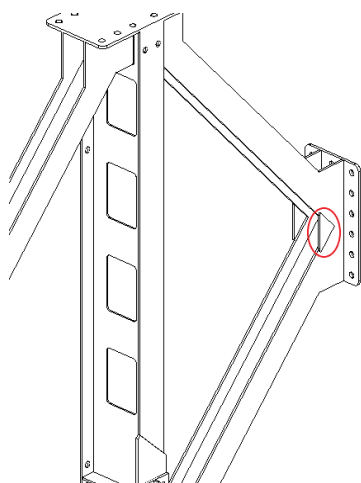
Posouzení mezního stavu únavy ocelové konstrukce ŽM16 dle ČSN 1993 -2

Zatížení: Zatěžovací model 3 na únavu

MODEL 3

Prvek	Detail 5 - Diagonála elementu
Prut / poloha bodu	B1876; 0,276 m
Popis	Spoj diagonál - výztužný plech

Kritická délka příčinkové čáry	$L =$	48,000 m
Součinitel účinků poškození od dopravy (dle obrázku 9.5. ČSN 1993-2)	$\lambda_1 =$	2,170
Součinitel objemu dopravy (dle tabulky 9.1. ČSN 1993-2)	$\lambda_2 =$	0,678
Celkový počet nákladních vozidel za rok	$N_{OBS} =$	$0,75 \times 10^6$
Průměrná celková hmotnost nákladních vozidel	$Q_{m1} =$	300 kN
Součinitel návrhové životnosti mostu (pro 25 let)	$\lambda_3 =$	0,871
Součinitel vlivu dopravy v dalších jízdách pružích (pro jeden pruh těžkých vozidel)	$\lambda_4 =$	1,000
Výsledný součinitel ekvivalentního poškození	$\lambda = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 =$	1,281
Součinitel únavového zatížení	$\gamma_{FF} =$	1,000
Součinitel spolehlivosti materiálů (závažné důsledky vlivem poškození - bezpečná životnost)	$\gamma_{Mf} =$	1,350
Největší hodnota součinitele λ s uvážením meze únavy (dle obrázku 9.6. ČSN 1993-2)	$\lambda_{max} =$	2,500
Základní hodnota únavové pevnosti (kategorie detailu) (dle tabulky 8.4. ČSN 1993-1-9)		80,000 MPa
Rozkmit napětí od zatěžovacího modelu 3 pro únavu	$\Delta\sigma_p =$	28,400 MPa
Ekvivalentní rozkmit napětí	$\Delta\sigma_E =$	36,394 MPa
Návrhová hodnota únavové pevnosti	$\Delta\sigma_c =$	59,259 MPa
Využití vlákna průřezu na únavu		61,4 %



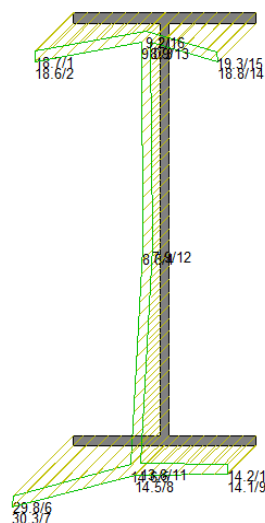
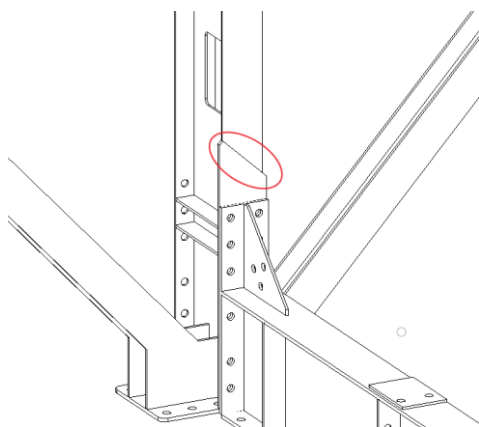
Posouzení mezního stavu únavy ocelové konstrukce ŽM16 dle ČSN 1993 -2

Zatížení: Zatěžovací model 3 na únavu

MODEL 3

Prvek	Detail 6 - Svislice elementu - v poli
Prut / poloha bodu	B137; 0,000 m
Popis	Přechod rozšířené pásnice

Kritická délka příčinkové čáry	$L =$	10,000 m
Součinitel účinků poškození od dopravy (dle obrázku 9.5. ČSN 1993-2)	$\lambda_1 =$	2,550
Součinitel objemu dopravy (dle tabulky 9.1. ČSN 1993-2)	$\lambda_2 =$	0,678
Celkový počet nákladních vozidel za rok	$N_{OBS} =$	$0,75 \times 10^6$
Průměrná celková hmotnost nákladních vozidel	$Q_{m1} =$	300 kN
Součinitel návrhové životnosti mostu (pro 25 let)	$\lambda_3 =$	0,871
Součinitel vlivu dopravy v dalších jízdách pružích (pro jeden pruh těžkých vozidel)	$\lambda_4 =$	1,000
Výsledný součinitel ekvivalentního poškození	$\lambda = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 =$	1,506
Součinitel únavového zatížení	$\gamma_{FF} =$	1,000
Součinitel spolehlivosti materiálu (závažné důsledky vlivem poškození - bezpečná životnost)	$\gamma_{Mf} =$	1,350
Největší hodnota součinitele λ s uvážením meze únavy (dle obrázku 9.6. ČSN 1993-2)	$\lambda_{max} =$	2,500
Základní hodnota únavové pevnosti (kategorie detailu) (dle tabulky 8.4. ČSN 1993-1-9)		71,000 MPa
Rozkmit napětí od zatěžovacího modelu 3 pro únavu	$\Delta\sigma_p =$	30,300 MPa
Ekvivalentní rozkmit napětí	$\Delta\sigma_E =$	45,628 MPa
Návrhová hodnota únavové pevnosti	$\Delta\sigma_c =$	52,593 MPa
Využití vlákna průřezu na únavu		86,8 %



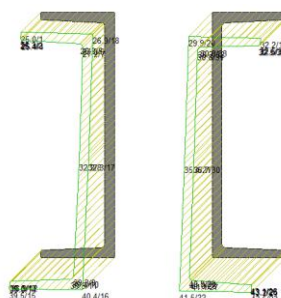
Posouzení mezního stavu únavy ocelové konstrukce ŽM16 dle ČSN 1993 -2

Zatížení: Zatěžovací model 3 na únavu

MODEL 3

Prvek	Detail 11 - Dolní pás
Prut / poloha bodu	B972; 0,000 m
Popis	Nýtový spoj mezi nosníkem a "zámkem"

Kritická délka příčinkové čáry	$L =$	48,000 m
Součinitel účinků poškození od dopravy (dle obrázku 9.5. ČSN 1993-2)	$\lambda_1 =$	2,170
Součinitel objemu dopravy (dle tabulky 9.1. ČSN 1993-2)	$\lambda_2 =$	0,678
Celkový počet nákladních vozidel za rok	$N_{OBS} =$	0,75 x10 ⁶
Průměrná celková hmotnost nákladních vozidel	$Q_{m1} =$	300 kN
Součinitel návrhové životnosti mostu (pro 25 let)	$\lambda_3 =$	0,871
Součinitel vlivu dopravy v dalších jízdách pružích (pro jeden pruh těžkých vozidel)	$\lambda_4 =$	1,000
Výsledný součinitel ekvivalentního poškození	$\lambda = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 =$	1,281
Součinitel únavového zatížení	$\gamma_{FF} =$	1,000
Součinitel spolehlivosti materiálu (závažné důsledky vlivem poškození - bezpečná životnost)	$\gamma_{Mf} =$	1,350
Největší hodnota součinitele λ s uvážením meze únavy (dle obrázku 9.6. ČSN 1993-2)	$\lambda_{max} =$	2,000
Základní hodnota únavové pevnosti (kategorie detailu) (dle tabulky A.6. SŽ S5/1)		71,000 MPa
Rozkmit napětí od zatěžovacího modelu 3 pro únavu	$\Delta\sigma_p =$	43,500 MPa
Ekvivalentní rozkmit napětí	$\Delta\sigma_E =$	55,744 MPa
Návrhová hodnota únavové pevnosti	$\Delta\sigma_c =$	52,593 MPa
Využití vlákna průřezu na únavu		106,0 %
Minimální únosnost v prokluzu na smykovou plochu nýtu (30 nýtů) (dle tabulky A.7. SŽ S5/1)		450 kN
Smyková síla v místě nýtového spoje (možno použít kategorii detailu 85 MPa)		11,7 kN
Rozkmit napětí od zatěžovacího modelu 3 pro únavu	$\Delta\sigma_p =$	43,500 MPa
Ekvivalentní rozkmit napětí	$\Delta\sigma_E =$	55,744 MPa
Návrhová hodnota únavové pevnosti	$\Delta\sigma_c =$	62,963 MPa
Využití vlákna průřezu na únavu		88,5 %



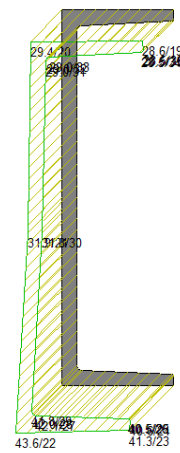
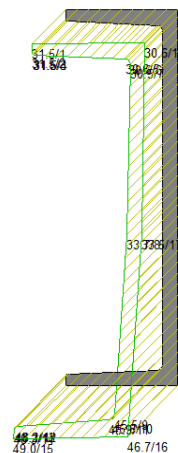
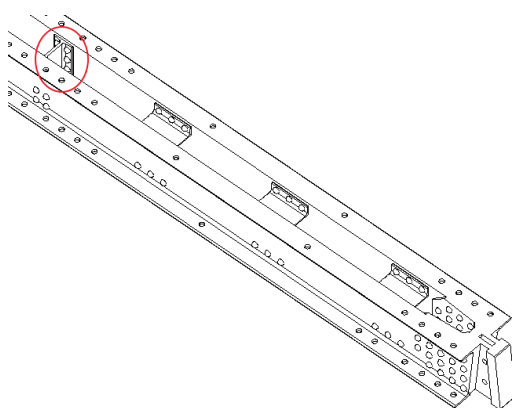
Posouzení mezního stavu únavy ocelové konstrukce ŽM16 dle ČSN 1993 -2

Zatížení: Zatěžovací model 3 na únavu

MODEL 3

Prvek	Detail 12 - Dolní pás
Prut / poloha bodu	B63; 1,000 m
Popis	Příhradová spojka

Kritická délka příčinkové čáry	$L =$	48,000 m
Součinitel účinků poškození od dopravy (dle obrázku 9.5. ČSN 1993-2)	$\lambda_1 =$	2,170
Součinitel objemu dopravy (dle tabulky 9.1. ČSN 1993-2)	$\lambda_2 =$	0,678
Celkový počet nákladních vozidel za rok	$N_{OBS} =$	$0,75 \times 10^6$
Průměrná celková hmotnost nákladních vozidel	$Q_{m1} =$	300 kN
Součinitel návrhové životnosti mostu (pro 25 let)	$\lambda_3 =$	0,871
Součinitel vlivu dopravy v dalších jízdách pružích (pro jeden pruh těžkých vozidel)	$\lambda_4 =$	1,000
Výsledný součinitel ekvivalentního poškození	$\lambda = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 =$	1,281
Součinitel únavového zatížení	$\gamma_{FF} =$	1,000
Součinitel spolehlivosti materiálu (závažné důsledky vlivem poškození - bezpečná životnost)	$\gamma_{Mf} =$	1,350
Největší hodnota součinitele λ s uvážením meze únavy (dle obrázku 9.6. ČSN 1993-2)	$\lambda_{max} =$	2,000
Základní hodnota únavové pevnosti (kategorie detailu) (dle tabulky A.6. SŽ S5/1)		85,000 MPa
Rozkmit napětí od zatěžovacího modelu 3 pro únavu	$\Delta\sigma_p =$	46,700 MPa
Ekvivalentní rozkmit napětí	$\Delta\sigma_E =$	59,845 MPa
Návrhová hodnota únavové pevnosti	$\Delta\sigma_c =$	62,963 MPa
Využití vlákna průřezu na únavu		95,0 %



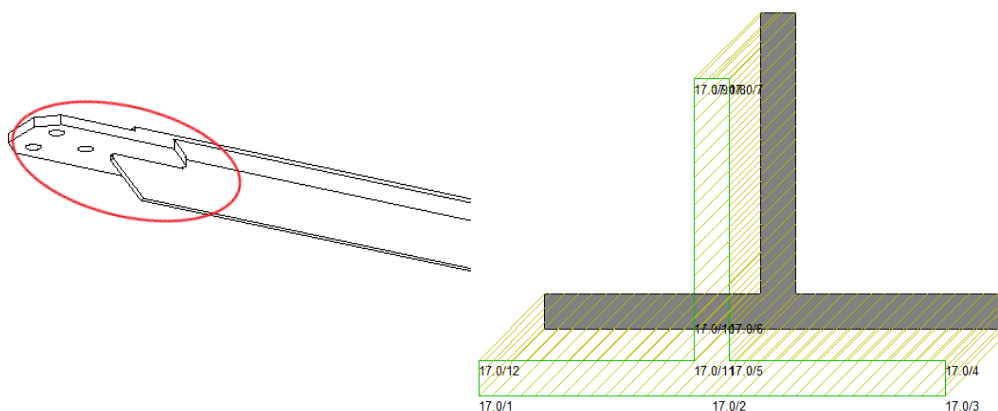
Posouzení mezního stavu únavy ocelové konstrukce ŽM16 dle ČSN 1993 -2

Zatížení: Zatěžovací model 3 na únavu

MODEL 3

Prvek	Detail 13 - Ztužidlo
Prut / poloha bodu	B972; 0,000 m
Popis	Přivařený přípojný plech k profilu ztužidla

Kritická délka příčinkové čáry	$L =$	48,000 m
Součinitel účinků poškození od dopravy (dle obrázku 9.5. ČSN 1993-2)	$\lambda_1 =$	2,170
Součinitel objemu dopravy (dle tabulky 9.1. ČSN 1993-2)	$\lambda_2 =$	0,678
Celkový počet nákladních vozidel za rok	$N_{OBS} =$	$0,75 \times 10^6$
Průměrná celková hmotnost nákladních vozidel	$Q_{m1} =$	300 kN
Součinitel nvrhové životnosti mostu (pro 25 let)	$\lambda_3 =$	0,871
Součinitel vlivu dopravy v dalších jízdách pružích (pro jeden pruh těžkých vozidel)	$\lambda_4 =$	1,000
Výsledný součinitel ekvivalentního poškození	$\lambda = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 =$	1,281
Součinitel únavového zatížení	$\gamma_{Fr} =$	1,000
Součinitel spolehlivosti materiálu (mírné důsledky vlivem poškození - bezpečná životnost)	$\gamma_{Mf} =$	1,150
Největší hodnota součinitele λ s uvážením meze únavy (dle obrázku 9.6. ČSN 1993-2)	$\lambda_{max} =$	2,500
Základní hodnota únavové pevnosti (kategorie detailu) (dle tabulky 8.4. ČSN 1993-1-9)		71,000 MPa
Rozkmit napětí od zatěžovacího modelu 3 pro únavu	$\Delta\sigma_p =$	17,000 MPa
Ekvivalentní rozkmit napětí	$\Delta\sigma_E =$	21,785 MPa
Návrhová hodnota únavové pevnosti	$\Delta\sigma_c =$	61,739 MPa
Využití vlákna průřezu na únavu		35,3 %



8.6 Shrnutí výsledků

8.6.1 Prostý nosník x spojitý nosník

Účelem porovnání bylo ověřit, že na spojitým nosníku nedochází ve vybraných detailech k většímu rozkmitu napětí vůči nosníku prostému. Největší nevyhovující rozdíl 6 % u detailu č. 3 je považován za ještě přijatelný. Z uvedené tabulky je patrné, že podle předpokladu se změna konstrukčního systému na lokálních detailech z pohledu rozkmitu napětí výrazně neprojeví. Konstrukce bude dále posouzena pouze jako prostý nosník.

Číslo detailu	Rozkmit normálového napětí - Model 3		
	Prostý nosník 48 m	Spojitý nosník 2 x 48 m	Poměr
	[MPa]	[MPa]	[%]
1	35	32,5	93%
2	35,9	33,8	94%
3	15,9	16,9	106%
5	28,3	28,4	100%
6	30	30,3	101%
11	43,9	43,5	99%
12	44,3	46,7	105%
13	16,6	17	102%

Tabulka 12 Srovnání rozkmitu napětí na prostém a spojitém nosníku

8.6.2 Vyhodnocení na prostém nosníku – metoda bezpečné životnosti

Výsledky v tabulkách 12 a 13 jsou vztaženy k hodnotě součinitele $\lambda_2 = 0,678$ ($N_{\text{obs}} = 0,75 \times 10^6$, $Q_{\text{ml}} = 300$ kN) a odpovídají ilustrativním posudkům v kapitole 8.2.2 a 8.2.3.

Posouzení detailů - MODEL 3, $N_{\text{obs}} = 0,75 \times 10^6$, $Q_{\text{ml}} = 300$ kN				
Číslo detailu	Popis	$\Delta\sigma_E$	$\Delta\sigma_c$	Posouzení
		[MPa]	[MPa]	[%]
1	Spodní pásnice příčnicku - svislá výztuha	41,34	69,57	59%
2	Spodní pásnice příčnicku - plech pro připojení podélníku	42,40	48,70	87%
3	Konec koutové výztuhy příčnicku – horní pásnice	18,78	48,70	39%
4	Svislá část koutové výztuhy příčnicku – čelní deska	65,25	69,57	94%
5	Spoj diagonál – výztuha	36,27	59,26	61%
6	Přechod rozšířené pásnice - svislice elementu	45,18	52,59	86%
7	Diagonála – koutová výztuha (horní styčnick)	63,95	52,59	122%
8	Diagonála – koutová výztuha (dolní styčnick)	64,07	52,59	122%
9	Koutová výztuha – styčnicková plech (horní styčnick)	17,04	59,26	29%
10	Koutová výztuha – styčnicková plech (dolní styčnick)	11,53	59,26	19%
11	Nýtový spoj mezi nosníkem a zámkem	56,26	62,96	89%
12	Příhradová spojka mezi profily dolního pásu	56,77	62,96	90%
13	Detail na podélném ztužidlu	21,27	61,74	34%

Tabulka 13 Posouzení detailů – Model 3

Posouzení detailů - únavové vozidlo, kat. provozu P2, $N_{\text{obs}} = 0,75 \times 10^6$, $Q_{\text{ml}} = 300$ kN				
Číslo detailu	Popis	$\Delta\sigma_E$	$\Delta\sigma_c$	Posouzení
		[MPa]	[MPa]	[%]
1	Spodní pásnice příčnicku - svislá výztuha	33,31	69,57	48%
2	Spodní pásnice příčnicku - plech pro připojení podélníku	34,13	48,70	70%
3	Konec koutové výztuhy příčnicku – horní pásnice	13,58	48,70	28%
4	Svislá část koutové výztuhy příčnicku – čelní deska	28,13	69,57	40%
5	Spoj diagonál – výztuha	25,76	59,26	43%
6	Přechod rozšířené pásnice - svislice elementu	22,74	52,59	43%
7	Diagonála – koutová výztuha (horní styčnick)	39,47	52,59	75%
8	Diagonála – koutová výztuha (dolní styčnick)	41,14	52,59	78%
9	Koutová výztuha – styčnicková plech (horní styčnick)	13,20	59,26	22%
10	Koutová výztuha – styčnicková plech (dolní styčnick)	14,87	59,26	25%
11	Nýtový spoj mezi nosníkem a zámkem	38,57	52,59	73%
12	Příhradová spojka mezi profily dolního pásu	37,16	62,96	59%
13	Detail na podélném ztužidlu	14,22	61,74	23%

Tabulka 14 Posouzení detailů – únavové vozidlo

Obdobným způsobem byly detaily posouzeny pro kategorie provozu P1, P2, P3 (postup v kapitole 8.2) s měnícím se součinitelem λ_2 .

V tabulce 15 jsou zeleně zvýrazněny hodnoty součinitele λ_2 , pro které je konstrukce vyhovující dle ČSN 73 6222^[15] s ohledem na odpovídající kategorii dopravy. Podle součinitele λ_2 lze určit charakteristiky dopravy, tak aby byla konstrukce provozuschopná.

ÚNAVOVÉ VOZIDLO dle ČSN 736222								
Q _{ml}	N _{obs}							
	P3		P2			P1		
	0,25 x 10 ⁶	0,50x 10 ⁶	0,75 x 10 ⁶	1,00 x 10 ⁶	1,25 x 10 ⁶	1,50 x 10 ⁶	1,75 x 10 ⁶	2,00 x 10 ⁶
200	0,362	0,417	0,452	0,479	0,5	0,519	0,535	0,55
300	0,544	0,625	0,678	0,712	0,751	0,779	0,803	0,825
400	0,725	0,833	0,904	0,957	1,001	1,038	1,071	1,1
500	0,907	1,042	1,13	1,197	1,251	1,298	1,338	1,374
600	1,088	1,25	1,356	1,436	1,501	1,557	1,606	1,649

Tabulka 15 Vyhovující součinitele λ_2 (zeleně) –únavové vozidlo –metoda bezp. životnosti

V tabulce 4 jsou zeleně zvýrazněny hodnoty součinitele λ_2 , pro které je konstrukce vyhovující dle ČSN 1991-2^[11], v tomto případě je most posuzován jako nová konstrukce.

ZATĚŽOVACÍ MODEL 3 NA ÚNAVU dle ČSN 1991-2								
Q _{ml}	N _{obs}							
	0,25 x 10 ⁶	0,50x 10 ⁶	0,75 x 10 ⁶	1,00 x 10 ⁶	1,25 x 10 ⁶	1,50 x 10 ⁶	1,75 x 10 ⁶	2,00 x 10 ⁶
200	0,362	0,417	0,452	0,479	0,5	0,519	0,535	0,55
300	0,544	0,625	0,678	0,712	0,751	0,779	0,803	0,825
400	0,725	0,833	0,904	0,957	1,001	1,038	1,071	1,1
500	0,907	1,042	1,13	1,197	1,251	1,298	1,338	1,374
600	1,088	1,25	1,356	1,436	1,501	1,557	1,606	1,649

Tabulka 16 Vyhovující součinitele λ_2 (zeleně)-Model -metoda bezpečné životnosti

8.6.3 Porovnání výsledků s metodou přípustných poškození

Díky menšímu součiniteli únavové pevnosti γ_{Mf} je dosaženo příznivějších výsledků. Vůči předchozí metodě bezpečné životnosti jsou vyhovující další součinitele λ_2 (žlutě vyznačené), což v praxi znamená možnost užívání mostu v kategorii P2 s průměrnou hmotností těžkých vozidel $Q_{ml} = 40t$, oproti 30t. Podmínkou je ale pravidelná kontrola kritických únavových detailů.

ÚNAVOVÉ VOZIDLO dle ČSN 736222								
Q _{ml}	N _{obs}							
	P3		P2			P1		
	0,25 x 10 ⁶	0,50x 10 ⁶	0,75 x 10 ⁶	1,00 x 10 ⁶	1,25 x 10 ⁶	1,50 x 10 ⁶	1,75 x 10 ⁶	2,00 x 10 ⁶
200	0,362	0,417	0,452	0,479	0,5	0,519	0,535	0,55
300	0,544	0,625	0,678	0,712	0,751	0,779	0,803	0,825
400	0,725	0,833	0,904	0,957	1,001	1,038	1,071	1,1
500	0,907	1,042	1,13	1,197	1,251	1,298	1,338	1,374
600	1,088	1,25	1,356	1,436	1,501	1,557	1,606	1,649

Tabulka 17 Vyhovující součinitele λ_2 – metoda přípustných poškození – Model 3

ZATĚŽOVACÍ MODEL 3 NA ÚNAVU dle ČSN 1991-2								
Q _{ml}	N _{obs}							
	P3		P2			P1		
	0,25 x 10 ⁶	0,50x 10 ⁶	0,75 x 10 ⁶	1,00 x 10 ⁶	1,25 x 10 ⁶	1,50 x 10 ⁶	1,75 x 10 ⁶	2,00 x 10 ⁶
200	0,362	0,417	0,452	0,479	0,5	0,519	0,535	0,55
300	0,544	0,625	0,678	0,712	0,751	0,779	0,803	0,825
400	0,725	0,833	0,904	0,957	1,001	1,038	1,071	1,1
500	0,907	1,042	1,13	1,197	1,251	1,298	1,338	1,374
600	1,088	1,25	1,356	1,436	1,501	1,557	1,606	1,649

Tabulka 18 Vyhovující součinitele λ_2 – metoda příp. poškození – únavové vozidlo

Pro určení konkrétních detailů jejichž posudek vyhovuje pouze metodě přípustných poškození je stanoven hraniční součinitel $\lambda_2 = 1,001$ (tab. 17), který vstupuje do statického výpočtu. V tabulkách 19 a 20 jsou vyznačeny detaily, konkrétně č. 2, 7 a 8, které nevyhovují v případě použití metody bezpečné životnosti a naopak vyhovují v případě metody přípustných poškození.

Posouzení detailů - únavové vozidlo, kat. provozu P2, N _{obs} = 1,25 x 10 ⁶ , Q _{ml} = 400 kN				
Číslo detailu	Popis	$\Delta\sigma_E$	$\Delta\sigma_C$	Posouzení
		[MPa]	[MPa]	[%]
1	Spodní pásnice příčnicku - svislá výztuha	49,17	69,57	71%
2	Spodní pásnice příčnicku - plech pro připojení podélníku	50,39	48,70	103%
3	Konec koutové výztuhy příčnicku – horní pásnice	20,05	48,70	41%
4	Svislá část koutové výztuhy příčnicku – čelní deska	41,53	69,57	60%
5	Spoj diagonál – výztuha	38,03	59,26	64%
6	Přechod rozšířené pásnice - svislice elementu	33,57	52,59	64%
7	Diagonála – koutová výztuha (horní styčnick)	58,27	52,59	111%
8	Diagonála – koutová výztuha (dolní styčnick)	60,73	52,59	115%
9	Koutová výztuha – styčnicková plech (horní styčnick)	19,49	59,26	33%
10	Koutová výztuha – styčnicková plech (dolní styčnick)	21,95	59,26	37%
11	Nýtový spoj mezi nosníkem a zámekem	56,95	62,96	90%
12	Příhradová spojka mezi profily dolního pásu	54,87	62,96	87%
13	Detail na podélném ztužidlu	21,00	61,74	34%

Tabulka 19 Posouzení detailů – únavové vozidlo $\lambda_2 = 1,001$ – bezpečná životnost

Posouzení detailů - únavové vozidlo, kat. provozu P2, $N_{obs} = 1,25 \times 10^6$, $Q_{ml} = 400$ kN				
Číslo detailu	Popis	$\Delta\sigma_E$	$\Delta\sigma_c$	Posouzení
		[MPa]	[MPa]	[%]
1	Spodní pásnice příčnicku - svislá výztuha	49,17	80,00	61%
2	Spodní pásnice příčnicku - plech pro připojení podélníku	50,39	56,00	90%
3	Konec koutové výztuhy příčnicku – horní pásnice	20,05	56,00	36%
4	Svislá část koutové výztuhy příčnicku – čelní deska	41,53	80,00	52%
5	Spoj diagonál – výztuha	38,03	69,57	55%
6	Přechod rozšířené pásnice - svislice elementu	33,57	61,74	54%
7	Diagonála – koutová výztuha (horní styčnick)	58,27	61,74	94%
8	Diagonála – koutová výztuha (dolní styčnick)	60,73	61,74	98%
9	Koutová výztuha – styčnicková plech (horní styčnick)	19,49	69,57	28%
10	Koutová výztuha – styčnicková plech (dolní styčnick)	21,95	69,57	32%
11	Nýťový spoj mezi nosníkem a zámkem	56,95	73,91	77%
12	Příhradová spojka mezi profily dolního pásu	54,87	73,91	74%
13	Detail na podélném ztužidlu	21,00	71,00	30%

Tabulka 20 Posouzení detailů– únavové vozidlo $\lambda_2 = 1,001$ –připustná poškození

Obdobným způsobem jsou určeny kritické detaily z pohledu zatížení Modelem 3, zde je použit součinitel $\lambda_2 = 0,625$ (tab. 18).

Posouzení detailů - MODEL 3, $N_{obs} = 0,50 \times 10^6$, $Q_{ml} = 300$ kN				
Číslo detailu	Popis	$\Delta\sigma_E$	$\Delta\sigma_c$	Posouzení
		[MPa]	[MPa]	[%]
1	Spodní pásnice příčnicku - svislá výztuha	38,11	69,57	55%
2	Spodní pásnice příčnicku - plech pro připojení podélníku	39,09	48,70	80%
3	Konec koutové výztuhy příčnicku – horní pásnice	17,31	48,70	36%
4	Svislá část koutové výztuhy příčnicku – čelní deska	60,15	69,57	86%
5	Spoj diagonál – výztuha	33,43	59,26	56%
6	Přechod rozšířené pásnice - svislice elementu	41,64	52,59	79%
7	Diagonála – koutová výztuha (horní styčnick)	58,95	52,59	112%
8	Diagonála – koutová výztuha (dolní styčnick)	59,06	52,59	112%
9	Koutová výztuha – styčnicková plech (horní styčnick)	15,71	59,26	27%
10	Koutová výztuha – styčnicková plech (dolní styčnick)	10,63	59,26	18%
11	Nýťový spoj mezi nosníkem a zámkem	51,86	62,96	82%
12	Příhradová spojka mezi profily dolního pásu	52,33	62,96	83%
13	Detail na podélném ztužidlu	19,61	61,74	32%

Tabulka 21 Posouzení detailů – Model 3 $\lambda_2 = 0,625$ – bezpečná životnost

Posouzení detailů - MODEL 3, $N_{obs} = 0,50 \times 10^6$, $Q_{ml} = 300$ kN				
Číslo detailu	Popis	$\Delta\sigma_E$	$\Delta\sigma_c$	Posouzení
		[MPa]	[MPa]	[%]
1	Spodní pásnice příčnicku - svislá výztuha	38,11	80,00	48%
2	Spodní pásnice příčnicku - plech pro připojení podélníku	39,09	56,00	70%
3	Konec koutové výztuhy příčnicku – horní pásnice	17,31	56,00	31%
4	Svislá část koutové výztuhy příčnicku – čelní deska	52,30	80,00	65%
5	Spoj diagonál – výztuha	33,43	69,57	48%
6	Přechod rozšířené pásnice - svislice elementu	41,64	61,74	67%
7	Diagonála – koutová výztuha (horní styčník)	58,95	61,74	95%
8	Diagonála – koutová výztuha (dolní styčník)	59,06	61,74	96%
9	Koutová výztuha – styčnicková plech (horní styčník)	15,71	69,57	23%
10	Koutová výztuha – styčnicková plech (dolní styčník)	10,63	69,57	15%
11	Nýtový spoj mezi nosníkem a zámkem	51,86	73,91	70%
12	Příhradová spojka mezi profily dolního pásu	52,33	73,91	71%
13	Detail na podélném ztužidlu	19,61	71,00	28%

Tabulka 22 Posouzení detailů – Model 3 $\lambda_2 = 0,625$ – přípustná poškození

Z výsledků je patrné, že v případě použití metody přípustných poškození je možné zvýšit hodnoty charakteristiky dopravy dle tabulek 17 a 18. Kontroly musejí být zaměřeny hlavně na detaily 7 a 8, u kterých v případě porušení může dojít ke kolapsu celé konstrukce.

9. Závěr

Tato diplomová práce se věnovala posouzení železničního mostu ŽM16 z hlediska únavy. Nejprve byla konstrukce podrobena diagnostickému průzkumu, při kterém byly ověřeny materiálové charakteristiky oceli, zkoušeny svarové spoje a měřeny korozní úbytky. Výstupem z diagnostické průzkumu je předpis nedestruktivních kontrol jednotlivých dílců, který obsahuje místo, způsob a pravidelnost zkoušení.

Na základě průzkumu byly určeny konstrukční detaily určené k následujícímu posouzení z hlediska únavy.

Dále byl vytvořen výpočetní model konstrukce, u kterého bylo snahou co nejvýstižněji napodobit skutečné působení konstrukce, největší pozornost byla věnována šroubovým přípojmům. Pro detailnější určení rozkmitu napětí byl prutový model v kritických místech doplněn o deskostěnové prvky. Na přání zadavatele byly detaily ověřeny i na spojitém nosníku. Dle předpokladu se typ konstrukčního systému na rozkmitu napětí v lokálních detailech výrazně neprojevil.

Jedním ze vstupních parametrů pro posouzení je součinitel objemu dopravy, pro provizorní most nelze přesně určit, proto bylo posouzení provedeno parametricky s měnícím se součinitelem λ_2 .

Provizorní most ŽM16 byl posouzen jako konstrukce nová podle ČSN 1991-2^[11] a zároveň jako konstrukce stávající podle ČSN 73 6222^[15].

Výsledek této diplomové práce má sloužit provozovateli konstrukce, jako návod za jakých podmínek z pohledu dopravy je most vyhovující. V tabulce 23 jsou uvedeny maximální možné průměrné hmotnosti nákladních vozidel v závislosti na provozu na PK a metodě výpočtu. V případě použití metody přípustných poškození je nutné důkladně kontrolovat detaily č. 7 a 8 (svar diagonály a koutové výztuhy).

	Zatěžovací model	Metoda	$N_{obs} [\Sigma \text{nákl. vozidla/rok}] \times 10^6$							
			P3		P2			P1		
			0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00
$Q_{mi}[t]$	Model 3 ČSN 1991-2	Bezpečná životnost	30	20	20	20	20	20	20	20
		Přípustná poškození	30	30	20	20	20	20	20	20
	Únavové vozidlo ČSN 73 6222	Bezpečná životnost	60	60	40	30	30	20	20	20
		Přípustná poškození	60	60	40	40	40	20	20	20

Tabulka 23 Shrnutí výsledků - maximální možné průměrné hmotnosti nákladních vozidel v závislosti na provozu na PK a metodě výpočtu

10. Seznam zdrojů

- [1] HANÁK, Marek a Martin BENDA. Mostní provizoria používaná na území ČR. *Vojenské rozhledy*. 2016, 25 (4), 119-131. ISSN 1210-3292 (print), 2336- 2995 (on-line). Dostupné z www.vojenskerozhledy.cz
- [2] Středisko mostních provizorií: Detailní popis mostních provizorií. Ředitelství silnic a dálnic [online]. Praha, 2021 [cit. 2021-12-27]. Dostupné z: <https://www.rsd.cz/wps/portal/web/rsd/stredisko-mostnich-provizorii>
- [3] ING. HEKELE, Miroslav. TYPY MOSTNÍCH PROVIZORIÍ. Praha. Dostupné také z: <https://docplayer.cz/4883862-Typy-mostnich-provizorii.html>
- [4] Badatelna 2021: Morava – Mosty Bailey Bridge. *Davar* [online]. Praha, 2018 [cit. 2021-12-27]. Dostupné z: http://davar.cz/badatelna/xref/dop_morava_mosty_bailey.htm
- [5] VÝCVIKOVÉ STŘEDISKO V KOJETÍNĚ PROŠKOLILO ZA POSLEDNÍ DVA MĚSÍCE TĚMĚŘ 150 LIDÍ. *Truck-profi* [online]. Praha, 2017 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <http://www.truck-profi.cz/10488/ministerstvo-dopravy-vycvikove-stredisko/>
- [6] Správa železnic vymění most přes Sázavu u H. Brodu. Provizorium po 35 letech zmizí. *Z dopravy: Infrastruktura* [online]. Praha, 2021 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://zdopravy.cz/sprava-zeleznic-vymeni-most-pres-sazavu-u-h-brodu-provizorium-po-35-letech-zmizi-75257/>
- [7] ING. HOMOLKA, Jindřich. Instrukční knížka: Modernizovaný železniční most ŽM16 M. Praha, 1983.
- [8] FRANTIŠEK, Skok. *Železniční most ŽM-16: Obrázky*. Praha, 1959.
- [9] doc. Ing. RYJÁČEK, Pavel Ph.D. Diagnostický průzkum dílců železničních mostů ŽM 16 a ŽM 60. Praha, 2021. Závěrečná zpráva. ČVUT, FSv.
- [10] ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Praha: Český normalizační institut, 2004
- [11] ČSN EN 1991-2 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 2: Zatížení mostů dopravou, ed. 2. Praha: Český normalizační institut, 2018
- [12] ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí, ed. 2. Praha: Český normalizační institut, 2015

- [13] ČSN EN 1991-1-5 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-5: Obecná zatížení – Zatížení teplotou. Praha: Český normalizační institut, 2005
- [14] ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem, ed. 2. Praha: Český normalizační institut, 2013
- [15] ČSN 73 6222: Zatížitelnost mostů pozemních komunikací. Praha: Český normalizační institut, 2013
- [16] ČSN EN 1993-2 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 2: Ocelové mosty. Praha: Český normalizační institut, 2008
- [17] ČSN EN 1993-1-9 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-9: Únava, ed. 2. Praha: Český normalizační institut, 2013
- [18] SŽ S5/1: Diagnostika, zatížitelnost a přechodnost železničních mostních objektů. Praha: vydáno pouze v elektronické podobě, 2021. Správa železnic, státní organizace.

11. Seznam obrázků

Obrázek 1 Rendrovaný model konstrukce ŽM16.....	8
Obrázek 2 BB - Bailey Bridge ^[4]	10
Obrázek 3 TMS - těžká mostová souprava ^[5]	10
Obrázek 4 MMS - Montovaný most silniční ^[1]	11
Obrázek 5 MMT - Montovaný most týlový ^[1]	12
Obrázek 6 ŽM60 ^[6]	12
Obrázek 7 Příhradový element ^[8]	13
Obrázek 8 Horní/dolní pás ^[8]	14
Obrázek 9 Příčník ^[8]	15
Obrázek 10 Podélník ^[8]	15
Obrázek 11 Podélníkové ztužidlo ^[8]	16
Obrázek 12 Větrová příčka ^[8]	16
Obrázek 13 Příklad šroubu ^[8]	16
Obrázek 14 Příklad magnetogramu ^[9]	20
Obrázek 15 Schéma kontrolovaných míst – příhradový element.....	21
Obrázek 16 Schéma kontrolovaných míst - dolní pás.....	22
Obrázek 17 Schéma kontrolovaných míst – příčník.....	22
Obrázek 18 Únavové detaily – příčník.....	23
Obrázek 19 Únavové detaily - příhradový element.....	24
Obrázek 20 Únavové detaily - dolní pás.....	24
Obrázek 21 Deskostěnový a prutový model svislice.....	25
Obrázek 22 Vodorovné deformace svislice elementu.....	26
Obrázek 23 Napojení svislice elementu a příčníku - axonometrický pohled.....	27
Obrázek 24 Napojení svislice elementu a příčníku - boční pohled.....	27
Obrázek 25 Napojení svislice elementu a příčníku - deskostěnový model.....	28
Obrázek 26 Napojení svislice elementu a příčníku - prutový model.....	28
Obrázek 27 Napojení svislice elementu a příčníku - prutový model (rendrovaný).....	29
Obrázek 28 Napojení příčníku s kloubovými vazbami.....	29
Obrázek 29 Napojení příčníku bez kloubových vazeb.....	30
Obrázek 30 Napojení svislice el. a příčníku– přemístění uzlu (prutový model).....	30
Obrázek 31 Napojení svislice el. a příčníku – přemístění uzlu (deskostěnový model).....	31
Obrázek 32 Napojení svislice elementu a příčníku - deformace (prutový model).....	31

Obrázek 33	Napojení svislice elementu a příčnicku-deformace(deskostěnový model)....	31
Obrázek 34	Označení míst šroubových spojů s předepsanou tuhostí.....	32
Obrázek 35	Schéma zatěžovacího vlaku C ^[8]	33
Obrázek 36	Hodnoty posunů uprostřed rozpětí konstrukce ŽM16 ^[7]	34
Obrázek 37	Závislost síly na pokluzu v přípojce	34
Obrázek 38	Svislá deformace - zatěžovací vlak C – nelineární výpočet.....	35
Obrázek 39	Místa pružných přípojů	35
Obrázek 40	Svislá deformace - zatěžovací vlak C - lineární výpočet	35
Obrázek 41	Uložení podélníků na příčnicku	36
Obrázek 42	Normálová síla na podélníku bez pružné podpory	36
Obrázek 43	Normálová síla na podélníku s pružnou podporou v podélném směru.....	36
Obrázek 44	Způsob uložení žb panelů.....	37
Obrázek 45	Výsledná reakce (SCIA Engineer)	39
Obrázek 46	Zatížení - svodidlo.....	40
Obrázek 47	Graf k určení teploty konstrukce ^[13]	41
Obrázek 48	Zatížení - rovnoměrné oteplení	41
Obrázek 49	Zatížení - rovnoměrný ochlazení.....	42
Obrázek 50	Zatížení - horní pás teplejší než dolní	43
Obrázek 51	Zatížení - dolní pás teplejší než horní	43
Obrázek 52	Zatížení - silové účinky na stojící vozidlo	46
Obrázek 53	Zatížení - stojící vozidlo.....	47
Obrázek 54	Minimální doporučené hodnoty zatížitelnosti pro mosty po obnově ^[15]	47
Obrázek 55	Schéma zatížení dopravou ^[15]	48
Obrázek 56	Zatěžovací vozidlo ^[15]	48
Obrázek 57	Zatížení - normální zatížitelnost.....	48
Obrázek 58	Graf pro určení dynamického součinitele ^[15]	49
Obrázek 59	Dopravní pruh	50
Obrázek 60	Zatížení dopravou v příčném směru (UDL/TS)	51
Obrázek 61	Zatížení dopravou v podélném směru (UDL/TS)	51
Obrázek 62	Model zatížení na únavu 3	53
Obrázek 63	Způsob zadání do modelu	53
Obrázek 64	Hodnoty součinitele λ_1 ^[16]	56
Obrázek 65	Hodnoty součinitele λ_{\max} ^[16]	57
Obrázek 66	Normálová síla - horní/dolní pás.....	57

Obrázek 67 Ohybový moment M_y - horní/dolní pás.....	57
Obrázek 68 Normálová síla - příhr. elementy.....	58
Obrázek 69 Normálová síla - příčnický.....	58
Obrázek 70 Ohybový moment M_y - příčnický.....	58
Obrázek 71 Ohybový moment M_y - podélník.....	58
Obrázek 72 Normálová síla - podélník.....	59
Obrázek 73 Rozkmit napětí – Model 3 – nejvíce namáhané příčnický.....	59
Obrázek 74 Rozkmit napětí – únavové vozidlo (P2) – nejvíce namáhané příčnický.....	59
Obrázek 75 Rozkmit napětí – Model 3 – nejvíce namáhané diagonály (spoj).....	59
Obrázek 76 Rozkmit napětí–únavové voz. (P2)–nejvíce namáhané diagonály(spoj)	60
Obrázek 77 Rozkmit napětí – Model 3 – nejvíce namáhané svislice.....	60
Obrázek 78 Rozkmit napětí – únavové vozidlo (P2) – nejvíce namáhané svislice.....	60
Obrázek 79 Rozkmit napětí - Model 3 - nejvíce namáhané styčnický.....	60
Obrázek 80 Rozkmit napětí- únavové voz.(P2)- nejvíce namáhané styčnický.....	61
Obrázek 81 Příčinková čára normálové síly pro styčnick uprostřed mostu (obr. 62).....	61
Obrázek 82 Rozkmit napětí – Model 3 – nejvíce namáhané části dolního pásu.....	61
Obrázek 83 Rozkmit napětí – únavové voz. (P2) – nejvíce namáhané části dolního pás	61
Obrázek 84 Rozkmit napětí – Model 3 – nejvíce namáhané části ztužidla.....	62
Obrázek 85 Rozkmit napětí –únavové voz.(P2) –nejvíce namáhané části dolního pásu	62
Obrázek 86 "Dolní" styčnick - 2D makra.....	63
Obrázek 87 Styčnick - dolní pas ^[9]	63
Obrázek 88 "Horní" styčnick - 2D makra.....	64
Obrázek 89 Styčnick - horní pás ^[9]	64
Obrázek 90 Normálové napětí na deformované konstrukci - zatížení Model 3.....	65
Obrázek 91 Normálové napětí na deformované konstrukci - zatížení Model 3.....	65
Obrázek 92 Element - únavové detaily ^[9]	66
Obrázek 93 Max/Min norm. napětí na diagonále (souř. systém ve směru diagonály) ...	67
Obrázek 94 Max/Min norm. napětí na diagonále(souř. systém ve sklonu diagonály) ...	67
Obrázek 95 Rozkmit napětí -Model 3 -vlevo koncový příčnick ,vpravo příčnick v poli...	68
Obrázek 96 Rozkmit napětí – Model 3 – nejvíce namáhané krajní části příčnicku.....	68
Obrázek 97 Rozkmit napětí – únavové voz. (P2) – krajní části příčnicku.....	68
Obrázek 98 Styčnick příčnicku a elementu.....	69
Obrázek 99 Model styčnicku v programu SCIA Engineer.....	69

Obrázek 100 Normálové napětí od Modelu 3 v kritické poloze.....	70
Obrázek 101 Kategorie detailu č. 1 ^[17]	72
Obrázek 102 Kategorie detailu č. 2 ^[17]	73
Obrázek 103 Kategorie detailu č. 3 ^[17]	73
Obrázek 104 Kategorie detailu č. 4 ^[17]	74
Obrázek 105 Kategorie detailu č. 5 ^[17]	74
Obrázek 106 Kategorie detailu č. 6 ^[17]	75
Obrázek 107 Kategorie detailu č. 7 ^[17]	75
Obrázek 108 Kategorie detailu č. 8 ^[17]	76
Obrázek 109 Kategorie detailu č. 9 ^[17]	76
Obrázek 110 Kategorie detailu č. 10 ^[17]	77
Obrázek 111 Kategorie detailu č. 11 ^[18]	77
Obrázek 112 Kategorie detailu č. 12 ^[18]	78
Obrázek 113 Kategorie detailu č. 13 ^[17]	78

12. Seznam tabulek

Tabulka 1 Mez kluzu prvků ŽM16.....	19
Tabulka 2 Mez pevnosti prvků ŽM16.....	19
Tabulka 3 Tuhosti šroubových přípojů.....	33
Tabulka 4 Přepočet objemové hmotností dílců.....	39
Tabulka 5 Součinitel k_{sur} ^[13]	43
Tabulka 6 Zatížení provozem na PK ^[15]	51
Tabulka 7 Stanovení K_0 ^[15]	52
Tabulka 8 Součinitel únavové pevnosti ^[17]	54
Tabulka 9 Hodnoty součinitele λ_2 ^[16]	56
Tabulka 10 Označení provozu na PK ^[15]	71
Tabulka 11 Hodnoty součinitele λ_2	71
Tabulka 12 Srovnání rozkmitu napětí na prostém a spojitém nosníku.....	114
Tabulka 13 Posouzení detailů – Model 3.....	115
Tabulka 14 Posouzení detailů – únavové vozidlo.....	115
Tabulka 15 Vyhovující součinitele λ_2 (zeleně) –únavové vozidlo –metoda bezp. životnost.....	116

Tabulka 16 Vyhovující součinitele λ_2 (zeleně)-Model -metoda bezpečné životnosti .	116
Tabulka 17 Vyhovující součinitele λ_2 – metoda přípustných poškození – Model 3....	117
Tabulka 18 Vyhovující součinitele λ_2 – metoda příp. poškození – únavové vozidlo ..	117
Tabulka 19 Posouzení detailů – únavové vozidlo $\lambda_2 = 1,001$ – bezpečná životnost....	117
Tabulka 20 Posouzení detailů– únavové vozidlo $\lambda_2 = 1,001$ –přípustná poškození	118
Tabulka 21 Posouzení detailů – Model 3 $\lambda_2 = 0,625$ – bezpečná životnost.....	118
Tabulka 22 Posouzení detailů – Model 3 $\lambda_2 = 0,625$ – přípustná poškození	119
Tabulka 23 Shrnutí výsledků - maximální možné průměrné hmotnosti nákladních vozidel v závislosti na provozu na PK a metodě výpočtu	120