

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2022

BC. ZDENĚK SHÁNĚL

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Analýza železničního mostu s vylehčenou ocelobetonovou mostovkou dle MVL 115
– studie vlivu sklonění hlavních nosníků

Bc. Zdeněk Sháněl

Diplomová práce

2022

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Zdeněk Sháněl**
Osobní číslo: **D20504**
Studijní program: **N0732A260017 Dopravní stavitelství**
Téma práce: **Analýza železničního mostu s vylehčenou ocelobetonovou mostovkou dle MVL 115 – studie vlivu sklonění hlavních nosníků**
Zadávací katedra: **Katedra dopravního stavitelství**

Zásady pro vypracování

Práce bude zaměřena na analýzu železničního mostu s vylehčenou ocelobetonovou mostovkou dle MVL 115, přičemž bude sledován vliv sklonění hlavních nosníků v příčném řezu. Důvodem studie je fakt, že při až 80 % oprav stávajících železničních mostů zůstává zachována spodní stavba, která leckdy neodpovídá současným požadavkům na prostorové uspořádání mostů. Sklonění hlavních nosníků tedy umožňuje dodržet nové požadavky prostorového uspořádání bez zásadní prostorové přestavby opěr. Cílem diplomové práce je ověření řešení se skloněnými hlavními nosníky, vč. ekonomické náročnosti, a porovnání s návrhem tradičního uspořádání hlavních nosníků spojeného s přestavbou opěr.

Rozsah pracovní zprávy:

Rozsah grafických prací:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

MOSTNÍ VZOROVÝ LIST MVL 115 ŽELEZNIČNÍ MOSTY S EXTRÉMNĚ STLAČENOU STAVEBNÍ VÝŠKOU,
Generální ředitelství, Odbor traťového hospodářství O13, Praha 2019.

Příslušné normové předpisy pro návrh ocelových konstrukcí/mostů.

Dokumentace k softwaru Scia Engineering.

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Ladislav Řoutil, Ph.D.

Katedra dopravního stavitelství

Datum zadání diplomové práce:

26. října 2021

Termín odevzdání diplomové práce:

17. května 2022

L.S.

doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.

děkan

Ing. Aleš Šmejda, Ph.D.

vedoucí katedry

V Pardubicích dne 28. října 2021

Prohlašuji:

Práci s názvem Analýza železničního mostu s vylehčenou ocelobetonovou mostovkou dle MVL 115 – studie vlivu sklonění hlavních nosníků jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 12. 5. 2022

Bc. Zdeněk Sháněl v.r.

Poděkování:

Chtěl bych poděkovat Ing. Ladislavovi Řoutilovi, Ph.D. za cenné rady a odborné vedení mé diplomové práce.

Zároveň bych chtěl poděkovat zaměstnancům firmy *Ing. Ivan Šír, projektování dopravních staveb a.s.* za konzultace částí statického výpočtu.

Dále bych chtěl poděkovat mé rodině za podporu a umožnění studia na vysoké škole.

SOUHRN

Práce se zaměřuje na rekonstrukci železničních mostů se stlačenou stavební výškou. Je provedena statická analýza mostu s vylehčenou ocelobetonovou mostovkou dle MVL 115, z ní dále vychází parametrická studie vlivu vybraných konstrukčních parametrů (uklonění hlavních nosníků, průřezy ocelových profilů, tloušťka železobetonové desky, ...). Analytické výsledky byly porovnány s numerickým výpočtem. V závěru práce jsou představeny vybrané varianty konstrukcí mostů (včetně finančních nákladů materiálu).

KLÍČOVÁ SLOVA

ocelový most, ocelobetonová mostovka, stavební výška, statický posudek, parametrická studie

TITLE

Analysis of a railway bridge with a lightweight reinforced concrete bridge deck according to MVL 115 - influence of the inclination of the main beams

ABSTRACT

The thesis focuses on the reconstruction of railway bridges with reduced construction height. There are performed a static analysis of the bridge with a lightweight steel-concrete composite bridge deck according to MVL 115. Parametric study of the influence of selected construction parameters (inclination of main beams, cross sections of steel profiles, thickness of reinforced concrete slab, ...) is presented in the thesis. The analytical results were compared with numerical calculation. Selected variants of bridge structures are presented at the end of the thesis (including the financial cost of the material).

KEYWORDS

steel bridge, steel-concrete composite bridge deck, construction height, static report, parametric study.

OBSAH

1	Úvod.....	11
2	Rekonstrukce železničních mostů.....	12
2.1	Kamenné části	12
2.2	Betonové části	13
2.3	Ocelové části	14
3	Stavební úpravy.....	15
4	Mosty s extrémně stlačenou mostovkou (SŽDC, 2019)	17
4.1	Most s ukloněnými plnostěnnými hlavními nosníky (MVL 115 typ 7).....	17
5	Zvolení typu mostu	20
6	Posouzení železobetonové desky	21
6.1	Zatížení železobetonové desky.....	21
6.1.1	Vlastní tíha	21
6.1.2	Ostatní stálé zatížení	21
6.1.3	Zatížení od dopravy.....	22
6.1.4	Kombinace zatížení – železobetonová deska.....	24
6.2	Navržení a posouzení železobetonové desky	25
7	Posouzení příčníků	29
7.1	Zatížení příčnicků.....	29
7.1.1	Vlastní tíha	29
7.1.2	Ostatní stálé zatížení	29
7.1.3	Zatížení od dopravy.....	30
7.1.4	Kombinace zatížení – příčnicků.....	31
7.2	Posouzení příčníků bez spolupůsobení příčnicku a desky	34
7.2.1	Posouzení příčníků bez spolupůsobení příčnicku a desky – Posouzení ohyb	35
7.2.2	Posouzení příčníků bez spolupůsobení příčnicku a desky – Posouzení smyk	38

7.2.3	Posouzení příčníků bez spolupůsobení příčnicku a desky – Posouzení interakce mezi smykovou silou a ohybovým momentem	39
7.2.4	Posouzení příčníků bez spolupůsobení příčnicku a desky – Klopení	43
7.2.5	Posouzení příčníků bez spolupůsobení příčnicku a desky – Posouzení průhyb	43
7.2.6	Vyhodnocení různých profilů příčníků, které nespoluúčínají s deskou	45
7.3	Posouzení příčnicku spřaženého s železobetonovou deskou	47
7.3.1	Posouzení příčníků spřaženého s železobetonovou deskou – Posouzení ohyb	47
7.3.2	Posouzení příčníků spřaženého s železobetonovou deskou – Posouzení smyk	51
7.3.3	Posouzení příčníků spřaženého s železobetonovou deskou – Posouzení interakce mezi smykovou silou a ohybovým momentem	51
7.3.4	Posouzení příčníků spřaženého s železobetonovou deskou – Klopení	52
7.3.5	Posouzení příčníků spřaženého s železobetonovou deskou – Posouzení průhyb	52
7.3.6	Vyhodnocení různých profilů příčníků spřažených s železobetonovou deskou	54
7.4	Porovnání únosnosti příčníků bez spřažení a se spřažením.....	55
8	Posouzení hlavních nosníků.....	56
8.1	Zatížení hlavní nosník	56
8.1.1	Vlastní tíha	56
8.1.2	Ostatní stálé zatížení	56
8.1.3	Zatížení od dopravy.....	57
8.1.4	Zatížení hlavních nosníků od rozjezdu a brždění.....	58
8.1.5	Zatížení hlavních nosníků bočním rázem	59
8.1.6	Zatížení hlavních nosníků větrem dle ČSN EN 1991-1-4	59
8.1.7	Redukce vodorovných zatížení působících na hlavní nosník	61
8.1.8	Kombinace zatížení – hlavní nosník	63

8.2	Velikost vnitřních sil na kolmém hlavním nosníku.....	65
8.3	Průřezové charakteristiky hlavního nosníku	69
8.4	Posouzení kolmých hlavních nosníků na mezní stav únosnosti.....	71
8.4.1	Posouzení účinků boulení stěn vlivem normálových napětí	71
8.4.2	Posouzení průřezu na ohyb	72
8.4.3	Posouzení průřezu na únosnost ve smyku – Příspěvek Stojiny	72
8.4.4	Posouzení průřezu na únosnost ve smyku – Příspěvek pásnic.....	74
8.4.5	Posouzení průřezu na únosnost ve smyku – Celková návrhová únosnost	75
8.4.6	Posouzení průřezu na interakci mezi smykovou silou a ohybovým momentem.....	75
8.4.7	Posouzení průřezu na klopení	76
8.5	Posouzení hlavních nosníků na mezní stav použitelnosti.....	77
8.5.1	Posouzení hlavních nosníků na průhyb.....	77
8.5.2	Posouzení hlavních nosníků na únavu	80
8.6	Velikost vnitřních sil hlavních nosníků ukloněných o 30 ° od svislé osy ...	82
8.7	Průřezové charakteristiky hlavního nosníku ukloněného o 30 ° od svislé osy	87
8.8	Posouzení kolmých hlavních nosníků ukloněných o 30 ° od svislé osy na mezní stav únosnosti	96
8.8.1	Posouzení účinků boulení stěn vlivem normálových napětí	96
8.8.2	Posouzení průřezu na dvojosý ohyb.....	98
8.8.3	Posouzení ukloněného průřezu na únosnost ve smyku – Příspěvek Stojiny	98
8.8.4	Posouzení ukloněného průřezu na únosnost ve smyku – Příspěvek pásnic	99
8.8.5	Posouzení ukloněného průřezu na únosnost ve smyku – Celková návrhová únosnost.....	100

8.8.6	Posouzení ukloněného průřezu na interakci mezi smykovou silou a ohybovým momentem.....	101
8.8.7	Posouzení ukloněného průřezu na klopení.....	101
8.9	Posouzení ukloněných hlavních nosníků na mezní stav použitelnosti.....	106
8.9.1	Posouzení ukloněných hlavních nosníků na průhyb	106
8.9.2	Posouzení ukloněných hlavních nosníků na únavu.....	108
9	numerický výpočet	111
9.1	Vytvoření modelu.....	111
9.2	Zatížení modelu v programu SCIA Engineer.....	113
9.3	Kombinace zatížení modelu	114
9.4	Výsledky.....	115
10	Porovnání výsledků.....	119
11	Závěr	124
12	Seznam použité literatury.....	126
13	Seznam tabulek	129
14	Seznam grafů.....	131
15	Seznam obrázkových příloh.....	132
16	Přílohy.....	134
16.1	Příloha A – Grafická příloha.....	134
16.2	Příloha B – Tabulkové přílohy z programu Microsoft Excel	140

1 ÚVOD

Mosty jsou významnými stavbami na dopravní síti jak železniční, tak silniční. V případě jejich nutného vyřazení mimo provoz pro potřebu opravy, je upřednostňováno jejich vyřazení mimo provoz na co nejkratší dobu, protože vyřazení mostu mimo provoz je spojeno s velkými finančními náklady. V případě silničních mostů lze most nahradit mostním provizoriem, v případě železničních mostů je nahrazení mostu provizoriem ve většině případů nemožné, proto se u rekonstrukce železničních mostů dbá na co nejrychlejší stavbu a nejkratší výluku provozu, případně se opravy mostu provádí během nočního provozu, kdy je výluka levnější.

Během rekonstrukce železničních mostů je zároveň dbán důraz na zlepšení pohodlí při přepravě. Z výše uvedeného důvodu se velice často nahrazují mosty s mostnicemi mosty s průjezdným kolejovým ložem. Mosty s průjezdným kolejovým ložem mají oproti mostům s mostnicemi a s přímým uložením koleje několik výhod:

- doprava probíhá na konstrukci stejné nebo podobné tuhosti jako mimo most,
- při průjezdu čističky kolejového lože nemusí být čištění přerušeno a může probíhat kontinuálně,
- most je méně hlučný.

Konstrukce s průjezdným kolejovým ložem jsou oproti ostatním konstrukcím vyšší. Pokud by byla zachována geometrická poloha kolej (GPK) nezměněna musí dolní hrana nosné konstrukce mostu začínat níže, tím se zmenší otvor mostu. Pokud můžeme změnit GPK a zvedneme niveletu koleje, jsme schopni tím získat potřebné centimetry, abychom nemuseli zmenšovat otvor pod mostem. Pokud se ale v blízkosti mostu nacházejí nějaké pevné body na trati (př. železniční přejezdy, jiné mosty, případně mosty nad železnicí), musíme přistoupit k návrhu mostu s extrémně stlačenou mostovkou.

Práce sleduje vlivy různých parametrů na návrh mostu s ukloněnými hlavními nosníky, úklon nosníků je realizován pro snížení konstrukční výšky a možnosti využití užších úložných prahů. Mosty jsou posouzeny jak ručním výpočtem, tak pomocí vytvořených modelů v programu SCIA Engineer. Výsledné dimenze mostu jsou porovnány a oceněny.

2 REKONSTRUKCE ŽELEZNIČNÍCH MOSTŮ

Mosty jsou velmi náročné konstrukce, jejichž vybudování vyžaduje velké finanční prostředky. Mosty jsou nezbytným článkem dopravy. Je proto v zájmu investora, aby byla životnost mostu co možná nejdelší. V případě nutných oprav a rekonstrukcí mostů dochází k přerušení provozu na daném mostu, a to vyvolává další finanční náklady. Proto je nutné most postavit takovým způsobem, aby mohl být v provozu dlouhou dobu a vyhověl dnešním i budoucím požadavkům na převedení dopravy. (1)

Aby nedocházelo k poškození mostu a následně vyvolaným opravám mostu je nutná pravidelná údržba. Údržba zahrnuje pravidelně prováděné práce na mostě, které mají odstranit drobné závady a nedostatky, tak aby nedošlo k rozvoru závad a nutné rekonstrukci mostu. (1)

Rekonstrukce jsou práce rozsáhlejšího a náročnějšího charakteru. V převážné většině případů probíhají rekonstrukce za vyloučení provozu. Důvodem k rekonstrukci je obnovení únosnosti, o kterou most vlivem opotřebení a stáří přišel, nebo stavební úprava mostu, který musí vyhovět novým dříve, neuvažovaným požadavkům. Provádí se na mostě pokud je technicky a ekonomicky výhodnější konstrukci rekonstruovat, nežli ji zbourat a postavit novou. (1)

2.1 Kamenné části

Pokud jsou kamenné části mostů (opěry případně klenba) v dobrém stavu a kámen je dostatečně únosný, navrhuje se v rámci opravy mostu hloubkové přespárování a ošetření povrchu kamene nátěrem proti vlhkosti a povrchové degradaci kamene (např. impregnace).

Kvalitu kamene a malty zjistíme zkouškami. Kámen testujeme v tlaku. Pokud to místní podmínky umožní necháme provést odvrt kamene a jeho zkoušku v laboratoři. Pokud vzhledem ke geometrii mostu, nebo jeho stavu není možné provést vývrty musíme se spokojit s měřením pomocí Schmidtova kladívka. Na pojívech se zkoumá jejich soudržnost a únosnost.

Je potřeba dát pozor na vlhkost za kamennými částmi konstrukce, z toho důvodu je možné kamenné opěry dodatečně odvodnit vyvrtanými otvory, nebo při obnažení

nosné konstrukce zhotovit novou izolaci proti zemní vlhkosti a nové drenážní potrubí, které vodu odvede z rubu opěry mimo konstrukci zemního tělesa.

Únosnost kamenných prvků konstrukce můžeme zvýšit přespárováním, přezděním, injektáží za daný kamenný prvek, nebo osazením nerezových kleštín do vyfrézovaných drážek do povrchu.

- Přespárování je nejméně finančně náročný úkon a zároveň by se měl při rekonstrukci kamenných staveb provádět už jen pro zlepšení estetického vjemu z opravené stavby.
- Pokud je konstrukce více rozrušená a kamenné bloky jsou rozvolněné je nejjednodušší konstrukci v určité míře přezdít. Provedení této metody je velice náročné u složitějších konstrukcí, které plní i nosné funkce (klenba, opěra), zatímco u konstrukcí jednodušších je velice triviální (křídlo, závěrná zídka).
- Injektáží prostoru za kamennou částí konstrukce lze jednoduše zvýšit únosnost.
- Osazení nerezových kleštín do vyfrézovaných drážek je další účinné řešení zvýšení únosnosti kamenných částí mostů. Toto řešení se využívá na povrchy nosných konstrukcí. Do vyfrézované drážky se osadí nerezové kleštiny, konce kleštín se zasunou do předvrtaných otvorů a drážky se poté vyplní speciální maltou. Nerezové kleštiny můžeme osadit i do předvrtaných otvorů (sanace pilířů). Prostor ve vývrtu se okolo kleštiny opět vyplní speciální maltou. Pro injektáž se využívá cementová, injektážní, tixotropní, nesmršitelná malta nebo polyesterová pryskyřice (2).

2.2 Betonové části

Před rozhodnutím o rozsahu oprav betonových povrchů je potřeba provést pochůzku, při které se stanoví všechny chyby konstrukce (u železničních mostů lze využít záznamy z prohlídek mostů). U povrchů konstrukce se stanovuje jeho pevnost a pevnost povrchu betonu v odtrhu. Odtrhová zkouška je důležitá pro následné provedení stěrky povrchu betonu a jeho soudržnosti s novou vrstvou. Pevnost betonu v tlaku se stanoví na zkušebních odvrtech, nebo pomocí Schmidtova kladívka.

Opravy betonových částí se specializují převážně na opravy pohledových částí povrchů. Povrch betonu se otryská tlakovou vodou. Musí se zvolit správný tlak, aby

nedošlo ke zbytečně velkému úbytku materiálu. Poté se povrch opatří migrujícím inhibítorem koroze. Obnažená zkorodovaná výztuž se natře proti korozi. Na nově vzniklou pracovní spáru se umístí spojovací můstek (např. ResiFix SE dvousložkový epoxidový nátěr). Podle mocnosti degradované vrstvy betonu se povrch betonu opatří dobetonávkou (min. tloušťka 50 mm) nebo stěrkou. Je možnost vytvořit přibetonávku ke stávající konstrukci (pohledové části opěr, křídel, zdí), která musí mít být vyztužena kari sítí pro zachycení sil při povrchu betonu vyvolaných vlivem teploty, aby nedocházelo k popraskání nového betonu a zatékání vody do konstrukce. Tloušťku přibetonávky je vhodné volit alespoň 150 mm, aby při provádění stavby došlo k dostatečnému prohutnění nové vrstvy betonu a nevznikaly neprohutněná místa.

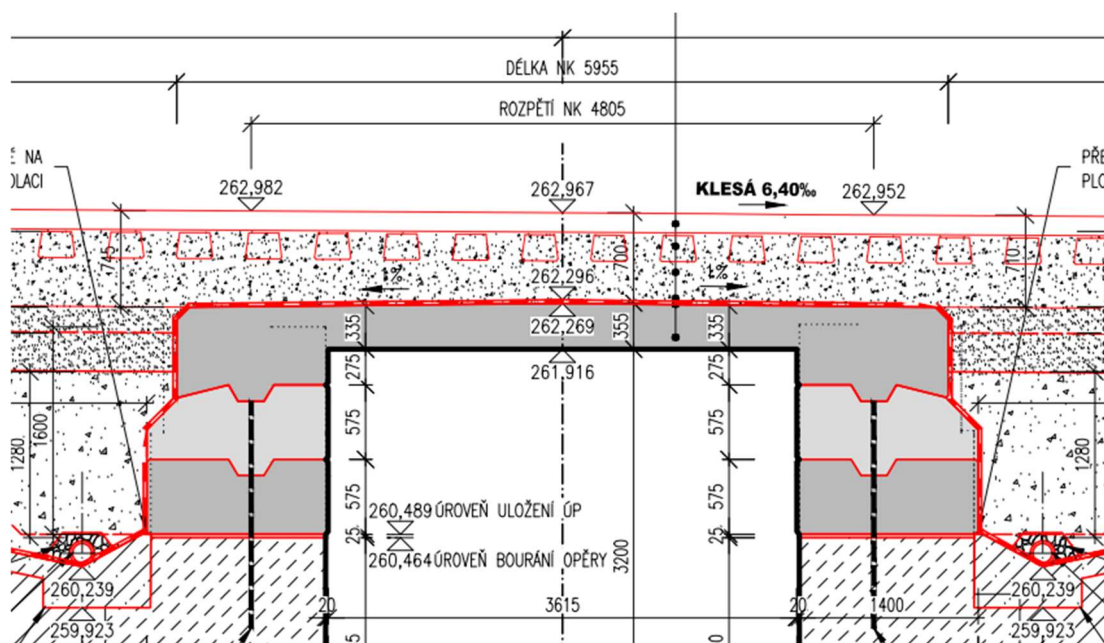
2.3 Ocelové části

Při rekonstrukci ocelových částí konstrukce je potřeba zjistit, kolik oceli na povrchu konstrukce chybí v důsledku koroze povrchu konstrukce a zdali na někde na konstrukci nevznikají únavové trhliny. Konstrukce musí být následně posouzena na nově vzniklý stav ocelové konstrukce. Pokud některé části nevyhoví je nejjednodušší výměna celých částí. Části konstrukce, který vyhoví, se opatří novým protikorozním nátěrem.

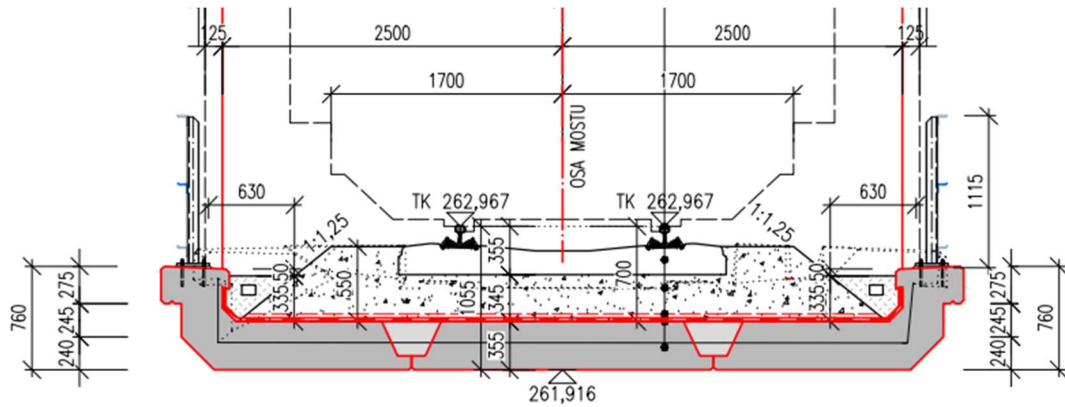
3 STAVEBNÍ ÚPRAVY

V případě, že rekonstrukce mostu vyvolá na mostě stavební úpravy, se volí technologie provádění těchto prací hlavně v závislosti na vyvolané délce výluky na železniční trati.

Práce, které je možné provést mimo most (výroba nových částí mostu), se provedou v prostoru staveniště, tak aby nebyl omezen provoz, nebo v zázemí zhotovitele oprav mostu. Pokud potřebujeme nahradit nějaké části mostu novými, je nejjednodušší nové části mostu udělat jako prefabrikované dílce. Části mostu vyrobí zhotovitel stavby ve svém zázemí nebo v blízkosti stavby, kde neovlivňují provoz, poté se převezou na místo stavby a umístí na předpřipravený povrch do stavební jámy. Prefabrikované dílce se poté spojí se stávající konstrukcí mostu. Počet prefabrikovaných dílců se volí takový, aby se s jednotlivými dílci dalo lehce pracovat pomocí techniky, kterou jsme schopni na stavbu dostat. Pokud potřebujeme nahradit celou opěru, můžeme ji poskládat z více prefabrikátů, které jsou mezi sebou spojeny i pomocí „zámku“ (viz obr. 1-3).

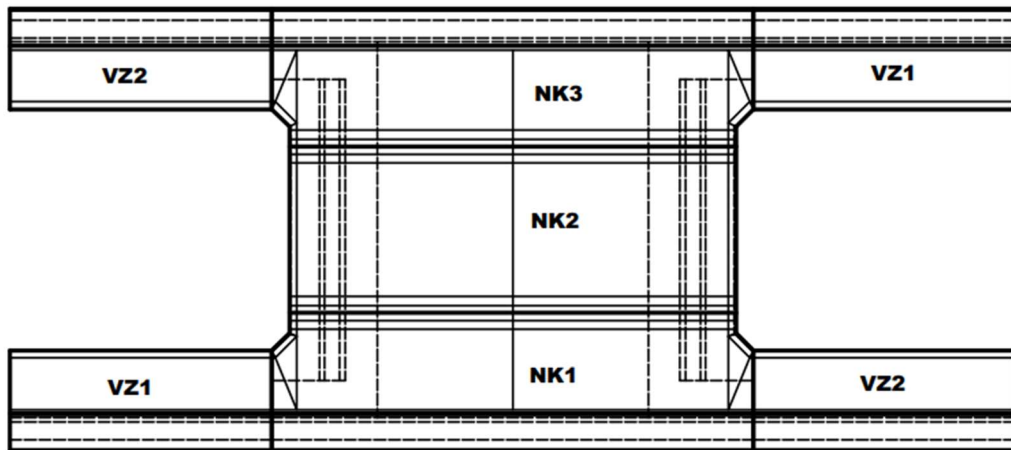


Obrázek 1 - Podélný řez mostem poskládaným z více prefabrikátů (3)

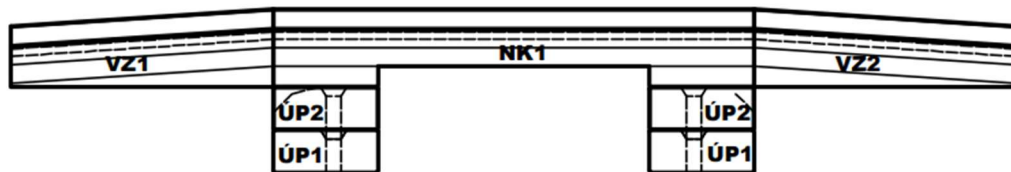


Obrázek 2 - Příčný řez mostem poskládaným z více prefabrikátů (3)

SKLADEBNÉ SCHÉMA - PŮDORYS



SKLADEBNÉ SCHÉMA - POHLED



Obrázek 3 – Skladebné schéma mostu poskládaného z více prefabrikátů (3) – NK = Nosná Konstrukce, ÚP = Úložný Práh, VZ = Vyběhová Zídka

4 MOSTY S EXTRÉMNĚ STLAČENOU MOSTOVKOU (4)

Při rekonstrukcích železničních mostů, u kterých je požadováno vyměnění nosné konstrukce, je dbáno na zachování velikosti otvoru pod mostem. Při výměně nosné konstrukce se dbá i na zvýšení komfortu dopravy a nahrazení prvkové mostovky s mostnicemi mostovkou s průjezdným kolejovým ložem. Z výše uvedených důvodů se dbá na navrhování mostů s co nejmenší stavební výškou.

Pro usnadnění práce projektantů byl vytvořen mostní vzorový list 115 (Železniční mosty s extrémně stlačenou stavební výškou) zpracovaný Správou železniční dopravní cesty (nyní Správa železnic) v květnu 2019. V rámci tohoto vzorového listu je navrženo osm typů mostů. Každý z typů mostů se hodí pro jiná rozpětí mostů a zároveň se mosty od sebe liší použitými materiály a příčnými řezy. Všechny typy mostů až na jeden jsou navrženy s průjezdným kolejovým ložem.

4.1 Most s ukloněnými plnostěnnými hlavními nosníky (MVL 115 typ 7)

Jedná se o konstrukci s otevřenými plnostěnnými hlavními nosníky, vhodnou pro rozpětí od 15 do 25 m. Vzdálenost příčníků odpovídá rozteči svislých výztuh hlavního nosníku, obvykle se volí od 1,5 do 2,0 m. Kolej je přes most převedena v železobetonovém žlabu kolejového lože. Při betonování žlabu je možné využít ztraceného bednění nebo systémového bednění. Žlab je sprážený s ocelovou konstrukcí mostu.

Největšími výhodami tohoto typu mostu je nezávislost stavební výšky na rozpětí a vysoká prostorová tuhost zajištěna železobetonovou deskou. Největší nevýhodou je nemožnost dělení mostu na jednotlivé montážní dílce a vysoká hmotnost, která omezuje montáž na využití těžkých jeřábů nebo příčného výsunu.



Obrázek 4 – Most s vylehčenou ocelobetonovou mostovkou (dle MVL 155 typ 7) v Předměřicích nad Labem



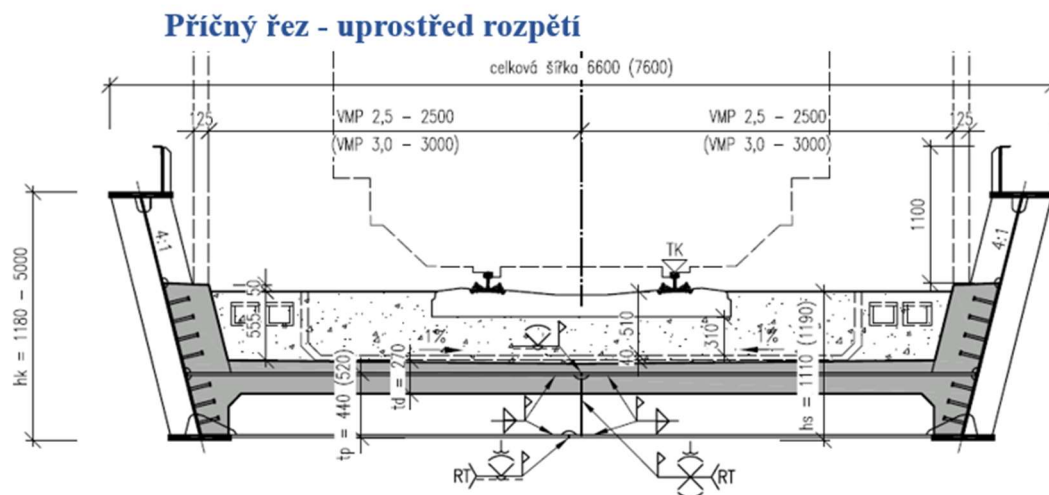
Obrázek 5 - Most s vylehčenou ocelobetonovou mostovkou (dle MVL 155 typ 7) v Předměřicích nad Labem



Obrázek 6 - Most s vylehčenou ocelobetonovou mostovkou (dle MVL 155 typ 7) v Předměřicích nad Labem

5 ZVOLENÍ TYPU MOSTU

Jako výpočtový model byl zvolen most z MVL 115 číslo 7. Tento typ mostu lze výhodně využít pro rozpětí od 10 do 35 m (viz. Obr. 7).



Obrázek 7 - Výpočtový model (4)

Parametry výpočtového modelu byly zvoleny na základě volného mostního průřezu, který ovlivňuje společně s volbou profilu nosníků i jejich vzdálenost v příčném řezu, a standardním rozpětí mostů, které se pohybuje okolo 12 m.

Délku příčníků ovlivňuje i velikost úhlu uklonění hlavních nosníků od svislé osy.

Na stavební výšce mostu má největší vliv typ zvolených příčníků. Tloušťka železobetonové desky na velikost stavební výšky nemá vliv, protože obetonování nosníků bude vždy minimálně 100 mm. Hodnota 100 mm byla získána sečtením velikosti nejmenších spřahovacích trnů (75 mm) a jejich nejmenším obetonováním (25 mm).

Aby byl návrh mostu i ekonomický musíme myslet na minimální a maximální vzdálenost příčníků, která byla zvolena 1,5 m – 2,0 m.

6 POSOUZENÍ ŽELEZOBETONOVÉ DESKY

6.1 Zatížení železobetonové desky

6.1.1 Vlastní tíha

Vlastní tíha konstrukce železobetonové desky je závislá na návrhových parametrech (tloušťce desky) viz. tab. 1.

Železobetonová deska 25 kN/m^2

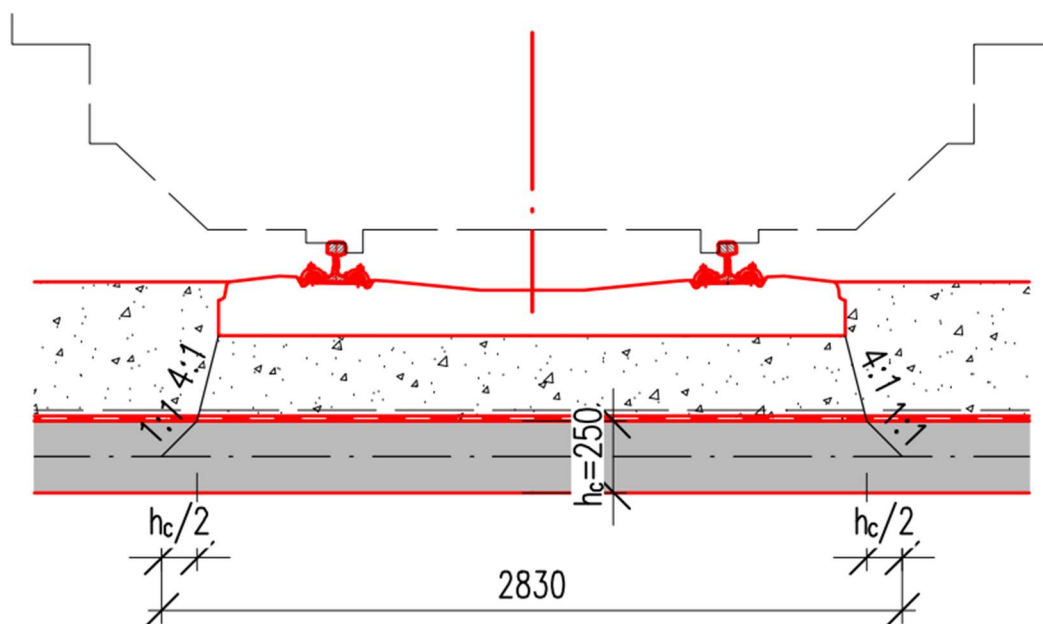
Tabulka 1 - Velikost stálého zatížení - Železobetonová deska

Tloušťka desky	Stálé
m	kN/m ²
0,250	6,250
0,275	6,875
0,300	7,500
0,325	8,125
0,350	8,750
0,375	9,375
0,400	10,000

6.1.2 Ostatní stálé zatížení

Na železobetonovou desku působí šterkové lože včetně železničních kolejnic s upevňovacími a betonovými pražci po 550 mm a ochranná izolace.

Zatížení od kolejnic a pražců se v příčném směru roznáší. Velikost plochy, jenž je ostatním zatížením postihnuta, je závislá i na tloušťce desky viz. obr. 8.



Obrázek 8 - Příčný roznos zatížení od dopravy a zatížení od kolejového roštu

Kolejový rošt 4,5 kN/m roznos na 2,58 m + tl. desky

Štěrkové lože 20 kN/m³ tl. 550 mm

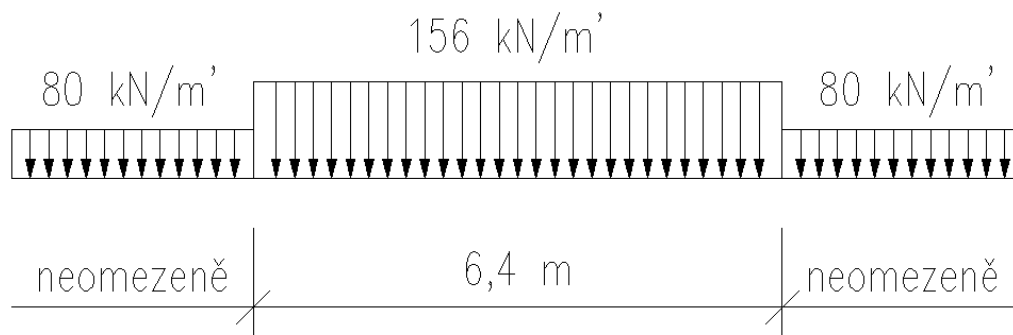
Ochranná izolace 23 kN/m³ tl. 50 mm

Tabulka 2 - Velikost ostatního stálého zatížení - Železobetonová deska

Tloušťka desky	Ostatní stále
m	kN/m ²
0,250	13,740
0,275	13,726
0,300	13,713
0,325	13,699
0,350	13,686
0,375	13,673
0,400	13,660

6.1.3 Zatížení od dopravy

Jako zatěžovací model byl zvolen LM-71. Pro zjednodušení výpočtu byla soustava středových sil nahrazena spojitým zatížením, které vyvozuje stejné zatížení viz obr. 9.



Obrázek 9 - Schéma zatížení od dopravy - Upravený LM71

Vzhledem ke vzdálenosti příčníků, která nebude větší nežli 2,0 m je vzato zatížení od dopravy rovné 156 kN/m. Toto zatížení se roznáší v příčném směru viz. obr. 8.

Klasifikační součinitel α je roven 1,1.

Výpočet dynamického součinitele

Dynamický součinitel byl stanoven dle ČSN EN 1991-2 ed.2, kap. 6.4.

$$L_{\Phi,deska} = 2 * a$$

a.....vzdálenost příčníků

$$\Phi_{3,deska} = \frac{2,16}{\sqrt{L_{\Phi} - 0,2}} + 0,73$$

$$1,0 \leq \Phi_{3,deska} \leq 2,0$$

Pro konstrukci se vzdáleností příčníků menší nežli 1,806 m musíme zvolit dynamický součinitel roven 2,0, protože není splněna podmínka $\Phi_{3,deska} \leq 2,0$. Pro konstrukce s příčnky vzdálenými více nežli 1,806 m volím velikost dynamického součinitele 2,0.

Výsledné zatížení železobetonové desky od dopravy viz. tabulka 3.

Tabulka 3 - Velikost zatížení od dopravy - Železobetonová deska

Tloušťka desky	Dynamický součinitel	Zatížení od dopravy	Klasifikovaná zatížení od dopravy
m	-	kN/m ²	kN/m ²
0,250	2	55,21201	121,4664311
0,275	2	54,72855	120,4028021
0,300	2	54,25347	119,3576389
0,325	2	53,78657	118,3304647
0,350	2	53,32765	117,3208191
0,375	2	52,87648	116,3282572
0,400	2	52,43289	115,352349

6.1.4 Kombinace zatížení – železobetonová deska

Dle ČSN EN 1990

$$(6.10a) \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$$(6.10b) \sum_{j \geq 1} \xi \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Kombinační součinitele byly získány z ČSN EN 1990.

Tabulka 4 - Kombinační součinitele - Železobetonová deska

γ_G	1,35
γ_Q	1,45
ξ	0,85
ψ_0	0,8
ψ_1	0,8
ψ_2	0

Tabulka 5 - Kombinace zatížení 6.10 - Železobetonová deska

Tloušťka desky	6.10a	6.10b	6.10 MAX
m	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²
0,250	167,888	199,065	199,065
0,275	167,479	198,224	198,224
0,300	167,092	197,410	197,410
0,325	166,726	196,622	196,622
0,350	166,381	195,860	195,860
0,375	166,055	195,123	195,123
0,400	165,750	194,411	194,411

6.2 Navržení a posouzení železobetonové desky

Na základě zvoleného počtu prutů výztuže, průměru výztuže, pevností betonu a oceli a krytí výztuže jsme schopni dopočítat moment únosnosti železobetonové desky.

$$M_{Ed} = A_s * f_{yd} * \left(d - \frac{A_s * f_{yd}}{2 * b * f_{cd}} \right)$$

Pro desku tloušťky **250 mm** vyztuženou osmy pruty o průměru **10 mm** z betonu **C30/37** je výpočet následovný:

$$d = h - c_{nom1}$$

$$h = 250 \text{ mm}$$

$$c_{nom1} = c + \frac{\emptyset}{2} = 50 + 5 = 55 \text{ mm}$$

$$d = 250 - 55 = 195 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c$$

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

$$\gamma_c = 1,5 -$$

$$f_{cd} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$$

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$\gamma_c = 1,15 -$$

$$f_{yd} = \frac{500}{1,15} = 434,783 \text{ MPa}$$

$$A_s = 8 * (\pi * \emptyset^2 / 4) = 8 * (\pi * 10^2 / 4) = 628,319 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 M_{Ed} &= A_s * f_{yd} * \left(d - \frac{A_s * f_{yd}}{2 * b * f_{cd}} \right) \\
 &= 628,319 * 434,783 * \left(195 - \frac{628,319 * 434,783}{2 * 1000 * 20} \right) \\
 &= 51\,404\,774 \text{ mNm} = \mathbf{51,405 \text{ kNm}}
 \end{aligned}$$

Ze vztahu mezi spojitým zatížením a momentem ($M = \frac{1}{10} * q * l^2$) jsme schopni po odvození vzorce dopočítat pro jakou maximální vzdálenost příčníků je železobetonová deska ještě únosná ($l = \sqrt{\frac{10 * M_{Ed}}{q}}$). Výslednou vzdálenost příčníků zaokrouhlíme na nejbližší nižší čtvrt metr. S takto zvolenou vzdáleností příčníků provedeme celý posudek železobetonové desky.

$$l = \sqrt{\frac{10 * M_{Ed}}{q}}$$

$$q = 199,065 \text{ kN/m}^2$$

$$l = \sqrt{\frac{10 * 51,405}{199,065}} = \mathbf{1,606 \text{ m}}$$

Volím: $l = \mathbf{1,5 \text{ m}}$

$$M_{Rd} = \frac{1}{10} * q * l^2 = \frac{1}{10} * 199,065 * 1,5^2 = \mathbf{44,789 \frac{kNm}{m}}$$

$$M_{Rd} \leq M_{Ed} \Rightarrow \mathbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení desky

$$F_c = F_s$$

$$F_c = 0,8 * x * b * f_{cd}$$

$$x = \frac{A_s * f_{yd}}{0,8 * b * f_{cd}} = \frac{628,319 * 434,783}{0,8 * 1000 * 20} = \mathbf{17,0738 \text{ mm}}$$

$$z = d - 0,4 * x = 195 - 0,4 * 17,07 = \mathbf{188,171 \text{ mm}}$$

$$F_c = 0,8 * 17,073 * 1000 * 20 = \mathbf{273,182 \text{ kN}}$$

$$F_s = A_s * f_{cd} = 628,319 * 434,783 = 273\,182\, N = \mathbf{273,182\, kN}$$

$$F_c = F_s \quad \text{VYHOVÍ}$$

$$M_{Ed} \leq M_{Sd}$$

$$M_{Sd} = F_s * z = 273,182 * 188,171 = 51\,404,7\, Nm = \mathbf{51,405\, kNm}$$

$$M_{Ed} = \mathbf{51,405\, kNm}$$

$$M_{Ed} = M_{Sd} \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení rotační kapacity

$$\frac{x_u}{d} \leq 0,45$$

$$\frac{17,0738}{195} \leq 0,45$$

$$0,0875 \leq 0,45 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení plochy výztuže

$$A_{s,min} \leq A_s \leq A_{s,max}$$

$$A_{s,min} = 0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * b_t * d$$

$$f_{ctm} = 2,6\, MPa$$

$$A_{s,min} = 0,26 * \frac{2,6}{500} * 1000 * 195 = \mathbf{294,06\, mm^2}$$

$$A_{s,max} = 0,04 * A_c$$

$$A_c = b * h = 1000 * 250 = \mathbf{250\,000\, mm^2}$$

$$A_{s,max} = 0,04 * A_c = 0,04 * 250\,000 = \mathbf{1000\, mm^2}$$

$$A_{s,min} \leq A_s \leq A_{s,max}$$

$$294,06 \leq 628,318 \leq 1000$$

VYHOVÍ

Posouzení mezního stavu použitelnosti (omezení napětí, šířka trhlin a průhyb) bylo provedeno v programu Microsoft Excel a všechny zvolené kombinace výztuže a tloušťky desky vyhověly. Při posouzení MSP bylo předpokládáno vyztužení desky i v tlačené části desky, a to polovinou výztuže z části tažené.

7 POSOUZENÍ PŘÍČNÍKŮ

Statické posouzení únosnosti příčnicku počítáme jako prostý oboustranně vetknutý nosník. Podle volby vazby mezi příčnickem a železobetonovou deskou vytvoříme dva výpočtové modely:

- oboustranně vetnutý nosník, bez spolupůsobení s železobetonovou deskou,
- spřaženou konstrukci vytvořenou spolupůsobením železobetonové desky a ocelového příčnicku.

Návrhové parametry (ohybový moment a smyková síla), které na konstrukci působí, jsou v obou případech stejné.

7.1 Zatížení příčnicků

7.1.1 Vlastní tíha

Vlastní tíha, která působí na příčnicků, se skládá z tíhy konstrukce železobetonové desky a vlastní tíhy příčnicků. Tíha železobetonové desky je závislá na návrhových parametrech (tloušťce desky) viz. tab. 1. Vlastní tíha příčnicku závisí na zvoleném typu příčnicku (viz. Excel).

Železobetonová deska 25 kN/m²

7.1.2 Ostatní stálé zatížení

Na příčnicků se přenáší zatížení z povrchu železobetonové desky. Na železobetonovou desku působí štěrkové lože včetně železničních kolejnic s upevňovacími a betonovými pražci po 550 mm a ochranná izolace.

Zatížení od kolejnic a pražců se v příčném směru roznáší. Velikost plochy, jenž je ostatním zatížením postihnuta, je závislá i na tloušťce desky viz. obr. 8.

Kolejový rošt 4,5 kN/m roznos na 2,58 m + tl. desky

Štěrkové lože 20 kN/m³ tl. 550 mm

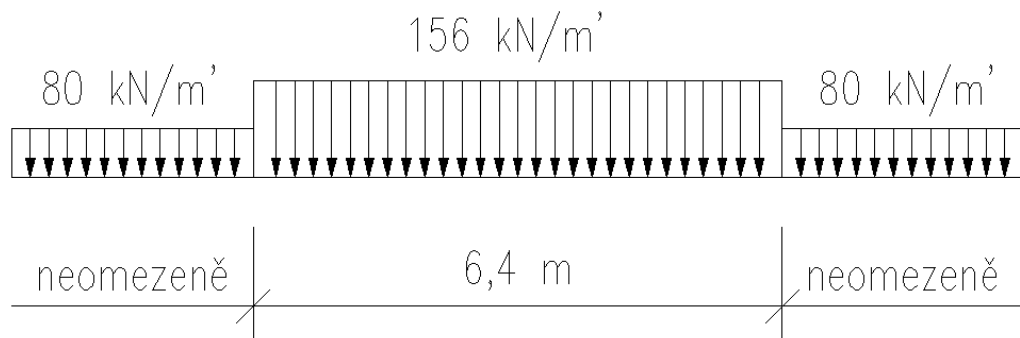
Ochranná izolace 23 kN/m³ tl. 50 mm

Tabulka 6 - Velikost stálého a ostatního stálého zatížení působícím na příčníky

Tloušťka desky	Zatížení bez dopravy		Zatížení s dopravou	
	Stálé	Ostatní stálé	Stálé	Ostatní stálé
m	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²
0,250	6,250	12,150	6,250	13,740
0,275	6,875	12,150	6,875	13,726
0,300	7,500	12,150	7,500	13,713
0,325	8,125	12,150	8,125	13,699
0,350	8,750	12,150	8,750	13,686
0,375	9,375	12,150	9,375	13,673
0,400	10,000	12,150	10,000	13,660

7.1.3 Zatížení od dopravy

Jako zatěžovací model byl zvolen LM-71. Pro zjednodušení výpočtu byla soustava středových sil nahrazena spojitým zatížením, které vyvozuje stejné zatížení viz obr. 10.



Obrázek 10 - Schéma zatížení od dopravy - Upraveny LM71

Vzhledem ke vzdálenosti příčníků, která nebude větší nežli 2,0 m je vzato zatížení od dopravy rovné 156 kN/m. Toto zatížení se roznáší v příčném směru viz. obr. 8.

Klasifikační součinitel α je roven 1,1.

Výpočet dynamického součinitele

Dynamický součinitel byl stanoven dle ČSN EN 1991-2 ed.2, kap. 6.4.

$$L_{\Phi, \text{deska}} = 2 * a$$

a.....délka příčníků

$$L_{\Phi, \text{příčník}} = 2 * 5,25 = 10,5 \text{ m}$$

$$\Phi_{3,\text{příčnick}} = \frac{2,16}{\sqrt{L_{\Phi} - 0,2}} + 0,73 = \frac{2,16}{\sqrt{10,5 - 0,2}} + 0,73 = 1,44044$$

$$1,0 \leq \Phi_{3,\text{příčnick}} \leq 2,0 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Pro model je vzdálenost příčníků konstantní, pokud se nebude měnit šířka pásnic hlavních nosníků, která byla zvolena 500 mm.

Výsledné zatížení železobetonové desky od dopravy viz. tabulka 7.

Tabulka 7 - Velikost zatížení od dopravy - příčnicky

Tloušťka desky	Dynamický součinitel	zatížení od dopravy	Klasifikovaná zatížení
m	-	kN/m ²	kN/m ²
0,250	1,440	55,212	87,483
0,275	1,440	54,729	86,716
0,300	1,440	54,253	85,964
0,325	1,440	53,787	85,224
0,350	1,440	53,328	84,497
0,375	1,440	52,876	83,782
0,400	1,440	52,433	83,079

7.1.4 Kombinace zatížení – příčnicky

Dle ČSN EN 1990

$$(6.10a) \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

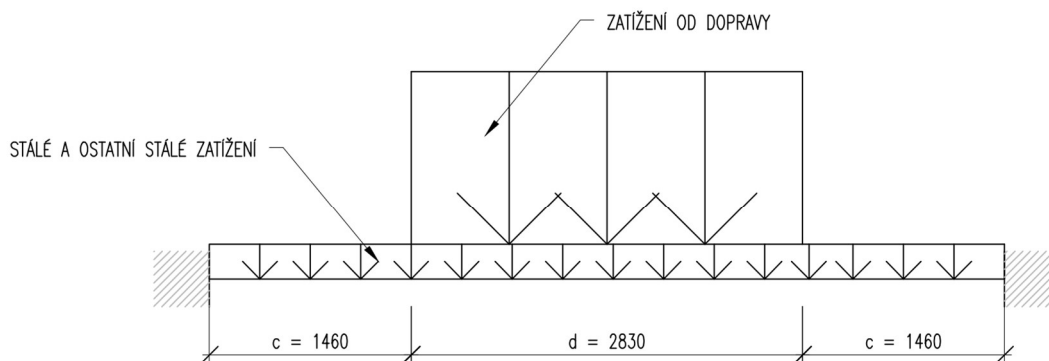
$$(6.10b) \sum_{j \geq 1} \xi \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Kombinační součinitele byly získány z ČSN EN 1990.

Tabulka 8 - Velikosti kombinačních součinitelů pro výpočet kombinací - příčnicky

γ_G	1,35
γ_Q	1,45
ξ	0,85
ψ_0	0,8
ψ_1	0,8
ψ_2	0

Výsledné kombinace zatížení jsou patrné z tabulek 9, 10, 11 a 12. Kombinace byly stanoveny pro zatížení s dopravou a bez dopravy, protože na okrajích desky u hlavních nosníků nepůsobí zatížení od dopravy (viz. Obr. 11).



Obrázek 11 - Roznos zatížení na příčník

K výsledným kombinacím zatížení je ještě potřeba připočítat zatížení od vlastní tíhy příčníku.

Tabulka 9 - Výsledné kombinace 6.10 zatížení příčníků - Zatížení bez dopravy

Tloušťka desky	6.10a	6.10b	6.10 MAX
m	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²
0,250	24,840	21,114	24,840
0,275	25,684	21,831	25,684
0,300	26,528	22,548	26,528
0,325	27,371	23,266	27,371
0,350	28,215	23,983	28,215
0,375	29,059	24,700	29,059
0,400	29,903	25,417	29,903

Tabulka 10 - Výsledné kombinace 6.10 zatížení příčníků - Zatížení s dopravou

Tloušťka desky	6.10a	6.10b	6.10 MAX
m	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²
0,250	128,466	149,788	149,788
0,275	128,403	149,379	149,379
0,300	128,355	148,989	148,989
0,325	128,322	148,618	148,618
0,350	128,305	148,265	148,265
0,375	128,302	147,931	147,931
0,400	128,313	147,615	147,615

Pro posouzení příčníků na mezní stav použitelnosti potřebujeme znát i ostatní kombinace zatížení.

Charakteristická kombinace: $\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} Q_{k,i}$

Častá kombinace: $\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{1,i} Q_{k,i}$

Kvazistálá kombinace: $\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$

Tabulka 11 - Výsledné kombinace zatížení příčníků - Zatížení bez dopravy

Tloušťka desky	Charakteristická kombinace	Častá kombinace	Kvazistálá kombinace
m	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²
0,25	18,400	18,400	18,400
0,275	19,025	19,025	19,025
0,3	19,650	19,650	19,650
0,325	20,275	20,275	20,275
0,35	20,900	20,900	20,900
0,375	21,525	21,525	21,525
0,4	22,150	22,150	22,150

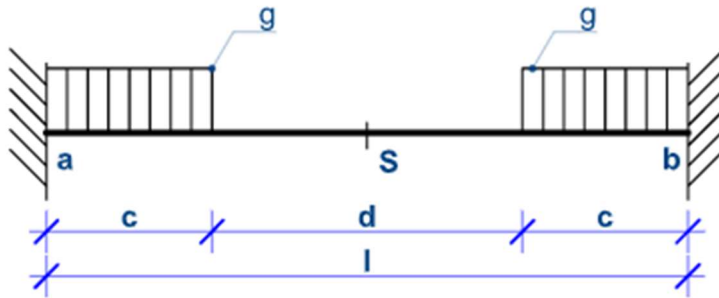
Tabulka 12 - Výsledné kombinace zatížení příčníků - Zatížení s dopravou

Tloušťka desky	Charakteristická kombinace	Častá kombinace	Kvazistálá kombinace
m	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²
0,25	107,473	89,976	19,990
0,275	107,318	89,974	20,601
0,3	107,176	89,983	21,213
0,325	107,048	90,003	21,824
0,35	106,933	90,033	22,436
0,375	106,830	90,073	23,048
0,4	106,739	90,123	23,660

7.2 Posouzení příčníků bez spolupůsobení příčnicku a desky

Výsledné vnitřní síly působící na příčník získáme sečtením příspěvku vnitřních sil od zatížení bez dopravy a s dopravou.

Moment od zatížení bez dopravy

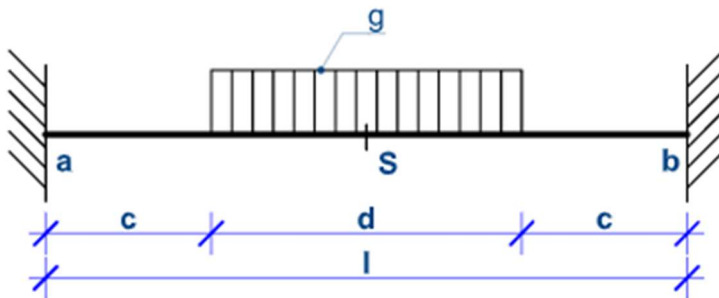


Obrázek 12 - Schéma zatížení příčnicku se zatížením bez dopravy (5)

$$M_{max,1} = M_{a,1} = M_{b,1} = \frac{g_1 * c^2}{6 * l} * (2 * l + d)$$

$$V_{max,1} = V_{a,1} = V_{b,1} = g_1 * c$$

Moment od zatížení s dopravou



Obrázek 13 - Schéma zatížení příčnicku se zatížením s dopravou (6)

$$M_{max,2} = M_{a,2} = M_{b,2} = \frac{g_2 * d}{24 * l} * (3 * l^2 - d^2)$$

$$V_{max,2} = V_{a,2} = V_{b,2} = g_2 * d/2$$

Výsledný moment

$$M_{max} = M_{max,1} + M_{max,2} = \frac{g_1 * c^2}{6 * l} * (2 * l + d) + \frac{g_2 * d}{24 * l} * (3 * l^2 - d^2)$$

$$V_{max} = V_{max,1} = V_{max,2} = g_1 * c + g_2 * d/2$$

$$l = 5,75 \text{ m}$$

$$g_1 = 24,84 \text{ kN/m}^2 \quad \text{Při tloušťce desky 250 mm}$$

$$g_2 = 149,78 \text{ kN/m}^2 \quad \text{Při tloušťce desky 250 mm}$$

$$c = 1,46 \text{ m} \quad \text{Při tloušťce desky 250 mm}$$

$$d = 2,83 \text{ m} \quad \text{Při tloušťce desky 250 mm}$$

$$\begin{aligned} M_{max} &= \frac{g_1 * c^2}{6 * l} * (2 * l + d) + \frac{g_2 * d}{24 * l} * (3 * l^2 - d^2) = \\ &= \frac{24,84 * 1,46^2}{6 * 5,75} * (2 * 5,75 + 2,83) + \frac{149,78 * 2,83}{24 * 5,75} * (3 * 5,75^2 - 2,83^2) = \end{aligned}$$

$$M_{max} = 302,070 \text{ kNm/m'}$$

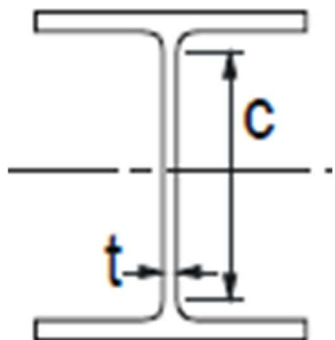
$$V_{max} = g_1 * c + g_2 * \frac{d}{2} = 24,84 * 1,46 + 149,78 * \frac{2,83}{2} = 248,22 \text{ kN/m'}$$

7.2.1 Posouzení příčníků bez spolupůsobení příčnicku a desky – Posouzení ohyb

Pro vybrané válcované I profily si dohledáme v ocelářských tabulkách modul průřezu v ohybu okolo osy y a dopočítáme momentovou únosnost takového profilu. Z velikosti zatížení spočteme velikost ohybového momentu působícím na příčnicku na metr běžný (odpovídá velikosti momentu při vzdálenosti příčníků 1 m). Momentovou únosnost podělíme velikostí ohybového momentu na metr běžný a získáme maximální možnou vzdálenost příčníků, pro kterou nám daný průřez vyhoví na ohyb.

Průřez: HE300M

Nejprve si musíme určit třídu průřezu pro případné zmenšení průřezů v důsledku lokálního boulení stěny. Všechny průřezy příčníků jsou válcované I profily.



Obrázek 14 - Velikosti rozměrů pro posudek třídy průřezu - ČSN EN 1993-1-1

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{2235/235} = 1$$

$$t = t_w = 21 \text{ mm}$$

$$c = h - 2 * r - 2 * t_f$$

$$h = 340 \text{ mm}$$

$$r = 27 \text{ mm}$$

$$t_f = 39 \text{ mm}$$

$$c = 340 - 2 * 27 - 2 * 39 = 208 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{208}{21} = 9,9048 \leq 72\varepsilon$$

⇒ třída průřezu 1

Všechny ostatní profily byly prověřeny v programu Microsoft excel. Všechny profily byly zahrnuty do 1. třídy průřezu.

Od momentu únosnosti průřezu musíme nejprve odečíst ohybový moment, který nám vyvolá zatížení příčniku vlastní tíhou, přenásobený kombinačními koeficienty.

Snížený moment únosnosti podělíme momentem od zatížení, tím získáme maximální možnou vzdálenost příčníků, pro kterou je daný průřez únosný.

Moment od vlastní tíhy profilu HE30M

$$\mathbf{m = 238 \text{ kg/m}}$$

$$M_m = \frac{1}{12} * l^2 * (m * g * \xi * \gamma_{G,j}) \quad (6.10b \text{ ČSN EN 1990})$$

$$M_m = \frac{1}{12} * 5,75^2 * (238 * 9,80665 * 0,85 * 1,35)$$

$$\mathbf{M_m = 7,379 \text{ kNm}}$$

$$M_{Pl,Rd} = \frac{w_{el,y} f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$\mathbf{w_{el,y} = 3,45 * 10^{-3} \text{ m}^3}$$

$$\mathbf{f_y = 235 \text{ MPa}}$$

$$\mathbf{\gamma_{M1} = 1,0}$$

$$M_{Pl,Rd} = \frac{w_{el,y} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3,45e^{-3} * 235e^6}{1,00} = \mathbf{810,75 \text{ kN.m}}$$

Maximální vzdálenost příčníků (x) pro průřez HE300M – momentová únosnost

$$\mu_1 = \frac{\sigma_{x,Ed}}{f_{yd}} \leq 1,0$$

$$\mu_1 = \frac{M_{max} * x + M_m}{M_{Pl,Rd}} \leq 1,0$$

$$x = \frac{M_{Pl,Rd} - M_m}{M_{max}} = \frac{(810,75 - 7,379)}{302,07} = \mathbf{2,66 \text{ m}}$$

7.2.2 Posouzení příčníků bez spolupůsobení příčníku a desky – Posouzení smyk

Při posouzení průřezu na smyk musíme nejprve určit smykovou únosnost profilu (V_{Rd}). Pro výpočet posouzení průřezu na smyk potřebujeme stanovit příspěvek k smykové síle od vlastní tíhy příčníku (V_m).

Průřez: HE300M

$$V_{Pl,Rd} = \frac{f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} A_v$$

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

$$A_v = A - 2 * t_f * (b - 2 * r - t_w)$$

$$A = 30\,310 \text{ mm}^2$$

$$t_f = 39 \text{ mm}$$

$$b = 310 \text{ mm}$$

$$r = 27 \text{ mm}$$

$$t_w = 21 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_v &= 30\,310 - 2 * 39 * (310 - 2 * 27 - 21) \\ &= 11\,980 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\gamma_{M0} = 1,0$$

$$V_{Pl,Rd} = \frac{235}{\sqrt{3} * 1,0} * 11\,980 = \mathbf{1\,625,41 \text{ kN}}$$

$$\mathbf{m = 238 \text{ kg/m}}$$

$$V_m = \frac{1}{2} * l * (m * g * \xi * \gamma_{G,j}) \quad (6.10b \text{ ČSN EN 1990})$$

$$V_m = \frac{1}{2} * 5,75 * (238 * 9,80665 * 0,85 * 1,35) = \mathbf{7,7 \text{ kN}}$$

$$\mu_3 = \frac{V_{max} * x + V_m}{V_{Pl,Rd}} \leq 1,0$$

$x = 2,31 \text{ m}$ viz. Předchozí kapitola

$$\mu_3 = \frac{248,22 * 2,31 + 7,7}{1\ 625,41} = 0,410877 \leq 1,0$$

VYHOVÍ

7.2.3 Posouzení příčníků bez spolupůsobení příčnicku a desky – Posouzení interakce mezi smykovou silou a ohybovým momentem

Vzhledem ke zvolenému výpočtovému modelu příčníků (oboustranně vetknutý nosník) se nachází maximální smykové síly i maximální ohybové momenty v místě vetknutí příčníků do hlavních nosníků, z toho důvodu je potřeba provést posouzení průřezu na interakci mezi smykovou silou a ohybovým momentem.

$$\mu_3 < 0,5 \rightarrow 0,4109 < 0,5 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posudek na interakci mezi ohybovým momentem a smykovou silou se provádět pro příčník průřezu HE300M nemusí. Průřez vyhovuje podmínce $\mu_3 < 0,5$. Při volbě vzdálenosti příčníků menší nežli 2,31 m bude profil HE300M dostatečně únosný, aby přenesl všechna návrhová zatížení konstrukce.

V případě průřezu, který podmínce nevyhovuje musíme provést posudek interakce mezi smykovou silou a ohybovým momentem.

Průřez: HE450B

Posouzení na ohyb:

$$m = 171 \text{ kg/m}$$

$$M_m = 5,301 \text{ kN.m}$$

$$M_{PL,Rd} = \frac{w_{el,y} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3,45e^{-3} * 235e^6}{1,00} = 834,25 \text{ kN.m}$$

$$x = \frac{M_{pl,Rd} - M_m}{M_{max}} = \frac{(834,25 - 5,301)}{302,07} = 2,74 \text{ m}$$

$$x = 2,744 \text{ 221 m}$$

Posouzení na smyk:

$$V_m = 5,532 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} A_v = \frac{235}{\sqrt{3} * 1,0} * 11\,980$$

$$= 1\,625,41 \text{ kN}$$

$$\mu_3 = \frac{V_{max} * x + V_m}{V_{pl,Rd}} = \frac{248,22 * 2,744 + 5,532}{1\,625,41} =$$

$$\mu_3 = 0,52 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení interakce mezi smykem a ohybem:

$$\mu_3 < 0,5 \rightarrow 0,52 < 0,5 \quad \text{NEVYHOVÍ}$$

$$\mu_1 + \left[1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \right] [2\mu_3 - 1]^2 \leq 1,0$$

$$\mu_1 = 1,0$$

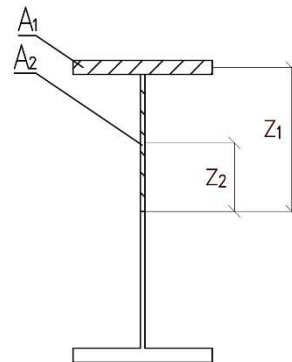
$$M_{f,Rd} = \frac{w_{pl1} f_y}{\gamma_{M1}} = 3,307e^{-3} * \frac{235e^6}{1} = 777\,192 \text{ N.m} = 777,192 \text{ kN.m}$$

$$w_{pl1} = 2A_1 z_1 = 2 * (300 * 26) * 212 = 3,307e^6 \text{ mm}^3 = 3,3,7e^{-3} \text{ m}^3$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{w_{pl2} f_y}{\gamma_{M1}} = 3,861e^{-3} * \frac{235e^6}{1} = 907\,479 \text{ N.m} = 907,479 \text{ kN.m}$$

$$w_{pl2} = 2A_1 z_1 + 2A_2 z_2 = 2 * (300 * 26) * 212 + 2 * (199 * 14) * 99,5$$

$$= 3,861e^6 \text{ mm}^3 = 3,861e^{-3} \text{ m}^3$$



$$\begin{aligned}\mu_1 + \left[1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right] [2\mu_3 - 1]^2 &= 1 + \left[1 - \frac{777,192}{907,479}\right] [2 * 0,52 - 1]^2 \\ &= 1,0002262 \leq 1,0\end{aligned}$$

NEVYHOVÍ

Protože průřez při posouzení na interakci mezi smykovou silou a ohybovým momentem nevyhoví, musíme zmenšit vzdálenost příčníků (x). Do rovnice posouzení interakce mezi smykovou silou a ohybovým momentem jsem dosadil z posudku na únosnost průřezu v ohybu (μ_1) a posouzení stěny ve smyku (μ_3). Výslednou rovnici jsem upravil a získal kvadratickou rovnici s neznámou vzdáleností příčníků (x). Vyřešením kvadratické rovnice jsem získal dva kořeny rovnice. Jeden z kořenů je záporný a druhý kladný. Protože neexistuje záporná velikost vzdálenosti příčníků, je hledaným výsledkem kladný kořen.

$$\begin{aligned}\mu_1 + \left[1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right] [2\mu_3 - 1]^2 &\leq 1 \\ \mu_1 + \left[1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right] [2\mu_3 - 1]^2 &= \\ &= \frac{M_{max} * x + M_m}{M_{pl,Rd}} + \left[1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right] \left[2 \frac{V_{max} * x + V_m}{V_{pl,Rd}} - 1\right]^2 = \\ &= \frac{M_{max}}{M_{pl,Rd}} * x + \frac{M_m}{M_{pl,Rd}} + \left[1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right] \left[4 \frac{(V_{max} * x + V_m)^2}{V_{pl,Rd}^2} - 4 \frac{V_{max} * x + V_m}{V_{pl,Rd}} + 1\right] \\ &= \frac{M_{max}}{M_{pl,Rd}} * x + \frac{M_m}{M_{pl,Rd}} + 4 \left[1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right] \frac{(V_{max}^2 * x^2 + 2V_{max} * V_m * x + V_m^2)}{V_{pl,Rd}^2} \\ &\quad - 4 \left[1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right] \frac{V_{max} * x + V_m}{V_{pl,Rd}} + \left[1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right] =\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \left\{ 4 \left[1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \right] \frac{V_{max}^2}{V_{Pl,Rd}^2} \right\} x^2 \\
&\quad + \left\{ \frac{M_{max}}{M_{Pl,Rd}} + 4 \left[1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \right] \frac{2V_{max} * V_m}{V_{Pl,Rd}^2} - 4 \left[1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \right] \frac{V_{max}}{V_{Pl,Rd}} \right\} x \\
&\quad + \left\{ \frac{M_m}{M_{Pl,Rd}} + 4 \left[1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \right] \frac{V_m^2}{V_{Pl,Rd}^2} - 4 \left[1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \right] \frac{V_m}{V_{Pl,Rd}} \right. \\
&\quad \left. + \left[1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \right] \right\} = 1
\end{aligned}$$

$$ax^2 + bx + c = 0$$

$$a = 4 \left[1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \right] \frac{V_{max}^2}{V_{Pl,Rd}^2}$$

$$b = \frac{M_{max}}{M_{Pl,Rd}} + 4 \left[1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \right] \frac{2V_{max} * V_m}{V_{Pl,Rd}^2} - 4 \left[1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \right] \frac{V_{max}}{V_{Pl,Rd}}$$

$$c = \frac{M_m}{M_{Pl,Rd}} + 4 \left[1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \right] \frac{V_m^2}{V_{Pl,Rd}^2} - 4 \left[1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \right] \frac{V_m}{V_{Pl,Rd}} + \left[1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \right] - 1$$

$$x = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$x = 2,743\ 603\ \text{m}$$

Provedení ověření výsledků:

$$\mu_1 = \frac{\sigma_{x,Ed}}{f_{yd}} \leq 1,0$$

$$\mu_1 = \frac{M_{max} * x + M_m}{M_{Pl,Rd}} = \frac{302,07 * 2,74 + 5,301}{834,25} = 0,999775 \leq 1,0$$

VYHOVÍ

$$\mu_3 = \frac{V_{max} * x + V_m}{V_{Pl,Rd}} = \frac{248,22 * 2,25 + 5,532}{1\ 320,95} = 0,5197 \leq 1,0$$

VYHOVÍ

$$\mu_1 + \left[1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \right] [2\mu_3 - 1]^2 = 0,999775 + \left[1 - \frac{777,192}{907,479} \right] [2 * 0,51973 - 1]^2$$

$$= 1,0 \leq 1,0$$

VYHOVÍ

Při volbě vzdálenosti příčníků menší nežli 2,74 m bude profil HE450B dostatečně únosný, aby přenesl všechna návrhová zatížení konstrukce.

7.2.4 Posouzení příčníků bez spolupůsobení příčnicku a desky – Klopení

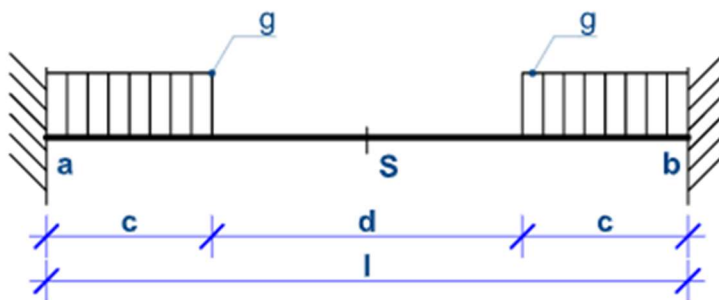
Vzhledem k tomu, že bude ocelový profil příčnicku obetonovaný v celé své výšce (až na dolní pásnici), se lze předpokládat nulové riziko globální ztráty stability příčnicku klopením.

7.2.5 Posouzení příčníků bez spolupůsobení příčnicku a desky – Posouzení průhyb

Průhyb příčnicku nesmí přesáhnout limitní hodnotu ($l/400$), aby průřez vyhověl na mezní průhyb. Zároveň nesmíme zapomenout na průhyb příčnicku při výpočtu průhybu hlavního nosníku, protože při průhybu celé konstrukce bude průhyb příčnicku snižovat mezní hodnotu průhybu hlavního nosníku.

Při výpočtu průhybu nosníku jsem postupoval podobně jako při výpočtu vnitřních sil, kdy výsledný průhyb byl získán interpolací průhybů od zatížení s dopravou a bez dopravy.

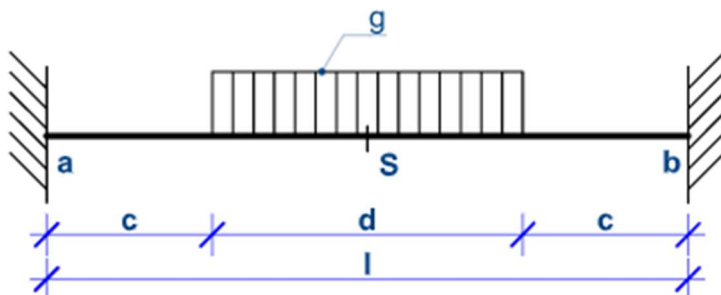
Průhyb od zatížení bez dopravy



Obrázek 15 - Schéma zatížení příčníků se zatížením bez dopravy (5)

$$w_{s,1} = \frac{g_1 * l^4}{48 * E * I_y} * \left(\frac{c}{l} \right)^3 * \left(1 - 2 * \frac{c}{l} \right)$$

Průhyb od zatížení s dopravou



Obrázek 16 - Schéma zatížení příčnicku se zatížením s dopravou (6)

$$w_{s,1} = \frac{g_2 * l^4}{384 * E * I_y} * \frac{d}{l} * \left\{ 2 * \left[1 - \left(\frac{d}{l} \right)^3 + \left(\frac{d}{l} \right)^3 \right] \right\}$$

Výsledný průhyb nosníku uprostřed rozpětí

$$w_{s,př} = w_{s,1} + w_{s,2} =$$

$$= \frac{g_1 * l^4}{48 * E * I_y} * \left(\frac{c}{l} \right)^3 * \left(1 - 2 * \frac{c}{l} \right) + \frac{g_2 * l^4}{384 * E * I_y} * \frac{d}{l} * \left\{ 2 * \left[1 - \left(\frac{d}{l} \right)^3 + \left(\frac{d}{l} \right)^3 \right] \right\}$$

$$l = 5,75 \text{ m}$$

$$g_1 = x * 18,4 \text{ kN/m}^2$$

Při tloušťce desky 250 mm

V předchozí kapitole jsme určili maximální možnou vzdálenost příčníků ($x = 2,74 \text{ m}$), protože příčníky budeme volit v maximální vzdálenosti 2 m, vzdálenost příčníků zmenšíme na 2,0 m.

$$g_1 = 2 * 18,4 = 36,8 \text{ kN/m}^2$$

$$g_2 = x * 107,47 \text{ kN/m}^2$$

Při tloušťce desky 250 mm

$$g_2 = 2 * 107,47 = 214,94 \text{ kN/m}^2$$

$$c = 1,46 \text{ m}$$

Při tloušťce desky 250 mm

$$d = 2,83 \text{ m}$$

Při tloušťce desky 250 mm

$$E = 210 \text{ GPa}$$

$$I_{y,HE3} = 5,92e^{-4} m^4$$

$$w_{s,př} = \frac{36,8 * 10^3 * 5,75^4}{48 * 210 * 10^9 * 5,92 * 10^{-4}} * \left(\frac{1,46}{5,75}\right)^3 * \left(1 - 2 * \frac{1,46}{5,75}\right) + \frac{2014,94 * 10^3 * 5,75^4}{384 * 210 * 10^9 * 5,92 * 10^{-4}} * \frac{2,83}{5,75} * \left\{2 * \left[1 - \left(\frac{2,83}{5,75}\right)^3 + \left(\frac{2,83}{5,75}\right)^3\right]\right\}$$

$$w_{s,př} = 4,36 \text{ mm}$$

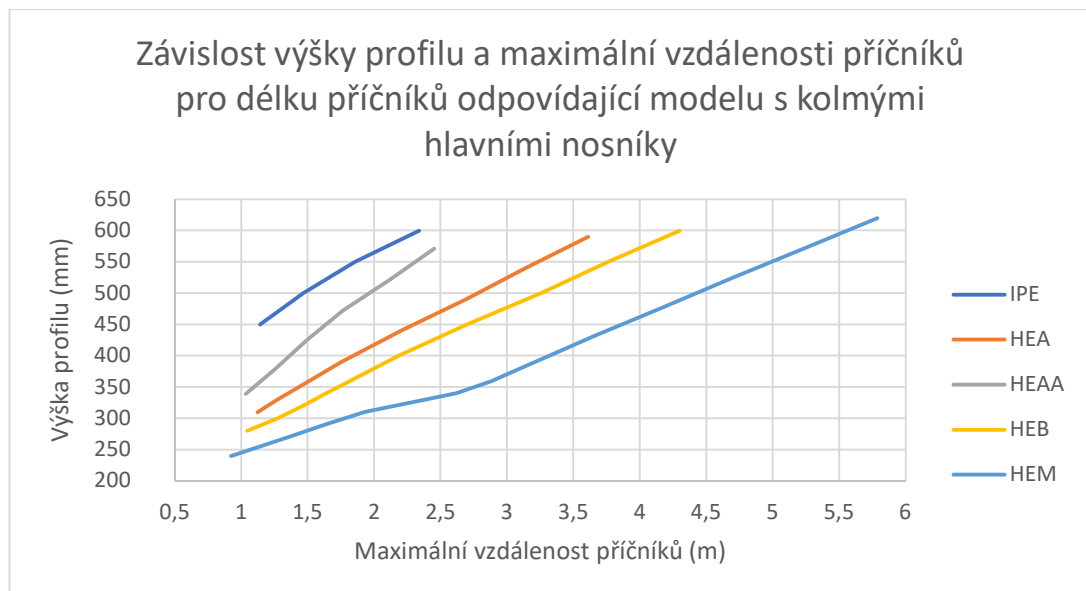
$$w_{s,lim} = \frac{1}{400} = \frac{5,75}{400} = 0,0143 \text{ m} = 14,375 \text{ mm}$$

$$w_s \leq w_{s,lim}$$

VYHOVÍ

7.2.6 Vyhodnocení různých profilů příčníků, které nespolupůsobí s deskou

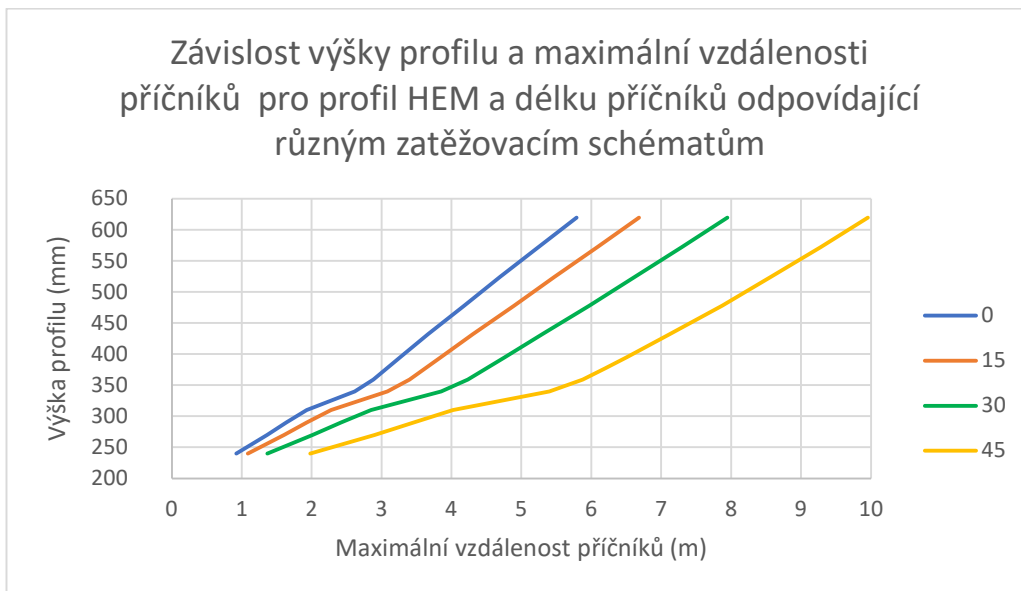
Při porovnání závislosti stavební výšky (výšky I-profilů) a vzdálenosti příčníků je jasné, že nejlepší profily pro snížení stavební výšky jsou typu HEM (Graf 1). Profily typu HEM mají na rozdíl od ostatních válcovaných profilů masivní pásnici i stojinu, proto jsou únosnější i při nižších výškách profilů. Z výše uvedeného důvodu budou voleny příčnky do strojového výpočtu typu HEM.



Graf 1 - Závislost výšky profilu a maximální vzdálenosti příčníků pro délku příčníků odpovídající modelu s kolmými hlavními nosníky

Při porovnání možné vzdálenosti příčníků a použitím různého uklonění (viz. Graf 2) je patrné, že mosty s větším ukloněním hlavních nosníků a s menší délkou příčníků

mohou mít příčníky dále od sebe. To je způsobeno nižšími vnitřními silami, kde do výpočtu ohybových momentů na příčníku vstupuje vzdálenost příčníku ve druhé mocnině. Zároveň se snižuje celkové přenesené zatížení, protože spojitě zatížení od dopravy působí na menší vzdálenosti, zatímco vzdálenost, na které působí spojitě zatížení od dopravy, se nemění.



Graf 2 - Závislost výšky profilu a maximální vzdálenosti příčníků pro profil HEM a délku příčníků odpovídající různě ukloněným hlavním nosníkům

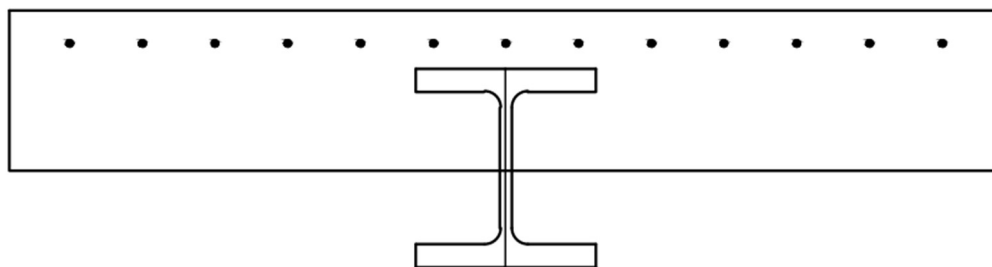
7.3 Posouzení příčnicku spřaženého s železobetonovou deskou

Pro posouzení příčnicku spřaženého s železobetonovou deskou použijeme velikost vnitřních sil získaných z výpočtu (viz. Kapitola 7.1) odpovídajících kombinaci zatížení s železobetonovou deskou tloušťky 250 mm. Z důvodu zmenšení stavební výšky mostu, budeme volit nejmenší možnou tloušťku betonové desky nad horní pásnicí příčnicku. Vzhledem k nejmenší použitelné velikosti spřahovacích trnů (minimální výška trnu 75 mm) a krytí trnů vrstvou betonu (min. 25 mm) může být minimální tloušťka betonu nad horní pásnicí příčnicku 100 mm. Část železobetonové desky, nacházející se pod horní pásnicí příčnicku, se ve výpočtu zanedbává pro jeho zjednodušení.

Maximální ohybový moment i maximální posouvací síla na příčnicku se nachází ve vetknutí do hlavních nosníků. Moment je ve vetknutí záporný, to znamená, že železobetonová deska je tažená a dolní pásnice příčnicku tlačaná. Vzhledem k malé pevnosti betonu v tahu a předpokladu vzniku trhlin železobetonovou deskou zanedbáme a do výpočtu nám z železobetonové desky pouze vstoupí výztuž.

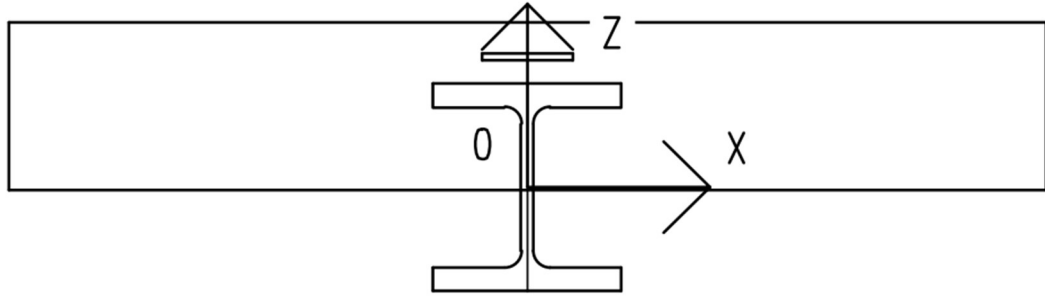
7.3.1 Posouzení příčnicků spřaženého s železobetonovou deskou – Posouzení ohyb

Posouzení příčnicku provedeme podobně jako v kapitole 7.2.1. Nejprve spočteme moment od vlastní tíhy příčnicku. Vypočtený moment odečteme od momentu únosnosti, který vypočteme z náhradního průřezu složeného z ocelového příčnicku a tažené výztuže (viz. Obrázek 17).



Obrázek 17 - Spřažený nosník s železobetonovou deskou - znázornění tažené výztuže

Náhradní průřez získáme nahrazením tažené výztuže spolupůsobící s ocelovým příčnickem tělesem o stejné ploše, jako je plocha tažené výztuže (viz Obrázek 17)



Obrázek 18 - Spřažený nosník s železobetonovou deskou - Náhradní průřez za taženou výztuž

Pro výpočet volíme válcovaný příčník typu HE300M ($f_y = 235$ MPa) doplnění o výztuž průměru 12 mm ($f_y = 500$ MPa). Výztuž bude umístěna po 125 mm (8 ks/m).

Moment od vlastní tíhy profilu HE300M:

$$m = 238 \text{ kg/m}$$

$$M_m = \frac{1}{12} * l^2 * (m * g * \xi * \gamma_{G,j}) \quad (6.10b \text{ ČSN EN 1990})$$

$$M_m = \frac{1}{12} * 5,75^2 * (238 * 9,80665 * 0,85 * 1,35)$$

$$M_m = 2,406 \text{ kNm}$$

Průřezové charakteristiky náhradního průřezu:

Moment setrvačnosti příčníku: $I_{y,HE300} = 5,92 * 10^{-4} \text{ m}^4$

Výška příčníku: $h_{HE30} = 0,34 \text{ m}$

Plocha příčníku: $A_{HE30} = 0,03031 \text{ m}^2$

Maximální vzdálenost příčníků: $l_p = 2,0 \text{ m}$

Efektivní šířka $b_{eff} = 2 * \frac{1}{8} * L_e$

$$L_e = 0,25 * (L + L) = 0,5 * L$$

$$b_{eff} = 2 * \frac{1}{8} * L_e = 2 * \frac{1}{8} * 0,5 * L = \frac{1}{8} * L = \frac{1}{8} * 5,75 = 0,71875 \text{ m}$$

Počet prutů výztuže na posuzovaném průřezu: $v_{Z_{ks}} = 8 * b_{eff} = 5,75 \text{ ks}$

Poloměr výztuže: $\phi_{vz} = 12 \text{ mm}$

Plocha výztuže: $A_{vz} = v_{Z_{ks}} * \pi * \frac{\phi_{vz}^2}{4} = 5,75 * \pi * \frac{0,012^2}{4} = 6,503 * 10^{-4} \text{ m}^2$

Náhradní šířka: $b_{vz} = \frac{A_{vz}}{\phi_{vz}} = \frac{6,503 * 10^{-4}}{0,012} = 5,419 * 10^{-2} \text{ m}$

Náhradní moment setrvačnosti výztuže: $I_{y,vz} = \frac{1}{12} * b_{vz} * \phi_{vz}^3 =$

$$= \frac{1}{12} * 0,05419 * 0,012^3 = 7,8037 * 10^{-9} \text{ m}^4$$

Vzdálenost těžiště výztuže od příčnicku: $h_1 = h_c - c - \phi_{vz}/2$

Výška železobetonové desky nad příčnickem: $h_c = 100 \text{ mm}$

Velikost krycí vrstvy výztuže: $c = 50 \text{ mm}$

$$h_1 = h_c - c - \frac{\phi_{vz}}{2} = 100 - 50 - \frac{12}{2} = 44 \text{ mm} = 0,044 \text{ m}$$

Pro výpočet umístění těžiště byl počátek souřadnicového systému umístěn do těžiště válcovaného průřezu (viz. Obrázek 18).

$$X_{HE30} = X_{vz} = X_T = 0$$

$$Z_{HE300B} = 0$$

$$Z_{vz} = \frac{h_{HE300B}}{2} + h_1 = \frac{0,34}{2} + 0,044 = 0,214 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} Z_T &= \frac{\sum_{i=1}^n A_i * Z_i}{\sum_{i=1}^n A_i} = \frac{Z_{HE300} * A_{HE300} + Z_{vz} * A_{vz}}{A_{HE300} + A_{vz}} \\ &= \frac{0 * 0,03031 + 0,214 * 6,503 * 10^{-4}}{0,03031 + 6,503 * 10^{-4}} = 0,004495 \text{ m} \end{aligned}$$

Moment setrvačnosti k náhradnímu těžišti průřezu:

$$I_{y,T} = \sum_{i=1}^n (I_{y,i} + A_i * z_i^2)$$

$$Z_{t,HE300B} = Z_T = 0,004495 \text{ m}$$

$$z_{t,vz} = Z_{vz} - Z_T = 0,214 - 0,004\,495 = \mathbf{0,209\,505m}$$

$$\begin{aligned} I_{y,T} &= I_{y,HE300B} + A_{HE30} * z_{t,HE300B}^2 + I_{y,vz} + A_{vz} * z_{t,vz}^2 \\ &= 5,92 * 10^{-4} + 0,03031 * 0,004495^2 + 7,8037 * 10^{-9} + 6,503 \\ &\quad * 10^{-4} * 0,209505^2 = \mathbf{6,21 * 10^{-4} m^4} \end{aligned}$$

Výpočet momentu únosnosti k horním taženým vláknům:

$$M_{PL,Rd,h} = \frac{w_{el,y} f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$w_{el,y,h} = I_{y,T} / z_h$$

$$z_h = \frac{h_{HE300}}{2} + h_1 + \frac{\phi_{vz}}{2} - Z_T = \frac{0,34}{2} + 0,044 + 0,006 - 0,004495 = \mathbf{0,2155m}$$

$$w_{el,y,h} = \frac{6,21 * 10^{-4}}{0,2155} = \mathbf{2,88 * 10^{-3} m^3}$$

$$f_{y,vz} = \mathbf{500 MPa}$$

$$\gamma_{M0} = \mathbf{1,0}$$

$$M_{PL,Rd,h} = \frac{\chi_{LT} w_{el,y,h} f_{y,vz}}{\gamma_{M1}} = \frac{3,28 * 10^{-3} * 500 * 10^6}{1,0} = \mathbf{1\,441,182 kN.m}$$

Výpočet momentu únosnosti k dolním tlačným vláknům:

$$M_{PL,Rd,d} = \frac{w_{el,y} f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$w_{el,y,d} = I_{y,T} / z_d$$

$$z_d = \frac{h_{HE300B}}{2} + Z_T = \frac{0,34}{2} + 0,004495 = \mathbf{0,174\,495 m}$$

$$w_{el,y,d} = \frac{6,21 * 10^{-4}}{0,174\,495} = \mathbf{3,56 * 10^{-3} m^3}$$

$$f_{y,HE300B} = \mathbf{235 MPa}$$

$$\gamma_{M0} = \mathbf{1,0}$$

$$M_{PL,Rd,h} = \frac{w_{el,y,d} f_{y,HE300}}{\gamma_{M0}} = \frac{3,56 * 10^{-3} * 235 * 10^6}{1,0} = \mathbf{836,548 kN.m}$$

Výsledný moment únosnosti:

$$M_{b,Rd} = \min(M_{b,Rd,d}; M_{b,Rd,h}) = \min(1441,182; 836,548) = \mathbf{836,548 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

Maximální vzdálenost příčníků (x) pro průřez HE300M – momentová únosnost

$$\mu_1 = \frac{\sigma_{x,Ed}}{f_{yd}} \leq 1,0$$

$$\mu_1 = \frac{M_{max} * x + M_m}{M_{Pl,Rd}} \leq 1,0$$

$$x = \frac{M_{Pl,Rd} - M_m}{M_{max}} = \frac{(836,548 - 7,739)}{302,07} = \mathbf{2,635 \text{ m}}$$

7.3.2 Posouzení příčníků spřaženého s železobetonovou deskou – Posouzení smyk

Při posouzení průřezu na smyk musíme nejprve určit smykovou únosnost profilu (V_{Rd}). Pro výpočet posouzení průřezu na smyk potřebujeme stanovit příspěvek k smykové síle od vlastní tíhy příčnicku (V_m).

Průřez: HE300M (

$$V_{Pl,Rd} = 1625,41 \text{ kN}$$

$$\mu_3 = \frac{V_{max} * x + V_m}{V_{Pl,Rd}} \leq 1,0$$

$$x = 2,725 \text{ m} \quad \text{viz. Předchozí kapitola}$$

$$\mu_3 = \frac{248,22 * 2,725 + 7,7}{1625,41} = 0,42088 \leq 1,0$$

VYHOVÍ

7.3.3 Posouzení příčníků spřaženého s železobetonovou deskou – Posouzení interakce mezi smykovou silou a ohybovým momentem

Vzhledem ke zvolenému výpočtovému modelu příčníků (oboustranně vetknutý nosník) se nachází maximální smykové síly i maximální ohybové momenty v místě vetknutí příčníků do hlavních nosníků, z toho důvodu je potřeba provést posouzení průřezu na interakci mezi smykovou silou a ohybovým momentem.

$$\mu_3 < 0,5 \rightarrow 0,42088 < 0,5 \quad \text{VYHOVÍ}$$

V případě, že by průřez nevyhověl podmínce $\mu_3 < 0,5$ musel by být posouzen stejně jako průřez HE450B v kapitole 7.2.3. Průřez HE300M podmínce vyhovuje, proto je při volbě vzdálenosti příčníků menší nežli 2,725 m bude profil HE300M dostatečně únosný, aby přenesl všechna návrhová zatížení konstrukce.

7.3.4 Posouzení příčníků spřaženého s železobetonovou deskou – Klopení

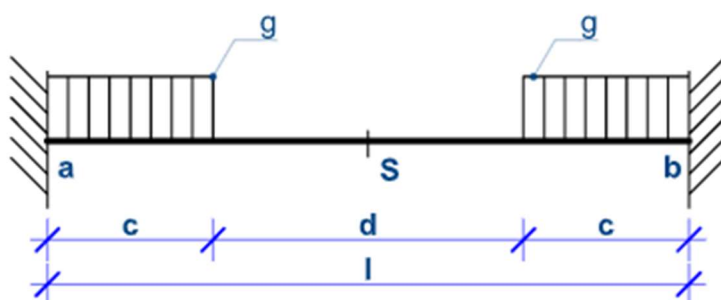
Vzhledem k tomu, že bude ocelový profil příčniku obetonovaný v celé své výšce (až na dolní pásnici), se lze předpokládat nulové riziko globální ztráty stability příčniku klopením.

7.3.5 Posouzení příčníků spřaženého s železobetonovou deskou – Posouzení průhyb

Průhyb příčniku nesmí přesáhnout limitní hodnotu ($l/400$), aby průřez vyhověl na mezní průhyb. Zároveň nesmíme zapomenout na průhyb příčniku při výpočtu průhybu hlavního nosníku, protože při průhybu celé konstrukce bude průhyb příčniku snižovat mezní hodnotu průhybu hlavního nosníku.

Při výpočtu průhybu nosníku jsem postupoval podobně jako při výpočtu vnitřních sil, kdy výsledný průhyb byl získán interpolací průhybů od zatížení s dopravou a bez dopravy.

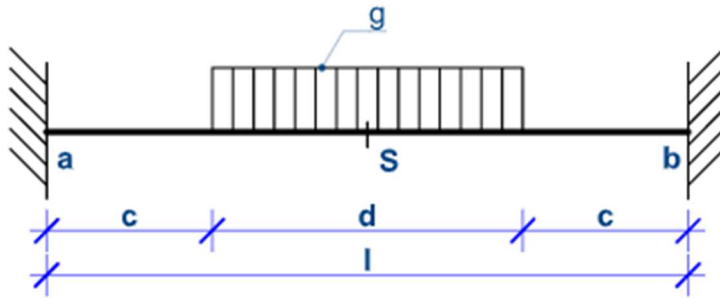
Průhyb od zatížení bez dopravy



Obrázek 19 - Schéma zatížení příčníků se zatížením bez dopravy (5)

$$w_{s,1} = \frac{g_1 * l^4}{48 * E * I_y} * \left(\frac{c}{l}\right)^3 * \left(1 - 2 * \frac{c}{l}\right)$$

Průhyb od zatížení s dopravou



Obrázek 20 - Schéma zatížení příčniku se zatížením s dopravou (6)

$$w_{s,1} = \frac{g_2 * l^4}{384 * E * I_y} * \frac{d}{l} * \left\{ 2 * \left[1 - \left(\frac{d}{l} \right)^3 + \left(\frac{d}{l} \right)^3 \right] \right\}$$

Výsledný průhyb nosníku uprostřed rozpětí

$$w_{s,př} = w_{s,1} + w_{s,2} =$$

$$= \frac{g_1 * l^4}{48 * E * I_y} * \left(\frac{c}{l} \right)^3 * \left(1 - 2 * \frac{c}{l} \right) + \frac{g_2 * l^4}{384 * E * I_y} * \frac{d}{l} * \left\{ 2 * \left[1 - \left(\frac{d}{l} \right)^3 + \left(\frac{d}{l} \right)^3 \right] \right\}$$

$$l = 5,75 \text{ m}$$

$$g_1 = 18,4 \text{ kN/m}^2$$

Při tloušťce desky 250 mm

$$g_2 = 107,47 \text{ kN/m}^2$$

Při tloušťce desky 250 mm

$$c = 1,46 \text{ m}$$

Při tloušťce desky 250 mm

$$d = 2,83 \text{ m}$$

Při tloušťce desky 250 mm

$$E = 210 \text{ GPa}$$

$$I_{y,T} = 6,21 * 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$w_{s,př} = \frac{18,4 * 10^3 * 5,75^4}{48 * 210 * 10^9 * 6,7 * 10^{-4}} * \left(\frac{1,46}{5,75}\right)^3 * \left(1 - 2 * \frac{1,46}{5,75}\right) + \frac{107,47 * 10^3 * 5,75^4}{384 * 210 * 10^9 * 6,7 * 10^{-4}} * \frac{2,83}{5,75} * \left\{2 * \left[1 - \left(\frac{2,83}{5,75}\right)^3 + \left(\frac{2,83}{5,75}\right)^3\right]\right\}$$

$$w_{s,př} = 3,08 \text{ mm}$$

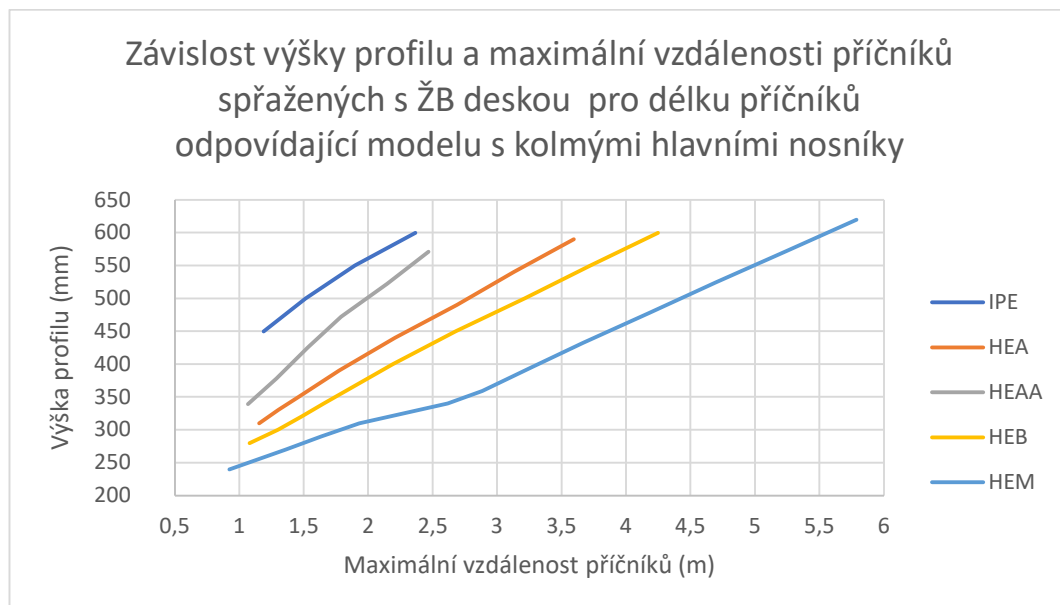
$$w_{s,lim} = \frac{l}{400} = \frac{5,75}{400} = 0,0143 \text{ m} = 14,375 \text{ mm}$$

$$w_{s,př} \leq w_{s,lim}$$

VYHOVÍ

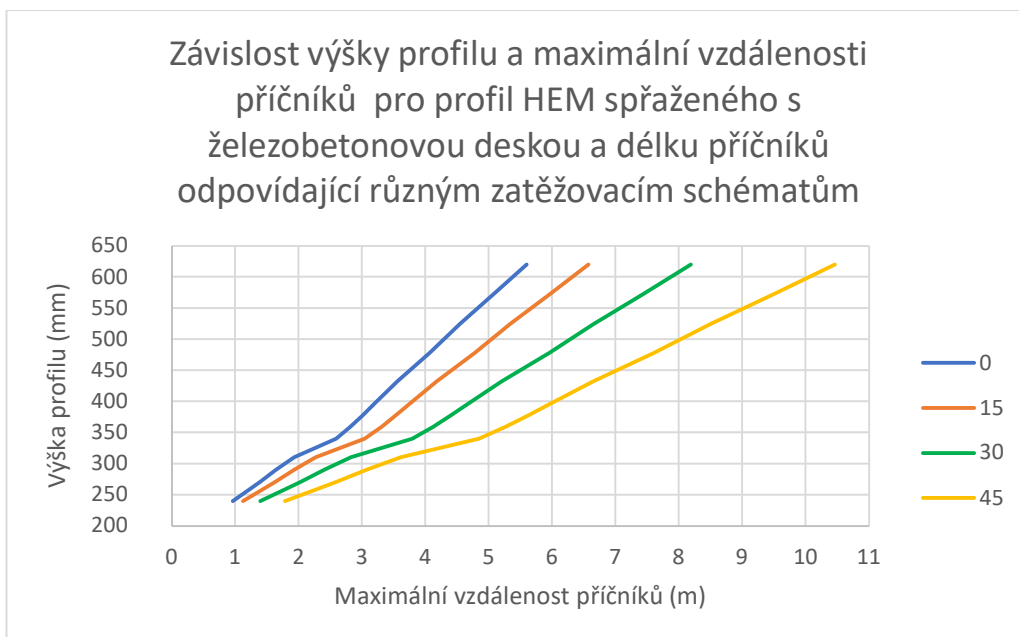
7.3.6 Vyhodnocení různých profilů příčníků spřažených s železobetonovou deskou

Při porovnání závislosti stavební výšky (výšky příčníků) a vzdálenosti příčníků je jasné, že nejlepší profily pro snížení stavební výšky jsou typu HEM (Graf 3). Profily typu HEM mají na rozdíl od ostatních válcovaných profilů masivní pásnici i stojinu, proto jsou únosnější i při nižších výškách profilů.



Graf 3 - Závislost výšky profilu a maximální vzdálenosti příčníků pro délku příčníků odpovídající modelu s kolnými hlavními nosníky

Při porovnání možné vzdálenosti příčníků a použitím různého uklonění (viz. Graf 4) je patrné, že mosty s větším ukloněním hlavních nosníků a s menší délkou příčníků mohou mít příčnky dále od sebe. To je způsobeno nižšími vnitřními silami, kde do výpočtu ohybových momentů na příčniku vstupuje vzdálenost příčniku ve druhé mocnině. Zároveň se snižuje celkové přenesené zatížení, protože spojitě zatížení od dopravy působí na menší vzdálenosti, zatímco vzdálenost, na které působí spojitě zatížení od dopravy, se nemění.



Graf 4 - Závislost výšky profilu a maximální vzdálenosti příčníků pro profil HEM a délku příčníků odpovídající různě ukloněným hlavním nosníkům

7.4 Porovnání únosnosti příčníků bez spřažení a se spřažením

Příčnky se spřažením jsou únosnější nežli příčnky bez spřažení. Průměrně jsou příčnky se spřažením únosnější o 6 %. Nosníky, které počítáme spřažené s železobetonovou deskou, jsou únosnější, avšak k únosnosti nosníků zatíženým záporným ohybovým momentem přispívá pouze ocelová výztuž v desce. Pokud by se do výpočtu započítala část železobetonové desky pod horní pásnicí příčniku, byla by možné zvýšení únosnosti příčníků.

Vzhledem k velmi podobné únosnosti příčníků bez spřažení a se spřažením budeme volit vzdálenosti příčníků takové, aby vyhovovali oběma podmínkám.

Kolejový rošt 4,5 kN/m roznos na 2,58 m + tl. desky

Štěrkové lože 20 kN/m³ tl. 550 mm

Ochranná izolace 23 kN/m³ tl. 50 mm

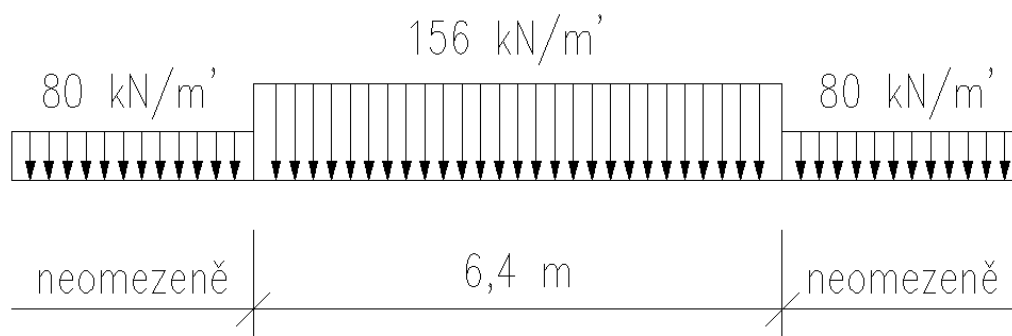
Tabulka 13 - Velikost stálého a ostatního stálého zatížení působícím na příčnicku

Tloušťka desky	Zatížení bez dopravy		Zatížení s dopravou	
	Stálé	Ostatní stálé	Stálé	Ostatní stálé
m	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²
0,250	6,250	12,150	6,250	13,740
0,275	6,875	12,150	6,875	13,726
0,300	7,500	12,150	7,500	13,713
0,325	8,125	12,150	8,125	13,699
0,350	8,750	12,150	8,750	13,686
0,375	9,375	12,150	9,375	13,673
0,400	10,000	12,150	10,000	13,660

Zatížení bez dopravy je vyvoláno pouze vlastní tíhou a štěrkovým ložem. Zatížení s dopravou je vyvoláno vlastní tíhou, štěrkovým ložem a kolejovým roštem.

8.1.3 Zatížení od dopravy

Jako zatěžovací model byl zvolen LM-71. Pro zjednodušení výpočtu byla soustava středových sil nahrazena spojitým zatížením, které vyvoluje stejné zatížení viz Obrázek 21.



Obrázek 21 - Schéma zatížení od dopravy - Upraveny LM71

Vzhledem ke vzdálenosti příčnicků, která nebude větší nežli 2,0 m je vzato zatížení od dopravy rovné 156 kN/m. Toto zatížení se roznáší v příčném směru viz. Obrázek 8.

Klasifikační součinitel α je roven 1,1.

Výpočet dynamického součinitele

Dynamický součinitel byl stanoven dle ČSN EN 1991-2 ed.2, kap. 6.4.

$$L_{\Phi,HL.N.} = l = 12 \text{ m}$$

l....délka hlavních nosníků

$$\Phi_{3,HL.N.} = \frac{2,16}{\sqrt{L_{\Phi} - 0,2}} + 0,73 = \frac{2,16}{\sqrt{12 - 0,2}} + 0,73 = 1,3917$$

$$1,0 \leq \Phi_{3,HL.N.} \leq 2,0$$

$$1,0 \leq \Phi_{3,HL.N.} \leq 2,0 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Výsledná velikost zatížení působící na povrch mostovky viz. Tabulka 14 a 15.

Tabulka 14 - Velikost zatížení od dopravy – Hl.N. 250 kN/1,6m

Tloušťka desky	Dynamický součinitel	Zatížení od dopravy	Klasifikovaná zatížení
m	-	kN/m ²	kN/m ²
0,25	1,392	55,212	84,525
0,275	1,392	54,729	83,785
0,3	1,392	54,253	83,058
0,325	1,392	53,787	82,343
0,35	1,392	53,328	81,640
0,375	1,392	52,876	80,950
0,4	1,392	52,433	80,270

Tabulka 15 - Velikost zatížení od dopravy - Hl. N. 80 kN/m

Tloušťka desky	Dynamický součinitel	Zatížení od dopravy	Klasifikovaná zatížení
m	-	kN/m ²	kN/m ²
0,25	1,392	28,269	43,277
0,275	1,392	28,021	42,898
0,3	1,392	27,778	42,526
0,325	1,392	27,539	42,160
0,35	1,392	27,304	41,800
0,375	1,392	27,073	41,446
0,4	1,392	26,846	41,098

8.1.4 Zatížení hlavních nosníků od rozjezdu a brždění

Na hlavní nosník působí i zatížení od brždění a rozjezdu vozidel. Toto zatížení snižuje únosnost horní tlačené pásnice hlavního nosníku.

Zatížení rozjezdovou silou:

$$Q_{lak} = 33 * L = 33 * 12 = 396 \text{ kN} \leq 1000 \text{ kN}$$

Zatížení brzdou silou:

$$Q_{lbk} = 20 * L = 20 * 12 = 240 \text{ kN}$$

Ve výpočtu uvažujeme větší z obou hodnot. V tomto případě se jedná o rozjezdovou sílu.

$$Q = 369 \text{ kN}$$

Tato síla se rozkládá podobně jako zatížení (viz. výše) mezi oba hlavní nosníky v poměru 1:1,2.

$$Q_{roz,HL.N.} = \frac{369 * 1,2}{1 + 1,2} = 369 * \frac{6}{11} = 216 \text{ kN}$$

8.1.5 Zatížení hlavních nosníků bočním rázem

Dle ČSN EN 1991-2 se účinek bočního rázu nahrazuje osamělou silou velikosti 100 kN pro prosté nosníky. Tato síla působí pouze na jeden hlavní nosník, protože dochází k jejímu přenesení šterkovým ložem ve vodorovném směru směrem od kolejnice. Sílu umístíme do středu rozpětí, aby vyvolala největší ohybový moment hlavního nosníku.

$$Q_{ráz,HL.N.} = 100 \text{ kN}$$

8.1.6 Zatížení hlavních nosníků větrem dle ČSN EN 1991-1-4

→ zjednodušená metoda

$$F_w = \frac{1}{2} \rho v_b^2 C A_{ref,x}$$

$$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$$

Vzhledem k tomu, že neznáme přesné umístění našeho modelového mostu, budeme uvažovat nejvyšší rychlost větru podle mapy větrných oblastí, která odpovídá pásé větrní oblasti. Most bude umístěný 5 m nad terénem

$$v_{b,0} = 25 \text{ m/s} \rightarrow \text{IV. větrná oblast}$$

$$v_b = c_{dir} c_{season} v_{b,0} = 1,0 * 1,0 * 36 = 36 \text{ m/s}$$

$$C = c_e c_{f,x}$$

$$c_e = \frac{q_p(z)}{q_b}$$

$$q_b = \frac{1}{2} \rho v_b^2 = 0,5 * 1,25 * 36^2 = 810$$

$$q_p(z) = [1 * 7l_v(z)] \frac{1}{2} \rho v_m^2(z)$$

$$v_m(z) = c_r(z) c_o(z) v_b$$

$$c_r(z) = k_r \ln\left(\frac{z}{z_o}\right)$$

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

$$c_r(z) = 0,19 \ln\left(\frac{5}{0,05}\right) = 0,875$$

$$v_m(z) = 0,875 * 1,0 * 36 = 31,5 \text{ m/s}$$

$$l_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{k_r v_b k_I}{v_m(z)} = \frac{0,19 * 36 * 1}{31,5} = 0,217$$

$$q_p(z) = [1 + 7l_v(z)] \frac{1}{2} \rho v_m^2(z) = [1 + 7 * 0,217] \frac{1}{2} 1,25 * 31,5^2 = 1 563,75$$

$$c_e = \frac{1 563,75}{810} = 1,929$$

$$C = 1,929 * 1,3 = 2,51$$

Uvažovaná plocha – plocha hlavního nosníku na návětrné straně

$$A_1 = L * h_{HL.N.1} = 12 * 1,5 = 18 \text{ m}^2$$

Uvažovaná plocha – plocha projíždějícího vlaku

$$A_2 = L * h_{vlak} = 12 * 4 = 48 \text{ m}^2$$

Výsledné hodnoty sil

$$F_{w1} = \frac{1}{2} \rho v_b^2 C A_1 = 0,5 * 1,25 * 36^2 * 2,51 * 18 = 36,568 \text{ kN}$$

$$F_{w2} = \frac{1}{2} \rho v_b^2 C A_2 = 0,5 * 1,25 * 36^2 * 2,51 * 48 = 97,516 \text{ kN}$$

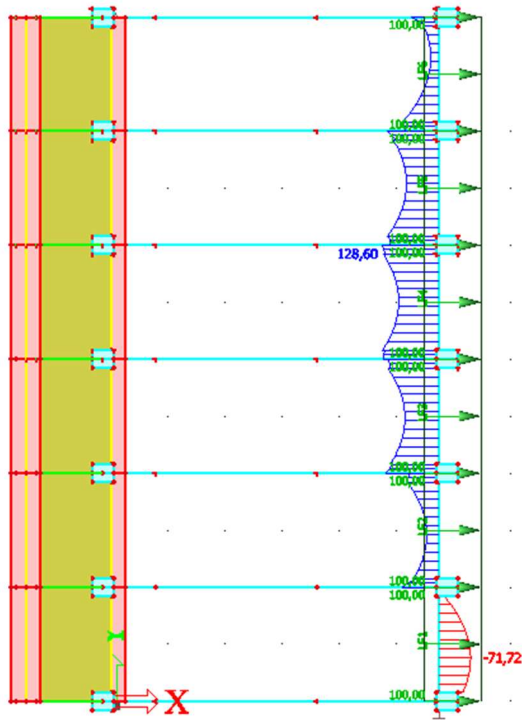
$$F'_{w1} = \frac{F_{w1}}{L} = \frac{179,585}{12} = 3,047 \text{ kN/m'}$$

$$F'_{w2} = \frac{F_{w2}}{L} = \frac{179,585}{12} = 8,126 \text{ kN/m'}$$

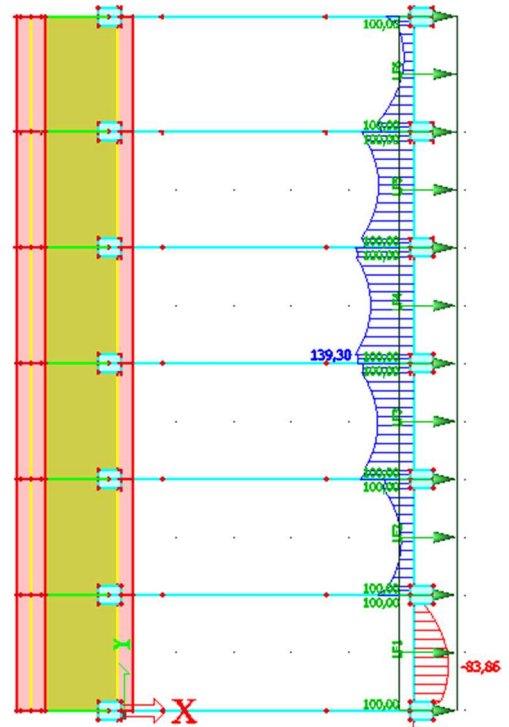
8.1.7 Redukce vodorovných zatížení působících na hlavní nosník

Vzhledem k přerozdělení vodorovných zatížení v konstrukci mostu a velké vodorovné tuhosti železobetonové desky můžeme uvažovat koeficient, kterým vyjádříme velikost zatížení, které přímo přenáší hlavní nosník. Pro stanovení redukčního koeficientu byla konstrukce hlavního nosníku zatížena vodorovným spojitým zatížením velikosti 100 kN/m. Pokud by se jednalo o prostý nosník, byl by maximální ohybový moment uprostřed rozpětí pro délku nosníku 12 m roven 1 800 kNm ($M = \frac{1}{8} * q * l^2$).

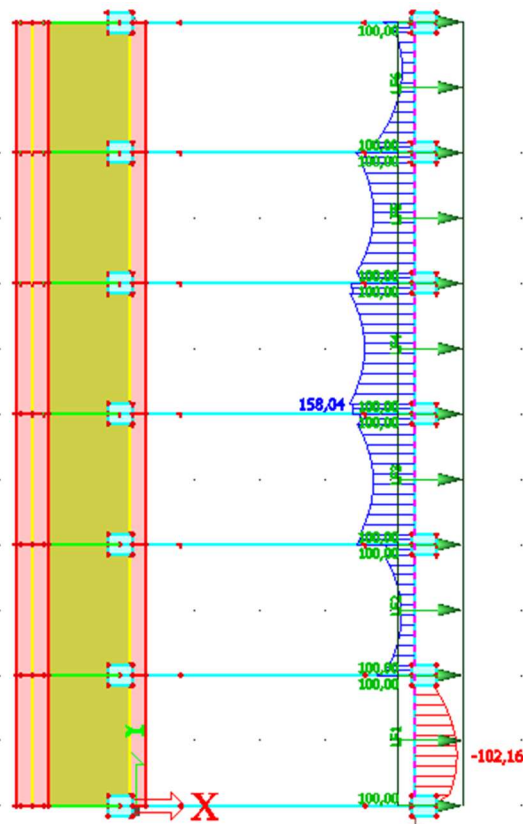
V programu SCIA Engineer byla konstrukce mostu zatížena vodorovným spojitým zatížením působícím na hlavní nosník. Po proběhnutém výpočtu byly odečteny maximální velikosti vodorovných ohybových momentů na hlavním nosníku (viz. Obrázky 22, 23, 24 a 25)



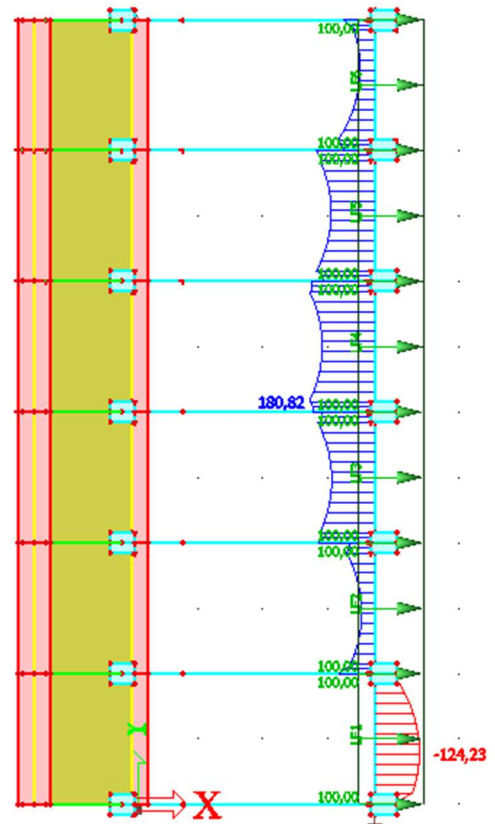
Obrázek 22- Velikost vodorovných momentů - Vzdálenost hlavních nosníků odpovídající modelu s kolmými hlavními nosníky



Obrázek 23 - Velikost vodorovných momentů - Vzdálenost hlavních nosníků odpovídající modelu s ukloněnými hlavními nosníky o 15°



Obrázek 24 - Velikost vodorovných momentů - Vzdálenost hlavních nosníků odpovídající modelu s ukloněnými hlavními nosníky o 30°



Obrázek 25 - Velikost vodorovných momentů - Vzdálenost hlavních nosníků odpovídající modelu s ukloněnými hlavními nosníky o 45°

Na výše uvedených průbězích vodorovných ohybových momentů je patrné, že čím je železobetonová deska širší, tím je velikost momentu v hlavním nosníku menší. Největší ohybový moment je u modelu, jehož vzdálenost hlavních nosníků odpovídá modelu s ukloněnými hlavními nosníky o 45°. V tomto modelu je maximální ohybový moment roven 180,82 kNm, to je přibližně desetina momentu od zatížení 100 kN/m na prostém nosníku, proto volím velikost redukčního koeficientu (ρ_{vz}) rovnou **0,1**.

8.1.8 Kombinace zatížení – hlavní nosník

$$(6.10a) \quad \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$$(6.10b) \quad \sum_{j \geq 1} \xi \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Kombinační součinitele byly získány z ČSN EN 1990.

γ_G	1,35
γ_Q	1,45
ξ	0,85
ψ_0	0,8
ψ_1	0,8
ψ_2	0

Tabulka 16 - Kombinace zatížení 6.10 - Hlavní nosník

Tloušťka desky m	Stálé bez dopravy			Stálé s dopravou 250 kN/1,6 m			Stálé s dopravou 80 kN/m		
	6.10a kN/m ²	6.10b kN/m ²	6.10 MAX kN/m ²	6.10a kN/m ²	6.10b kN/m ²	6.10 MAX kN/m ²	6.10a kN/m ²	6.10b kN/m ²	6.10 MAX kN/m ²
0,25	24,840	21,114	24,840	125,036	145,500	145,500	77,188	85,690	85,690
0,275	25,684	21,831	25,684	125,002	145,128	145,128	77,573	85,842	85,842
0,3	26,528	22,548	26,528	124,984	144,775	144,775	77,966	86,003	86,003
0,325	27,371	23,266	27,371	124,980	144,440	144,440	78,368	86,174	86,174
0,35	28,215	23,983	28,215	124,991	144,124	144,124	78,776	86,355	86,355
0,375	29,059	24,700	29,059	125,016	143,824	143,824	79,192	86,544	86,544
0,4	29,903	25,417	29,903	125,055	143,542	143,542	79,615	86,743	86,743

Pro posouzení hlavních nosníků na mezní stav použitelnosti potřebujeme znát i ostatní kombinace zatížení.

Charakteristická kombinace: $\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} Q_{k,i}$

Častá kombinace: $\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{1,i} Q_{k,i}$

Kvazistálá kombinace: $\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$

Tabulka 17 - Kombinace zatížení pro mezní stav použitelnosti - Hlavní nosník

Tloušťka desky	Stálé bez dopravy			Stálé s dopravou 250 kN/1,6 m			Stálé s dopravou 80 kN/m		
	Charakteristická	Častá	Kvazistálá	Charakteristická	Častá	Kvazistálá	Charakteristická	Častá	Kvazistálá
m	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²
0,25	18,400	18,400	18,400	104,515	87,610	19,990	63,267	54,612	19,990
0,275	19,025	19,025	19,025	104,386	87,629	20,601	63,499	54,919	20,601
0,3	19,650	19,650	19,650	104,270	87,659	21,213	63,738	55,233	21,213
0,325	20,275	20,275	20,275	104,167	87,698	21,824	63,984	55,552	21,824
0,35	20,900	20,900	20,900	104,076	87,748	22,436	64,236	55,876	22,436
0,375	21,525	21,525	21,525	103,997	87,808	23,048	64,494	56,205	23,048
0,4	22,150	22,150	22,150	103,931	87,876	23,660	64,759	56,539	23,660

Podle zvoleného výpočtového modelu a uklonění hlavních nosníků se mění šířka mostovky a tím i vzdálenosti, na kterých působí jednotlivá zatížení. Vzdálenosti, na kterých působí jednotlivá zatížení jsou ovlivněny i tloušťkou desky (ovlivňuje velikost plochy roznosu zatížení s dopravou).

Kombinace vodorovných zatížení:

Pro zjednodušení uvažujeme působíště těchto sil do těžiště hlavního nosníku.

Zatížení, které působí ve vodorovném směru je zatížení od větru, boční rázy a síly od rozjezdu, či brždění vlaku.

Vítr a boční rázy působí ve stejném směru (osa Y) rozjezdové a brzdné síly působí kolmo na ně (osa X).

Ve směru osy X:

$$Q_{roz,6.10} = Q_{roz,HL.N.} * \gamma_{Q,j} * \psi = 216 * 1,5 * 0,8 = 259,2 \text{ kN}$$

Ve směru osy Y:

Veškeré zatížení působící ve směru osy Y bude přeneseno celou konstrukcí mostu a přerozděleno mezi všechny části mostu. Vzhledem k redukčnímu koeficientu vodorovných zatížení budou tato zatížení zmenšena a stanoveny velikosti zatížení na jeden hlavní nosník.

$$F'_{w1,6.10} = F'_{w1} * \gamma_{Q,j} * \psi * \rho_{vz} = 3,047 * 1,5 * 0,8 * 0,1 = 0,366 \text{ kN/m'}$$

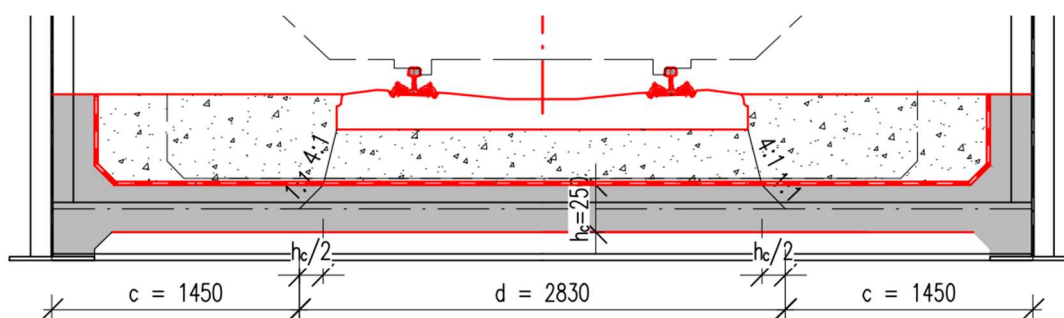
$$F'_{w2,6.10} = F'_{w2} * \gamma_{Q,j} * \psi * \rho_{vz} = 8,126 * 1,5 * 0,8 * 0,1 = 0,975 \text{ kN/m'}$$

$$Q_{r\acute{a}z,6.10} = Q_{r\acute{a}z,HL.N.} * \gamma_{Q,j} * \psi * \rho_{vz} / L_{HL.N.} = 100 * 1,5 * 0,8 * 0,1 / 12 = 1 \text{ kN/m'}$$

8.2 Velikost vnitřních sil na kolmém hlavním nosníku

Pro posouzení hlavních nosníků je potřeba nejprve stanovit velikost vnitřních sil na hlavním nosníku vyvolanou zatížením působícím na mostovku a příčníky. Příspěvek k vnitřním silám od vlastní tíhy hlavního nosníku můžeme spočítat až po zvolení rozměrů hlavního nosníku.

Ze zatížení působícího na plochu mostovky nejprve vypočteme zatížení, které působí v podélném směru mostu na hlavní nosníky. Uprostřed mostu bude mít zatížení jinou velikost nežli na okrajích u hlavních nosníků, kvůli rozdílnému zatížení od dopravy a zatížení bez dopravy.



Obrázek 26 - Velikost částí s rozdílným spojitým zatížením

Velikosti částí s rozdílným spojitým zatížením v příčném směru jsou patrné z Tabulky 18.

Tabulka 18 - Velikosti částí s rozdílným spojitým zatížením

Tl. Desky	c	d
m	m	m
0,25	1,46	2,83
0,28	1,45	2,86
0,30	1,44	2,88
0,33	1,42	2,91
0,35	1,41	2,93
0,38	1,40	2,96
0,40	1,39	2,98

Zatížení spočteme pro zatížení odpovídající zatížení při tloušťce desky 250 mm.

$$Q_{250} = 2 * c * g_{6.10MAX} + d * q_{250 6.10MAX} + g_{př}$$

$$c = 1,46 \text{ m}$$

$$g_{6.10MAX} = 24,840 \text{ kN/m}^2$$

$$d = 2,83 \text{ m}$$

$$q_{250 \text{ 6.10MAX}} = 145,5 \text{ kN/m}^2$$

Jako příčnický volím příčnicku průřezu HE300M, se kterými se počítalo v předchozích kapitolách. Z předchozích kapitol je jasné, že nosníky typu HE300M můžeme umístit od sebe až ve vzdálenosti 2,6 m, z toho důvodu volím vzdálenost příčnicků (l_{vz}) 2,0 m. Na této vzdálenosti se zároveň roznáší vlastní tíha příčnicků do spojitého zatížení. Délka příčnicků ($l_{př}$) je rovna 5,75 m

$$m = 238 \text{ kg/m}$$

$$g_{př} = (l_{př} * m * g * \xi * \gamma_{G,j}) / l_{vz} \quad (6.10b \text{ ČSN EN 1990})$$

$$g_{př} = (5,75 * 238 * 9,81 * 0,85 * 1,35) / 2$$

$$g_{př} = 7,699 \text{ kN/m}$$

$$Q_{250} = 2 * 1,46 * 24,84 + 2,83 * 145,5 + 7,699 = 491,998 \text{ kN/m}$$

$$Q_{80} = 2 * c * g_{6.10MAX} + d * q_{80 \text{ 6.10MAX}} + g_{př}$$

$$q_{80 \text{ 6.10MAX}} = 85,69 \text{ kN/m}^2$$

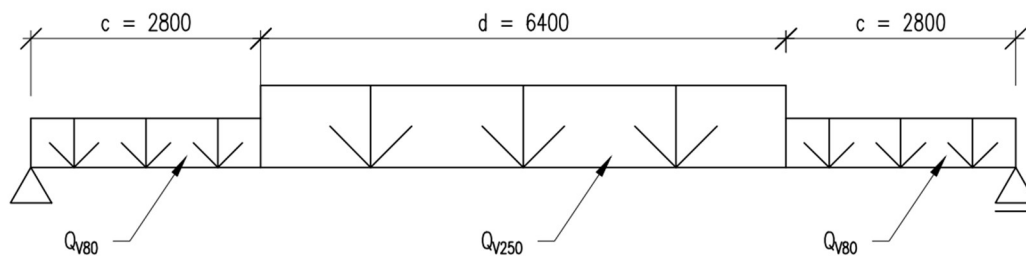
$$Q_{80} = 2 * 1,46 * 24,84 + 2,83 * 85,69 + 7,699 = 322,736 \text{ kN/m}$$

Tato výsledná zatížení působí na oba hlavní nosníky dohromady, z toho důvodu dojde k jejich přerozdělení mezi oba hlavní nosníky v poměru 1:1,2.,

$$Q_{V250} = \frac{Q_{250} * 1,2}{1 + 1,2} = Q_{250} * \frac{6}{11} = 491,998 * \frac{6}{11} = 268,362 \text{ kN/m}$$

$$Q_{V8} = \frac{Q_{80} * 1,2}{1 + 1,2} = Q_{80} * \frac{6}{11} = 322,736 * \frac{6}{11} = 176,038 \text{ kN/m}$$

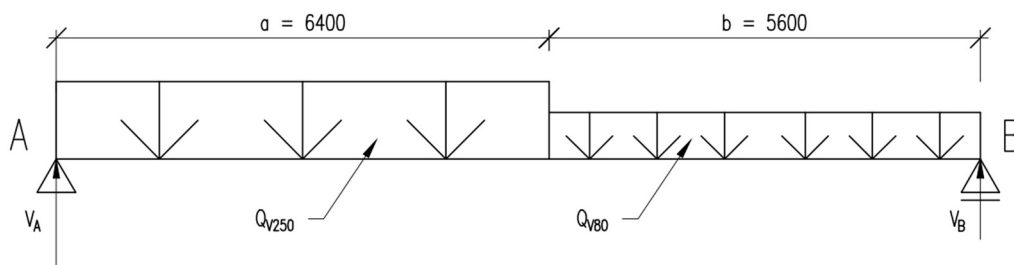
Výsledná zatížení působí na hlavní nosník v různých místech. Výsledný moment působící na hlavní nosník od zatížení od dopravy, ostatního stálého a stálého zatížení mostovky a příčnicků vypočteme ze zatěžovacího schématu viz. Obrázek XXX.



Obrázek 27 - Schéma zatížení působícího na hlavní nosník - Výpočet M_{max}

$$\begin{aligned}
 M_{max,HL.N.} &= \frac{1}{8} * Q_{V250} * d * (2 * l - d) + \frac{Q_{V8} * c^2}{2} \\
 &= \frac{1}{8} * 268,362 * 6,4 * (2 * 12 - 6,4) + \frac{176,038 * 2,8^2}{2} \\
 &= 4468,611 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Maximální posouvající sílu od zatížení od dopravy, ostatního stálého a stálého zatížení mostovky a příčníků získáme umístěním většího spojitého zatížení přímo nad podporu viz. Obrázek zatěžovacího schématu č. 28. Maximální posouvající sílu v podpoře A získáme momentovou podmínkou k podpoře B.



Obrázek 28 - Schéma zatížení působícího na hlavní nosník - Výpočet V_{max}

$$M_B = 0$$

$$M_B = V_A * l - Q_{V250} * a * \left(1 - \frac{a}{2}\right) - Q_{V80} * b * \frac{b}{2}$$

$$V_A = \frac{Q_{V250} * a * \left(1 - \frac{a}{2}\right) + Q_{V8} * b * \frac{b}{2}}{l}$$

$$a = 6,4 \text{ m}$$

$$b = 5,6 \text{ m}$$

$$V_A = V_{max,HL.N.} = \frac{268,362 * 6,4 * \left(12 - \frac{6,4}{2}\right) + 176,038 * 5,6 * \frac{5,6}{2}}{12}$$

$$= 1\,489,486 \text{ kNm}$$

Příspěvek k návrhovým hodnotám vnitřních sil od vlastní tíhy hlavního nosníku bude přičten až po zvolení průřezových charakteristik svařovaného profilu hlavního nosníku.

Pro výpočet průhybu hlavního nosníku byly stanoveny velikosti zatížení z charakteristické kombinace. Zatížení působící na hlavní nosník byla stanovena stejným postupem jako zatížení od kombinace pro posouzení mezního stavu únosnosti.

$$Q_{250,ch} = 194,30 \text{ kN/m}$$

$$Q_{80,ch} = 130,627 \text{ kN/m}$$

Velikost normálové síly pro posouzení mezního stavu únosnosti získáme přenásobením síly od rozjezdu vlaku ($Q_{roz,HL.N.}$) kombinačním součinitelem ($\gamma_{Q,j}$).

$$N_{Ed} = Q_{roz,6.10} = 313,2 \text{ kN (6.10b ČSN EN 1990)}$$

Velikost ohybových momentů od zatížení větrem a bočním rázem ($M_{Z,Ed}$) vypočítáme na základě následujícího vztahu.

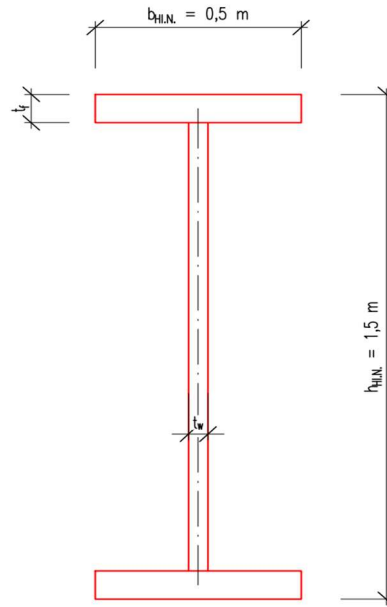
$$M_{Z,Ed} = \frac{1}{8} * F'_{w1,6.10} * L_{HL.N.}^2 + \frac{1}{8} * F'_{w2,6.10} * L_{HL.N.}^2 + \frac{1}{8} * Q_{ráz,6.10} * L_{HL.N.}^2$$

$$= \frac{1}{8} * 0,366 * 12^2 + \frac{1}{8} * 0,975 * 12^2 + \frac{1}{8} * 12 * 12^2 = 42,135 \text{ kNm}$$

Tento moment odpovídá zatížení na jeden hlavní nosník.

8.3 Průřezové charakteristiky hlavního nosníku

Všechny hlavní nosníky mají stejnou výšku ($h_{HL.N.} = 1,5 \text{ m}$) a stejnou šířku pásnice ($b_{HL.N.} = 0,5 \text{ m}$). Volí se pouze tloušťka pásnice, tloušťka stojiny a pevnost oceli, ze které je hlavní nosník navrhnut.



Obrázek 29 - Profil kolmého hlavního nosníku

$$t_f = 27 \text{ mm}$$

$$t_w = 14 \text{ mm}$$

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} I_y &= \frac{1}{12} * t_w * (h_{HL.N.} - 2 * t_f)^3 + 2 * \frac{1}{12} * b_{HL.N.} * t_f^3 + 2 * (t_f * b_{HL.N.}) \\ &\quad * \left(\frac{h_{HL.N.} - t_f}{2} \right)^2 \\ &= \frac{1}{12} * 0,014 * (1,5 - 2 * 0,027)^3 + 2 * \frac{1}{12} * 0,5 * 0,027^3 + 2 \\ &\quad * (0,027 * 0,5) * \left(\frac{1,5 - 0,027}{2} \right)^2 = 0,018 \text{ 175 m}^4 \end{aligned}$$

$$w_y = \frac{I_y}{\frac{h_{HL.N.}}{2}} = \frac{0,018175}{\frac{1,5}{2}} = 0,024 \text{ 233 m}^3$$

$$\begin{aligned}
 I_z &= \frac{1}{12} * (h_{HL.N.} - 2 * t_f) * t_w^3 + 2 * \frac{1}{12} * t_f * b_{HL.N.}^3 \\
 &= \frac{1}{12} * (1,5 - 2 * 0,027) * 0,014^3 + 2 * \frac{1}{12} * 0,027 * 0,5^3 \\
 &= 0,000\ 563\ m^4
 \end{aligned}$$

$$w_z = \frac{I_z}{\frac{b_{HL.N.}}{2}} = \frac{0,000563}{\frac{0,5}{2}} = 0,002\ 251\ m^3$$

$$\begin{aligned}
 A &= (h_{HL.N.} - 2 * t_f) * t_w + 2 * b_{HL.N.} * t_f \\
 &= (1,5 - 2 * 0,027) * 0,014 + 2 * 0,5 * 0,027 = 0,047\ 244\ m^2
 \end{aligned}$$

$$\rho_{ocel} = 7850\ kg/m^3$$

$$m_{HL.N.} = A * \rho_{ocel} = 0,047\ 244 * 7850 = 370,865\ kg/m$$

K hmotnosti hlavního nosníku přičteme 25 kg/m. Tato hodnota odpovídá hmotnosti zábradlí, které bude na hlavním nosníku osazeno.

Příspěvek od vlastní tíhy k vnitřním silám – kombinace 6.10b

$$M_{vl.t.,HL.N.,6.10} = \frac{1}{8} * l^2 * (m * g * \xi * \gamma_{G,j}) \quad (6.10b\ \check{C}SN\ EN\ 1990)$$

$$M_{vl.t.,HL.N.,6.10} = \frac{1}{8} * 12^2 * ((370,865 + 25,0) * 9,80665 * 0,85 * 1,35)$$

$$M_{vl.t.,HL.N.,6.10} = 80,185\ kNm$$

$$\begin{aligned}
 V_{vl.t.,HL.N.,6.10} &= \frac{1}{2} * l * (m * g * \xi * \gamma_{G,j}) \\
 &= \frac{1}{2} * 12 * ((370,865 + 25,0) * 9,807 * 0,85 * 1,35) = 26,728\ kN
 \end{aligned}$$

Příspěvek od vlastní tíhy k vnitřním silám – charakteristická kombinace:

$$g_{vl.t.,HL.N.,char} = m * g \quad (\text{char. Komb. } \check{C}SN\ EN\ 1990)$$

$$g_{vl.t.,HL.N.,char} = (370,865 + 25) * 9,80665 = 3\ 882\ N/m = 3,882\ kN/m$$

8.4 Posouzení kolmých hlavních nosníků na mezní stav únosnosti

Velikost maximálních vnitřních sil působících na hlavní nosník stanovíme sečtením vnitřních sil od zatížení a od vlastní tíhy hlavního nosníku.

$$M_{Ed,x} = M_{max,HLN.} + M_{vl.t.,HLN.,6.10} = 4\,468,611 + 80,185 = 4\,548,796 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,z} = M_Z = 42,135 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = V_{max,HLN.} + V_{vl.t.,HLN.,6.10} = 1\,489,486 + 26,728 = 1\,516,265 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 313,2 \text{ kN}$$

8.4.1 Posouzení účinků boulení stěn vlivem normálových napětí

Výpočet napětí σ_1 a σ_2 :

$$w_{\sigma_1} = w_y = 0,024233 \text{ m}^3$$

$$w_{\sigma_2} = -w_y = -0,024233 \text{ m}^3$$

$$\sigma_1 = \frac{M_{Ed}}{w_{\sigma_1}} = \frac{4548,796}{0,024233} = 187,710 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = \frac{M_{Ed}}{w_{\sigma_2}} = \frac{4548,796}{-0,024233} = -187,710 \text{ MPa}$$

Výpočet poměru napětí:

$$\psi = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{187,710}{-187,710} = -1$$

Pro $\psi = -1$ je $k_\sigma = 23,9$ ČSN EN 1993-1-5: 4.4 Tabulka 4.1

Výpočet koeficientu $\bar{\lambda}_p$:

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} = \frac{\bar{b}/t}{28,4 * \varepsilon * \sqrt{k_\sigma}}$$

$$\bar{b} = 0,75 \text{ m}$$

$$t = 0,014 \text{ m}$$

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/355} = 0,813\ 617$$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{0,75/0,014}{28,4 * 0,813617 * \sqrt{23,9}} = 0,474\ 238$$

Stanovení součinitele boulení:

$$\rho = 1,0 \quad \text{pro } \bar{\lambda}_p \leq 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 * \psi}$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055(3+\psi)}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1,0 \quad \text{pro } \bar{\lambda}_p > 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 * \psi}$$

$$0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 * \psi} = 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 * (-1)} = 0,5 + \sqrt{0,14} \\ = 0,874\ 166$$

$$\bar{\lambda}_p \leq 0,474\ 238 \quad \Rightarrow \rho = 1,0$$

Protože je koeficient boulení roven 1, není tento průřez náchylný na boulení, proto platí $A_{eff} = A$ a $w_{eff} = w_{ey}$

8.4.2 Posouzení průřezu na ohyb

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{f_y * A_{eff}} + \frac{M_{Ed,x} + N_{Ed} * e_{N,x}}{f_y * W_{eff}} + \frac{M_{Ed,z} + N_{Ed} * e_{N,z}}{f_z * W_{eff}} \\ = \frac{313,2 * 10^3}{355 * 10^6 * 0,047244} + \frac{4548,796 * 10^3 + 313,2 * 10^3 * 0}{355 * 10^6 * 0,024323} \\ + \frac{42,135 * 10^3 + 313,2 * 10^3 * 0}{355 * 10^6 * 0,002251} \\ \eta_1 = 0,657 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

8.4.3 Posouzení průřezu na únosnost ve smyku – Příspěvek Stojiny

Výpočet velikosti únosnosti smyku ve smyku stojiny vypočítáme podle ČSN EN 1993-1-5: 5.2

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t_w}{\sqrt{3} * \gamma_{M1}}$$

Součinitel příspěvku stojiny (χ_w) se stanoví na základě velikosti štíhlosti ($\bar{\lambda}_w$) podle tabulky 5.1 ČSN EN 1993-1-5. Náš model bude mít tuhou koncovou výztuhu.

Tabulka 19 - Součinitel příspěvku stojiny χ_w k únosnosti boulení při smyku - ČSN EN 1993-1-5 Tabulka 5.1

	Tuhá koncová výztuha	Netuhá koncová výztuha
$\bar{\lambda}_w < 0,83/\eta$	η	η
$0,83/\eta \leq \bar{\lambda}_w < 1,08$	$0,83/\bar{\lambda}_w$	$0,83/\bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,08$	$1,37/(0,7 + \bar{\lambda}_w)$	$0,83/\bar{\lambda}_w$

Protože se příčné výztuhy nacházejí na hlavním nosníku nejen nad podporami, ale i v každém přípoji příčníků, se štíhlost vypočítá podle výrazu (5.6 ČSN EN 1993-1-5).

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{37,4 * t_w * \varepsilon * \sqrt{k_\tau}}$$

Součinitel kritického napětí (k_τ) se vypočítá podle výrazu (A.5 ČSN EN 1993-1-5). Velikost součinitele je závislá na poměru vzdálenosti příčných výztuh ($a = 2 \text{ m}$) a výšky stěny hlavního nosníku ($h_w = 1,446 \text{ m}$).

$$\frac{a}{h_w} = \frac{2}{1,446} = 1,383 \geq 1,0$$

$$k_\tau = 5,34 + 4,00 * \left(\frac{h_w}{a}\right)^2 + k_{\tau sl}$$

Vzhledem k absenci podélných výztuh je součinitel podélné výztuhy ($k_{\tau sl}$) roven nule.

$$k_\tau = 5,34 + 4,00 * \left(\frac{1,446}{2}\right)^2 + 0 = 7,431$$

$$\bar{\lambda}_w = \frac{1,446}{37,4 * 0,014 * 0,813 * \sqrt{7,431}} = 1,245 \text{ 167}$$

Dle poznámky 2 ČSN EN 1993-1-5 je $\eta = 1,2$.

$$\frac{0,83}{\eta} = \frac{0,83}{1,2} = 0,691 \text{ 666}$$

$$\bar{\lambda}_w = 1,245 \text{ 167} > 1,08 > \frac{0,83}{\eta}$$

$$\chi_w = \frac{1,37}{0,7 + \bar{\lambda}_w} = \frac{1,37}{0,7 + 1,245 \text{ 167}} = 0,704 \text{ 310}$$

$$V_{bw,Rd} = \frac{0,704\,310 * 355 * 10^6 * 1,446 * 0,014}{\sqrt{3} * 1,2} = 2\,435,266 \text{ kN}$$

8.4.4 Posouzení průřezu na únosnost ve smyku – Příspěvek pásnic

Velikost únosnosti pásnic ve smyku se vypočte dle výrazu (5.8 ČSN EN 1993-1-5: 5.4).

$$V_{bf,Rd} = \frac{b_f * t_f^2 * f_{yf}}{c * \gamma_{M1}} * \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right)$$

$$b_f = 0,5 \text{ m} \leq 15 * \varepsilon * t_f = 15 * 0,814 * 0,027 = 0,329 \text{ m}$$

Šířka pásnice nesplňuje podmínku, z toho důvodu se vezme menší hodnota.

$$b_f = 0,329 \text{ m}$$

Výpočet koeficientu (c) dle výrazu (5.8) ČSN EN 1993-1-5:

$$\begin{aligned} c &= a * \left(0,25 + \frac{1,6 * b_f * t_f^2 * f_{yf}}{t_w * h_w^2 * f_{yw}} \right) \\ &= 2,0 * \left(0,25 + \frac{1,6 * 0,329 * 0,027^2 * 355 * 10^6}{0,014 * 1,446^2 * 355 * 10^6} \right) = 0,526\,260 \end{aligned}$$

Výpočet momentu únosnosti průřezu sestávajícího pouze z účinné plochy pásnic:

$$M_{f,Rd} = \frac{w_{fy} * f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$w_{fy} = 2 * A_{pás.} * z_{pás.}$$

$$A_{pás.} = b_f * t_f = 0,5 * 0,027 = 0,013\,500 \text{ m}^2$$

$$z_{pás.} = \frac{(h - t_f)}{2} = \frac{(1,5 - 0,027)}{2} = 0,736\,500 \text{ m}$$

$$w_{fy} = 2 * 0,0135 * 0,7365 = 0,019\,886 \text{ m}^3$$

$$M_{f,Rd} = \frac{0,019\,886 * 355 * 10^6}{1,1} = 6\,417,593 \text{ kNm}$$

$$V_{bf,Rd} = \frac{0,329 * 0,027^2 * 355 * 10^6}{0,526260 * 1,2} * \left(1 - \left(\frac{4\,548,796}{6417,593}\right)^2\right) = 67,194 \text{ kN}$$

8.4.5 Posouzení průřezu na únosnost ve smyku – Celková návrhová únosnost

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t_w}{\sqrt{3} * \gamma_{M1}}$$

$$V_{b,Rd} = 2\,436,266 + 67,194 \text{ kN} \leq \frac{1,2 * 355 * 10^6 * 1,446 * 0,014}{\sqrt{3} * 1,2}$$

$$V_{b,Rd} = 2\,502,460 \text{ kN} \leq 4\,149,197 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = \frac{1\,516,265}{2\,502,460} = 0,606 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

8.4.6 Posouzení průřezu na interakci mezi smykovou silou a ohybovým momentem

I přes to, že ohybový moment a smyková síla mají odlišný průběh a jejich maximální hodnoty se na prostém nosníku nikdy nesetkají ve stejném místě, provádíme toto posouzení, abychom se s celým posudkem hlavního nosníku pohybovali na straně bezpečné.

$\mu_3 > 0,5 \Rightarrow$ musíme provést posouzení

$$\mu_1 + \left[1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right] [2\mu_3 - 1]^2 \leq 1,0$$

$$\mu_1 = 0,657$$

$$\mu_3 = 0,606$$

$$M_{f,Rd} = 6\,417,593 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{w_{pl2} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,027204 * 355 * 10^6}{1,1} = 8\,779\,378 \text{ N.m}$$

$$= 8\,779,378 \text{ kN.m}$$

$$\begin{aligned}
 w_{pl2} &= 2A_1z_1 + 2A_2z_2 \\
 &= 2 * (0,5 * 0,027) * 0,7365 + 2 * (0,723 * 0,014) \\
 &\quad * 0,3615 = 0,027\,204\,m^3
 \end{aligned}$$

$$0,657 + \left[1 - \frac{6\,417,593}{8\,779,378}\right] [0,606 - 1]^2 = 0,668 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

8.4.7 Posouzení průřezu na klopení

Pro posouzení průřezu na klopení volím zjednodušený výpočet, podle kterého nejsou pruty s jednotlivými příčnými podporami citlivé na klopení, jestliže vyhovuje vzdálenost mezi příčnými výztuhami (L_c), nebo výsledná štíhlost ($\bar{\lambda}_w$) podmínce:

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{k_c * L_c}{i_{f,z} * \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} * \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}}$$

Opravný součinitel (k_c) stanovíme dle tabulky 6.6 ČSN EN 1993-1-1.

$$\psi = -1$$

$$k_c = \frac{1}{1,33 - 0,33 * \psi} = \frac{1}{1,33 - 0,33 * (-1)} = \frac{1}{1,66} = 0,602$$

Vzdálenost mezi příčnými výztuhami (L_c) je 2,0 m.

Poloměr setrvačnosti průřezu ekvivalentní tlačené pásnice, složené z tlačené pásnice a 1/3 tlačené části plochy stojiny, k ose nejmenší tuhosti průřezu ($i_{f,z}$), stanovíme na základě vztahu ČSN EN 1993-1-1: 6.3.2.4 (1)B POZNÁMKA 1B.

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_{eff,f}}{A_{eff,f} + \frac{1}{3} * A_{eff,w}}}$$

$$I_{eff,f} = I_z = 0,000\,563\,m^4$$

$$A_{eff,f} = b_f * t_f = 0,5 * 0,027 = 0,0135\,m^2$$

$$A_{eff,w} = h_w * t_w = 1,446 * 0,014 = 0,020\,244\,m^2$$

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{0,000563}{0,0135 + \frac{1}{3} * 0,020244}} = 0,182\,633\,m$$

Hodnotu štíhlosti pro výpočet poměrné štíhlosti (λ_1) vypočteme z výrazu:

$$\lambda_1 = \pi * \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

$$\lambda_1 = \pi * \sqrt{\frac{210 * 10^9}{355 * 10^6}} = 76,409$$

Největší štíhlost ekvivalentní tlačené pásnice ($\overline{\lambda}_{c0}$) vypočítáme dle ČSN EN 1993-1-1: 6.3.2.4 (1)B POZNÁMKA 2B.

$$\overline{\lambda}_{c0} = \overline{\lambda}_{LT,0} + 0,1 = 0,4 + 0,1 = 0,5$$

$$M_{c,Rd} = w_y * \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$w_y = 0,024 \text{ 233m}^3$$

$$M_{c,Rd} = 0,024 \text{ 233} * \frac{355 * 10^6}{1,2} = 7 \text{ 168 904 Nm} = 7 \text{ 168,904 kNm}$$

$$M_{Ed} = 4 \text{ 548,796 kNm}$$

$$\overline{\lambda}_{c0} * \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}} = 0,5 * \frac{7 \text{ 168,904}}{4 \text{ 548,796}} = 0,788 \text{ 000}$$

$$\overline{\lambda}_1 = \frac{k_c * L_c}{i_{f,z} * \lambda_1} = \frac{0,602 * 2}{0,182 \text{ 633} * 76,409} = 0,086 \text{ 337} \leq 0,788 \text{ 000}$$

VYHOVUJE

8.5 Posouzení hlavních nosníků na mezní stav použitelnosti

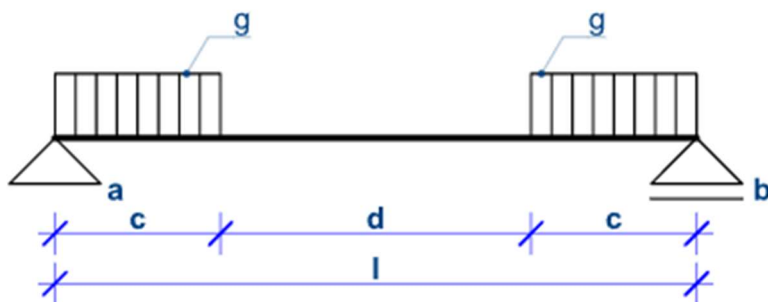
Hlavní nosník posuzujeme na průhyb a únavu.

8.5.1 Posouzení hlavních nosníků na průhyb

Výsledný průhyb dostaneme sečtením jednotlivých průhybů od jednotlivých zatížení působících na hlavní nosník.

Zároveň nám nesmí výsledný průhyb překročit limitní hodnotu $l/400$. Tuto hodnotu nesmí překročit průhyb od hlavního nosníku, ale ani celkový průhyb získaný sečtením průhybu hlavního nosníku a průhybu příčníku.

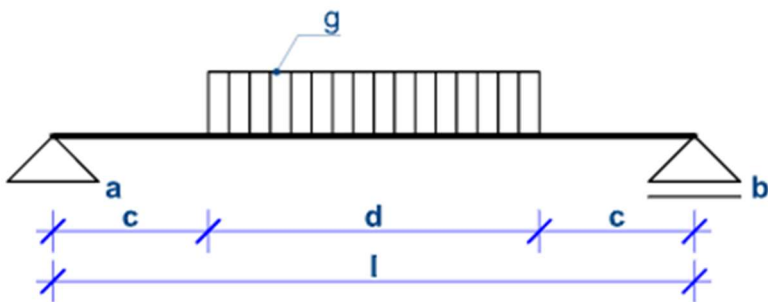
Průhyb od zatížení $Q_{80, \text{ch}}$



Obrázek 30 - Schéma zatížení hlavního nosníku s zatížením $Q_{80, \text{ch}}$ (7)

$$w_{s,1} = \frac{g_1 * c^2}{48 * E * I_y} * (3 * l^2 - 2 * c^2)$$

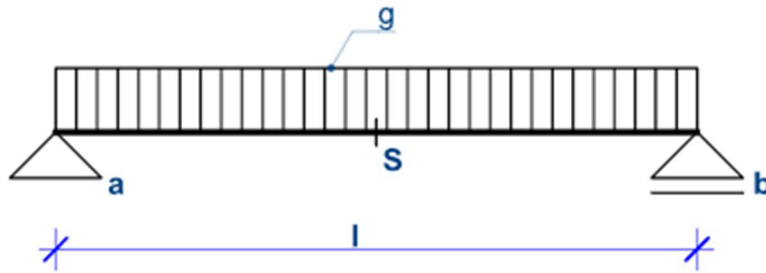
Průhyb od zatížení $Q_{250, \text{ch}}$



Obrázek 31 - Schéma zatížení hlavního nosníku s zatížením $Q_{250, \text{ch}}$ (8)

$$w_{s,1} = \frac{g_2 * l^4}{384 * E * I_y} * \left[8 * \frac{d}{l} - 4 * \left(\frac{d}{l} \right)^3 + \left(\frac{d}{l} \right)^4 \right]$$

Průhyb od Vlastní tíhy hlavního nosníku



Obrázek 32 - Schéma zatížení hlavního nosníku Vlastní tíhou (9)

$$w_{s,1} = \frac{5 * g_3 * l^4}{384 * E * I_y}$$

Výsledný průhyb hlavního nosníku uprostřed rozpětí

$$w_{s,Hl.N.} = w_{s,1} + w_{s,2} + w_{s,3} =$$

$$= \frac{g_1 * c^2}{48 * E * I_y} * (3 * l^2 - 2 * c^2) + \frac{g_2 * l^4}{384 * E * I_y} * \left[8 * \frac{d}{l} - 4 * \left(\frac{d}{l} \right)^3 + \left(\frac{d}{l} \right)^4 \right] + \frac{5 * g_3 * l^4}{384 * E * I_y}$$

$$g_1 = Q_{80,ch} = 130,627 \text{ kN/m}$$

$$g_2 = Q_{250,ch} = 194,30 \text{ kN/m}$$

$$g_3 = m * g = (370,865 + 25,0) * 9,80665 = 3,882 \text{ kN/m}$$

$$c = 2,8 \text{ m}$$

$$d = 6,4 \text{ m}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

$$I_y = 0,018 \text{ 175 m}^4$$

$$w_{s,Hl.N.} = \frac{130,627 * 2,8^2}{48 * 210 * 10^9 * 0,018175} * (3 * 12^2 - 2 * 2,8^2) + \frac{194,30 * 12^4}{384 * 210 * 10^9 * 0,018175} * \left[8 * \frac{6,4}{12} - 4 * \left(\frac{6,4}{12}\right)^3 + \left(\frac{6,4}{12}\right)^4 \right] + \frac{5 * 3,882 * 12^4}{384 * 210 * 10^9 * 0,018175}$$

$$w_{s,Hl.N.} = 12,30 \text{ mm}$$

$$w_{s,lim} = \frac{1}{400} = \frac{12}{400} = 0,03 \text{ m} = 30 \text{ mm}$$

$$w_{s,Hl.N.} \leq w_{s,lim}$$

VYHOVÍ

$$w_{s,Hl.N.} + w_{s,př} \leq w_{s,lim}$$

VYHOVÍ

8.5.2 Posouzení hlavních nosníků na únavu

Hlavní nosníky byly posouzeny na únavu v místech maximálních napětí. Posouzení na únavu bylo zpracováno dle ČSN 73 1401 a ŠČSN EN 1993-2.

1. Podmínka – největší rozkmit napětí v návrhovém spektru

$$\gamma_{Ff} \Delta \sigma \leq \frac{26 \varphi_r \varphi_t}{\gamma_{Mf}}$$

$$\varphi_r = 1,0$$

$$\varphi_t = 1,0$$

$$\gamma_{Mf} = 1,15$$

$$\gamma_{Ff} \Delta \sigma \leq 22,609 \text{ MPa}$$

$$\Delta \sigma = \sigma_{max} - \sigma_{min}$$

$$\sigma_{max} = 150,159 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{min} = 42,866 \text{ MPa}$$

Velikosti napětí stanoveny v programu Microsoft Excel.

$$\Delta\sigma = 150,159 - 42,866 = 107,293 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{Ff} = 1,0$$

$$107,293 \leq 22,609$$

NEVYHOVÍ

2. Podmínka – celkový počet cyklů v návrhovém spektru

$$N \leq 2e^6 \left(\frac{36\varphi_r\varphi_t}{\Delta\sigma_{E,2}\gamma_{Mf}\gamma_{Ff}} \right)^3$$

$$\Delta\sigma_{E,2} = \lambda\Phi_3\Delta\sigma$$

$$\Phi_3 = \frac{2,16}{\sqrt{L_\phi} - 0,2} + 0,73 = \frac{2,16}{\sqrt{12} - 0,2} + 0,73 = 1,391\,744$$

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

$$\lambda_1 = \mathbf{0,826} \rightarrow \text{pro } L = 12 \text{ m}$$

$$\lambda_2 = \mathbf{0,96} \rightarrow \text{pro dopravu za rok } 10e^6 \text{ t/rok}$$

$$\lambda_3 = \mathbf{1,00} \rightarrow \text{pro návrhovou životnost } 100 \text{ let}$$

$$\lambda_4 = \mathbf{1,00}$$

$$\lambda = 0,826 * 0,96 * 1,00 * 1,00 = \mathbf{0,793}$$

$$0,793 \leq 1,4 \rightarrow \text{vyhoví}$$

$$\Delta\sigma_{E,2} = \lambda\Phi_3\Delta\sigma = 0,793 * 1,392 * 107,293 = 118,408 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} N &\leq 2 * 10^6 \left(\frac{36\varphi_r\varphi_t}{\Delta\sigma_{E,2}\gamma_{Mf}\gamma_{Ff}} \right)^3 = 2 * 10^6 \left(\frac{36 * 1 * 1}{118,408 * 1,15 * 1} \right)^3 \\ &= 36\,956,82 \text{ cyklů/100let} \end{aligned}$$

Zatížení provozem

Těžké zatížení $\rightarrow P_3$

Třída trati → 0,6

$$L_d = L = 12 \text{ m}$$

Počet cyklů napětí → $N_{rok} = 4\,660/rok$

$N = 100N_{rok} = 466\,000$ → počet cyklů za 100 let

$N \leq 36\,956,82 \text{ cyklů}/100let$

$466\,000 \leq 36\,956,82$

NEVYHOVÍ

3. Podmínka – finální posudek na únavu

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

$$\Delta \sigma_c = 140 \text{ MPa}$$

$$1 * 118,408 = 118,408 \text{ MPa} \leq \frac{140}{1,15} = 121,739 \text{ MPa}$$

VYHOVÍ

8.6 Velikost vnitřních sil hlavních nosníků ukloněných o 30 ° od svislé osy

Ze zatížení působícího na plochu mostovky nejprve vypočteme zatížení, které působí v podélném směru mostu na hlavní nosníky. Vzhledem k uklonění hlavního nosníku získáme kratší příčnicku a tím i menší plochu, na které působí zatížení mostovky. Uprostřed mostu bude mít zatížení jinou velikost nežli na okrajích u hlavních nosníků, kvůli rozdílnému zatížení od dopravy a zatížení bez dopravy (viz. Obrázek 8).

Velikosti částí s rozdílným spojitým zatížením v příčném směru jsou patrné z tabulky 20.

Tabulka 20 - Velikosti částí s rozdílným spojitým zatížením

Tl. Desky	c	d
m	m	m
0,250	0,77	2,83
0,275	0,76	2,86
0,300	0,75	2,88
0,325	0,73	2,91
0,350	0,72	2,93
0,375	0,71	2,96
0,400	0,70	2,98

Zatížení spočteme pro zatížení odpovídající zatížení při tloušťce desky 250 mm.

$$Q_{250} = 2 * c * g_{6.10MAX} + d * q_{250 \ 6.10MAX} + g_{př}$$

$$c = 0,77 \text{ m}$$

$$g_{6.10MAX} = 24,840 \text{ kN/m}^2$$

$$d = 2,83 \text{ m}$$

$$q_{250 \ 6.10MAX} = 145,5 \text{ kN/m}^2$$

Jako příčnický volím příčnický průřez HE300M, se kterými se počítalo v předchozích kapitolách. Z předchozích kapitol je jasné, že nosníky typu HE300M můžeme umístit od sebe až ve vzdálenosti 2,6 m (model s kolnými hlavními nosníky). Při výpočtu modelu s ukloněnými hlavními nosníky o 30° od svislé osy a zkrácení příčnicků na 4,37 m se zvýší únosnost příčnicků. Příčnický průřez HE300M mohou v tomto případě umístit až 3,79 m od sebe. Protože základním předpokladem je umístování příčnicků maximálně ve vzdálenosti 2,0 m od sebe, volím vzdálenost příčnicků (l_{vz}) 2,0 m. Na této vzdálenosti se zároveň roznáší vlastní tíha příčnicků do spojitého zatížení. Délka příčnicků ($l_{př}$) je rovna 4,37 m

$$m = 238 \text{ kg/m}$$

$$g_{př} = (l_{př} * m * g * \xi * \gamma_{G,j}) / l_{vz} \quad (6.10b \text{ ČSN EN 1990})$$

$$g_{př} = (4,37 * 238 * 9,81 * 0,85 * 1,35) / 2$$

$$g_{př} = 5,852 \text{ kN/m}$$

$$Q_{250} = 2 * 0,77 * 24,84 + 2,83 * 145,5 + 5,852 = 455,871 \text{ kN/m}$$

$$Q_{80} = 2 * c * g_{6.10MAX} + d * q_{80\ 6.10MAX} + g_{př}$$

$$q_{80\ 6.10MAX} = 85,69\ kN/m^2$$

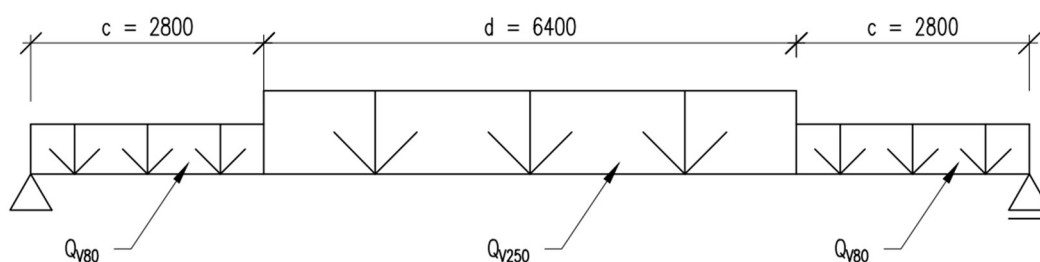
$$Q_{80} = 2 * 0,77 * 24,84 + 2,83 * 85,69 + 5,852 = 286,608\ kN/m$$

Tato výsledná zatížení působí na oba hlavní nosníky dohromady, z toho důvodu dojde k jejich přerozdělení mezi oba hlavní nosníky v poměru 1:1,2.,

$$Q_{V250} = \frac{Q_{250} * 1,2}{1 + 1,2} = Q_{250} * \frac{6}{11} = 455,871 * \frac{6}{11} = 248,657\ kN/m$$

$$Q_{V80} = \frac{Q_{80} * 1,2}{1 + 1,2} = Q_{80} * \frac{6}{11} = 286,608 * \frac{6}{11} = 156,332\ kN/m$$

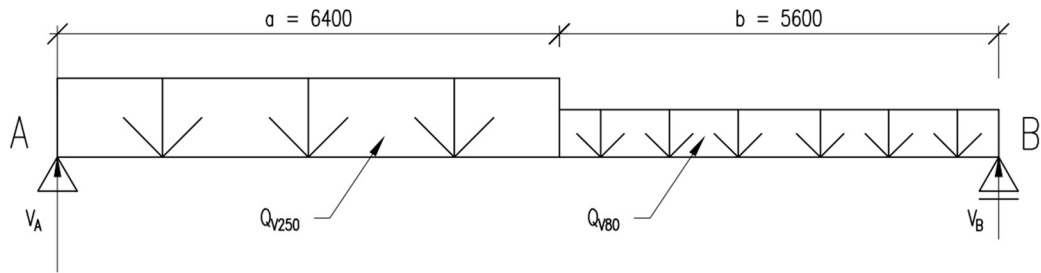
Výsledná zatížení působí na hlavní nosník v různých místech. Výsledný moment působící na hlavní nosník od zatížení od dopravy, ostatního stálého a stálého zatížení mostovky a příčníků vypočteme ze zatěžovacího schématu viz. Obrázek XXX.



Obrázek 33 - Schéma zatížení působícího na hlavní nosník - Výpočet M_{max}

$$\begin{aligned} M_{max,HL.N.} &= \frac{1}{8} * Q_{V250} * d * (2 * l - d) + \frac{Q_{V80} * c^2}{2} \\ &= \frac{1}{8} * 248,657 * 6,4 * (2 * 12 - 6,4) + \frac{156,332 * 2,8^2}{2} \\ &= 4153,211\ kNm \end{aligned}$$

Maximální posouvající sílu od zatížení od dopravy, ostatního stálého a stálého zatížení mostovky a příčníků získáme umístěním většího spojitého zatížení přímo nad podporu viz. Obrázek zatěžovacího schématu č. 34. Maximální posouvající sílu v podpoře A získáme momentovou podmínkou k podpoře B.



Obrázek 34 - Schéma zatížení působícího na hlavní nosník - Výpočet V_{max}

$$M_B = 0$$

$$M_B = V_A * l - Q_{V250} * a * \left(1 - \frac{a}{2}\right) - Q_{V80} * b * \frac{b}{2}$$

$$V_A = \frac{Q_{V250} * a * \left(1 - \frac{a}{2}\right) + Q_{V80} * b * \frac{b}{2}}{l}$$

$$a = 6,4 \text{ m}$$

$$b = 5,6 \text{ m}$$

$$V_A = V_{max,HL.N.} = \frac{248,657 * 6,4 * \left(12 - \frac{6,4}{2}\right) + 156,332 * 5,6 * \frac{5,6}{2}}{12}$$

$$= 1\,371,303 \text{ kNm}$$

Příspěvek k návrhovým hodnotám vnitřních sil od vlastní tíhy hlavního nosníku bude přičten až po zvolení průřezových charakteristik svařovaného profilu hlavního nosníku.

Pro výpočet průhybu hlavního nosníku byly stanoveny velikosti zatížení z charakteristické kombinace. Zatížení působící na hlavní nosník byla stanovena stejným postupem jako od kombinace pro posouzení mezního stavu únosnosti.

$$Q_{250,ch} = 176,790 \text{ kN/m}$$

$$Q_{80,ch} = 113,117 \text{ kN/m}$$

Zatížení hlavních nosníků od rozjezdu a brždění je stejné jako u hlavního nosníku neukloněného.

$$N_{Ed} = 313,2 \text{ kN}$$

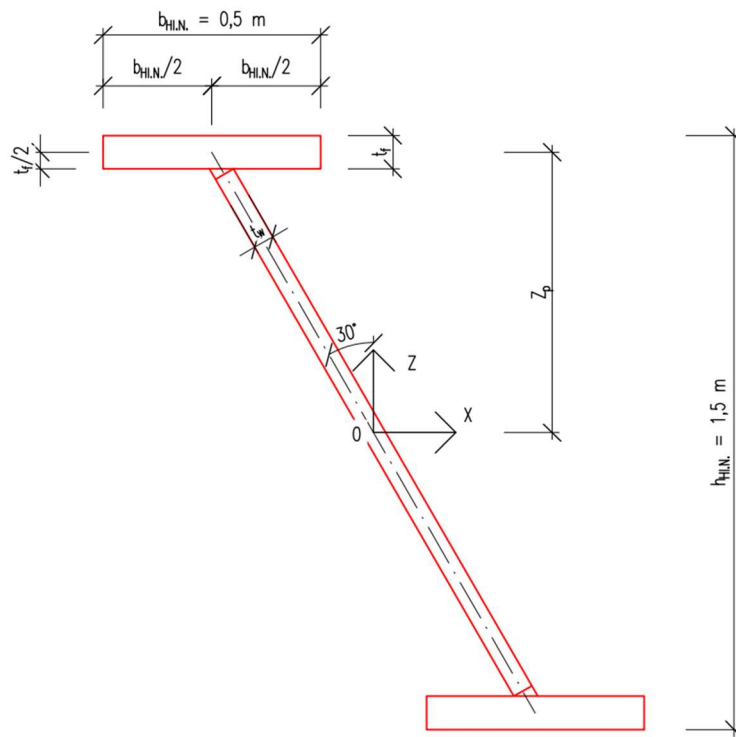
Velikost ohybových momentů od zatížení větrem a bočním rázem ($M_{Z,Ed}$) vypočítáme na základě následujícího vztahu.

$$\begin{aligned} M_{Z,Ed} &= \frac{1}{8} * F'_{w1,6.10} * L_{Hl.N.}^2 + \frac{1}{8} * F'_{w2,6.10} * L_{Hl.N.}^2 + \frac{1}{8} * Q_{r\acute{a}z,6.10} * L_{Hl.N.}^2 \\ &= \frac{1}{8} * 0,366 * 12^2 + \frac{1}{8} * 0,975 * 12^2 + \frac{1}{8} * 12 * 12^2 = 42,135 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Tento moment odpovídá zatížení na jeden hlavní nosník.

8.7 Průřezové charakteristiky hlavního nosníku ukloněného o 30° od svislé osy

Všechny hlavní nosníky mají stejnou výšku ($h_{HL.N.} = 1,5 \text{ m}$), stejnou šířku pásnice ($b_{HL.N.} = 0,5 \text{ m}$) a uklonění hlavního nosníku ($\alpha_{HL.N.} = 30^\circ$). Volí se pouze tloušťka pásnice, tloušťka stojiny a pevnost oceli, ze které je hlavní nosník navrhnut.



Obrázek 35 - Profil ukloněného hlavního nosníku

$$t_f = 24 \text{ mm}$$

$$t_w = 13 \text{ mm}$$

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

Vzhledem k uklonění hlavního nosníku, budeme muset stanovit průřezové charakteristiky ručním výpočtem. Průřez hlavního nosníku je složen ze dvou obdélníků (pásnice) jednoho natočeného obdélníku (stojina) a dvou natočených trojúhelníků (napojení stojiny na pásnici).

Nejprve vypočteme momenty setrvačnosti jednotlivých částí průřezu k lokálním osám, poté vypočteme momenty setrvačnosti ke globálním osám jednotlivých částí průřezu.

Stanovíme momenty setrvačnosti celého průřezu, ze kterých odvodíme hlavní momenty setrvačnosti průřezu.

Pásnice:

$$I_{xG;p} = \frac{1}{12} * b_{HL.N.} * t_f^3 = \frac{1}{12} * 0,5 * 0,024^3 = 5,76 * 10^{-7} m^4$$

$$I_{zG;p} = \frac{1}{12} * b_{HL.N.}^3 * t_f = \frac{1}{12} * 0,5^3 * 0,024 = 0,000 25 m^4$$

$$D_{xzG;p} = 0 m^4$$

$$A_p = t_f * b_{HL.N.} = 0,024 * 0,5 = 0,012 m^2$$

Pro další výpočty stanovíme vzdálenosti těžiště pásnice od globálního těžiště.

$$Z_{xp} = \frac{h_{HL.N.}}{2} - \frac{t_f}{2} = \frac{1,5}{2} - \frac{0,024}{2} = 0,738 m$$

$$Z_{zp} = \frac{h_{HL.N.}}{2} * \tan \alpha_{HL.N.} = 0,75 * \tan 30^\circ = 0,433 m$$

Stojina:

$$h_s = \frac{h_{HL.N.} - 2 * t_f}{\cos \alpha_{HL.N.}} - t_w * \tan \alpha_{HL.N.} = \frac{1,5 - 2 * 0,024}{\cos 30^\circ} - 0,013 * \tan 30^\circ = 1,669 m$$

$$I_{xL;s} = \frac{1}{12} * t_w * h_s^3 = \frac{1}{12} * 0,013 * 1,669^3 = 0,005 038 m^4$$

$$I_{zL;s} = \frac{1}{12} * t_w^3 * h_s = \frac{1}{12} * 0,013^3 * 1,669 = 3,00558 * 10^{-7} m^4$$

$$D_{xzL;s} = 0 m^4$$

$$\begin{aligned} I_{xG;s} &= I_{xL;s} * (\cos \alpha_{HL.N.})^2 + I_{zL;s} * (\sin \alpha_{HL.N.})^2 + D_{xzL;s} * \sin(2 * \alpha_{HL.N.}) \\ &= 0,005038 * (\cos 30^\circ)^2 + 3,00558 * 10^{-7} * (\sin 30^\circ)^2 + 0 \\ &\quad * \sin(2 * 30^\circ) = 0,003 78 m^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{zG;S} &= I_{xL;S} * (\sin \alpha_{HL.N.})^2 + I_{zL;S} * (\cos \alpha_{HL.N.})^2 - D_{xzL;S} * \sin(2 * \alpha_{HL.N.}) \\
 &= 0,005038 * (\sin 30^\circ)^2 + 3,00558 * 10^{-7} * (\cos 30^\circ)^2 - 0 \\
 &\quad * \sin(2 * 30^\circ) = 0,001\ 260\ m^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D_{xzG;S} &= (I_{zL;S} - I_{xL;S}) * \frac{1}{2} * \sin(2 * \alpha_{HL.N.}) + D_{xzL;S} * \cos(2 * \alpha_{HL.N.}) \\
 &= (3,00558 * 10^{-7} - 0,005038) * \frac{1}{2} * \sin(2 * 30^\circ) + 0 \\
 &\quad * \cos(2 * 30^\circ) = -0,002\ 181\ m^4
 \end{aligned}$$

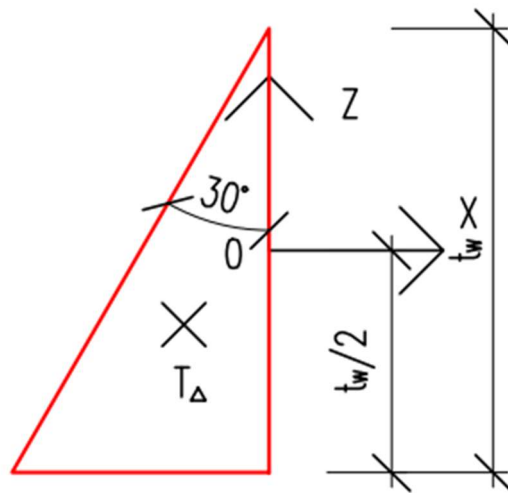
$$A_S = h_s * t_w = 1,669 * 0,013 = 0,021\ 698\ m^2$$

Pro další výpočty stanovíme vzdálenosti těžiště pásnice od globálního těžiště.

$$Z_{xS} = 0\ m$$

$$Z_{zS} = Z_{xS} * \tan \alpha_{HL.N.} = 0 * \tan 30^\circ = 0\ m$$

Trojúhelník v napojení stojiny na pásnici:



Obrázek 36 - Průřezové charakteristiky trojúhelníku

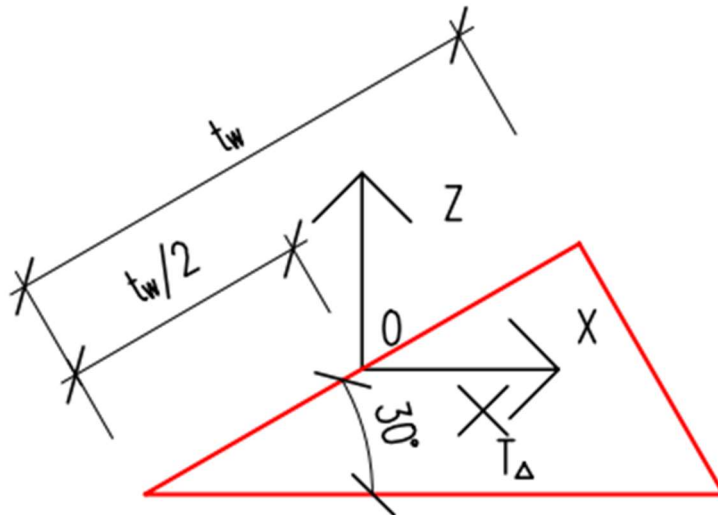
$$a_\Delta = t_w * \tan \alpha_{HL.N.} = 0,013 * \tan 30^\circ = 0,007\ 506\ m$$

$$I_{xL;\Delta} = \frac{1}{36} * t_w * a_\Delta^3 = \frac{1}{36} * 0,013 * 0,0075^3 = 1,527 * 10^{-10}\ m^4$$

$$I_{zL;\Delta} = \frac{1}{36} * t_w^3 * a_{\Delta} = \frac{1}{12} * 0,013^3 * 0,0075 = 4,580 * 10^{-10} m^4$$

$$D_{xzL;s} = \frac{1}{8} * t_w^2 * a_{\Delta}^2 = \frac{1}{8} * 0,013^2 * 0,0075^2 = 1,190 * 10^{-9} m^4$$

$$\alpha_{\Delta} = 120^{\circ}$$



Obrázek 37 - Průřezové charakteristiky natočeného trojúhelníku

$$\begin{aligned} I_{xG;\Delta} &= I_{xL;\Delta} * (\cos \alpha_{\Delta})^2 + I_{zL;\Delta} * (\sin \alpha_{\Delta})^2 + D_{xzL;\Delta} * \sin(2 * \alpha_{\Delta}) \\ &= 1,527 * 10^{-10} * (\cos 120^{\circ})^2 + 4,580 * 10^{-10} * (\sin 120^{\circ})^2 \\ &\quad + 1,190 * 10^{-9} * \sin(2 * 120^{\circ}) = -6,489 * 10^{-10} m^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{zG;\Delta} &= I_{xL;\Delta} * (\sin \alpha_{\Delta})^2 + I_{zL;\Delta} * (\cos \alpha_{\Delta})^2 - D_{xzL;\Delta} * \sin(2 * \alpha_{\Delta}) \\ &= 1,527 * 10^{-10} * (\sin 120^{\circ})^2 + 4,580 * 10^{-10} * (\cos 120^{\circ})^2 \\ &\quad - 1,190 * 10^{-9} * \sin(2 * 120^{\circ}) = 1,259 * 10^{-9} m^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_{xzG;\Delta} &= (I_{zL;\Delta} - I_{xL;\Delta}) * \frac{1}{2} * \sin(2 * \alpha_{\Delta}) + D_{xzL;\Delta} * \cos(2 * \alpha_{\Delta}) \\ &= (4,580 * 10^{-10} - 1,527 * 10^{-10}) * \frac{1}{2} * \sin(2 * 120^{\circ}) + 1,190 \\ &\quad * 10^{-9} * \cos(2 * 120^{\circ}) = -7,272 * 10^{-10} m^4 \end{aligned}$$

$$A_{\Delta} = \frac{1}{2} * a_{\Delta} * t_w = \frac{1}{2} * 0,0075 * 0,013 = 9,757 * 10^{-5} m^2$$

Pro další výpočty stanovíme vzdálenosti těžiště profilu od globálního těžiště.

$$\begin{aligned}
 Z_{x\Delta} &= \frac{h_s}{2} * \cos \alpha_{HL.N.} - \sqrt{\left(\frac{1}{6} * t_w\right)^2 + \left(\frac{1}{3} * a_\Delta\right)^2} \\
 &\quad * \sin\left(\alpha_\Delta + 180^\circ + \tan^{-1}\left(\frac{1}{2} * \frac{t_w}{a_\Delta}\right)\right) \\
 &= \frac{1,669}{2} * \cos 30^\circ - \sqrt{\left(\frac{1}{6} * 0,013\right)^2 + \left(\frac{1}{3} * 0,0075\right)^2} \\
 &\quad * \sin\left(120^\circ + 180^\circ + \arctan\left(\frac{1}{2} * \frac{0,013}{0,0075}\right)\right) \\
 &= 0,722 - 0,0033 * \sin 341^\circ = 0,723 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z_{z\Delta} &= \frac{h_s}{2} * \sin \alpha_{HL.N.} + \sqrt{\left(\frac{1}{6} * t_w\right)^2 + \left(\frac{1}{3} * a_\Delta\right)^2} \\
 &\quad * \cos\left(\alpha_\Delta + 180^\circ + \tan^{-1}\left(\frac{1}{2} * \frac{t_w}{a_\Delta}\right)\right) \\
 &= \frac{1,669}{2} * \sin 30^\circ + \sqrt{\left(\frac{1}{6} * 0,013\right)^2 + \left(\frac{1}{3} * 0,0075\right)^2} \\
 &\quad * \cos\left(120^\circ + 180^\circ + \arctan\left(\frac{1}{2} * \frac{0,013}{0,0075}\right)\right) \\
 &= 0,417 + 0,0033 * \cos 341^\circ = 0,420 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Momenty setrvačnosti a deviační momenty celého průřezu:

$$\begin{aligned}
 I_x &= \sum (I_{x;i} + A_i * Z_{x,i}^2) = \\
 &= 2 * (I_{xG;p} + A_p * Z_{x,p}^2) + I_{xG;s} + A_s * Z_{x,s}^2 + 2 * (I_{xG;\Delta} + A_\Delta * Z_{x,\Delta}^2) \\
 &= 2 * (5,76 * 10^{-7} + 0,012 * 0,738^2) + 0,005 038 + 0,0217 * 0^2 \\
 &\quad + 2 * (-6,489 * 10^{-10} + 9,757 * 10^{-5} * 0,724^2) = 0,016 953 \text{ m}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_z &= \sum (I_{z;i} + A_i * Z_{z,i}^2) = \\
 &= 2 * (I_{zG;p} + A_p * Z_{z,p}^2) + I_{zG;s} + A_s * Z_{z,s}^2 + 2 * (I_{zG;\Delta} + A_\Delta * Z_{z,\Delta}^2) \\
 &= 2 * (0,00025 + 0,012 * 0,433^2) + 3,056 * 10^{-7} + 0,0217 * 0^2 \\
 &\quad + 2 * (1,2596 * 10^{-9} + 9,757 * 10^{-5} * 0,420^2) = 0,006 294 \text{ m}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
D_{XZ} &= \sum (D_{xz;i} + A_i * Z_{x,i} * Z_{z,i}) = \\
&= 2 * (D_{xzG;p} + A_p * Z_{x,p} * Z_{z,p}) + D_{xzG;s} + A_s * Z_{x,s} * Z_{z,s} + 2 \\
&\quad * (D_{xzG;\Delta} + A_{\Delta} * Z_{x,\Delta} * Z_{z,\Delta}) \\
&= 2 * (0 + 0,012 * 0,738 * 0,433) - 0,002 181 + 0,02169 * 0^2 \\
&\quad + 2 * (-7,272 * 10^{-10} + 9,757 * 10^{-5} * 0,724 * 0,420) \\
&= 0,005 548 m^4
\end{aligned}$$

Hlavní momenty setrvačnosti:

$$\begin{aligned}
I_1 &= \frac{1}{2} * (I_X + I_Z) + \frac{1}{2} * \sqrt{(I_X - I_Z)^2 + 4 * D_{XZ}^2} \\
&= \frac{1}{2} * (0,016 953 + 0,006 294) + \frac{1}{2} \\
&\quad * \sqrt{(0,016 953 - 0,006 294)^2 + 4 * 0,005 548^2} = 0,019 317 m^4
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_2 &= \frac{1}{2} * (I_X + I_Z) - \frac{1}{2} * \sqrt{(I_X - I_Z)^2 + 4 * D_{XZ}^2} \\
&= \frac{1}{2} * (0,016 953 + 0,006 294) - \frac{1}{2} \\
&\quad * \sqrt{(0,016 953 - 0,006 294)^2 + 4 * 0,005 548^2} = 0,003 931 m^4
\end{aligned}$$

Natočení hlavních momentů setrvačnosti od globálních souřadnicových os:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{I_1 - I_X}{D_{XZ}}\right) = \arctan\left(\frac{0,019 317 - 0,016 953}{0,005 548}\right) = 23,07456^\circ$$

Vzdálenost krajních vláken od hlavních os průřezu:

$$\begin{aligned}
 Z_X &= \sqrt{\left(\frac{h_{HLN.}}{2}\right)^2 + \left(\frac{b_{HLN.}}{2} + \frac{h_{HLN.}}{2} * \tan \alpha_{HLN.}\right)^2} \\
 &\quad * \sin \left(\alpha_{HLN.} \right. \\
 &\quad \left. + \arccos \left(\frac{\left(\frac{b_{HLN.}}{2} + \frac{h_{HLN.}}{2} * \tan \alpha_{HLN.}\right)}{\sqrt{\left(\frac{h_{HLN.}}{2}\right)^2 + \left(\frac{b_{HLN.}}{2} + \frac{h_{HLN.}}{2} * \tan \alpha_{HLN.}\right)^2}} \right) \right) \\
 &= \sqrt{\left(\frac{1,5}{2}\right)^2 + \left(\frac{0,5}{2} + \frac{1,5}{2} * \tan 30^\circ\right)^2} \\
 &\quad * \sin \left(30^\circ + \arccos \left(\frac{\left(\frac{0,5}{2} + \frac{1,5}{2} * \tan 15^\circ\right)}{\sqrt{\left(\frac{1,5}{2}\right)^2 + \left(\frac{0,5}{2} + \frac{1,5}{2} * \tan 30^\circ\right)^2}} \right) \right) \\
 &= 0,958 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z_Z &= \sqrt{\left(\frac{h_{HLN.}}{2}\right)^2 + \left(\frac{b_{HLN.}}{2} + \frac{h_{HLN.}}{2} * \tan \alpha_{HLN.}\right)^2} \\
 &\quad * \cos \left(\alpha_{HLN.} \right. \\
 &\quad \left. + \arccos \left(\frac{\left(\frac{b_{HLN.}}{2} + \frac{h_{HLN.}}{2} * \tan \alpha_{HLN.}\right)}{\sqrt{\left(\frac{h_{HLN.}}{2}\right)^2 + \left(\frac{b_{HLN.}}{2} + \frac{h_{HLN.}}{2} * \tan \alpha_{HLN.}\right)^2}} \right) \right) \\
 &= \sqrt{\left(\frac{1,5}{2}\right)^2 + \left(\frac{0,5}{2} + \frac{1,5}{2} * \tan 30^\circ\right)^2} \\
 &\quad * \cos \left(30^\circ + \arccos \left(\frac{\left(\frac{0,5}{2} + \frac{1,5}{2} * \tan 15^\circ\right)}{\sqrt{\left(\frac{1,5}{2}\right)^2 + \left(\frac{0,5}{2} + \frac{1,5}{2} * \tan 30^\circ\right)^2}} \right) \right) \\
 &= 0,334 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Moduly průřezu:

$$W_i = \frac{I_i}{Z_i}$$

$$W_X = \frac{I_1}{Z_X} = \frac{0,019\,317}{0,957\,689} = 0,020\,170\,m^3$$

$$W_Z = \frac{I_2}{Z_Z} = \frac{0,003\,931}{0,334\,422} = 0,011\,754\,m^3$$

Plocha a vlastní tíha hlavního nosníku:

$$A = \sum A_i = 2 * A_p + A_s + 2 * A_{\Delta} = 2 * 0,012 + 0,02169 + 2 * 9,75722 * 10^{-5} \\ = 0,0458\,m^2$$

$$\rho_{ocel} = 7850\,kg/m^3$$

$$m_{HLN.} = A * \rho_{ocel} = 0,0458 * 7850 = 359,53\,kg/m$$

K hmotnosti hlavního nosníku přičteme 25 kg/m. Tato hodnota odpovídá hmotnosti zábradlí, které bude na hlavním nosníku osazeno.

Příspěvek od vlastní tíhy k vnitřním silám – kombinace 6.10b

$$M_{vl.t.,HLN.,6.10} = \frac{1}{8} * l^2 * (m * g * \xi * \gamma_{G,j}) \quad (6.10b \text{ ČSN EN 1990})$$

$$M_{vl.t.,HLN.,6.10} = \frac{1}{8} * 12^2 * ((359,53 + 25,0) * 9,80665 * 0,85 * 1,35)$$

$$M_{vl.t.,HLN.,6.10} = 77,882\,kNm$$

$$V_{vl.t.,HLN.,6.10} = \frac{1}{2} * l * (m * g * \xi * \gamma_{G,j}) \\ = \frac{1}{2} * 12 * ((359,53 + 25,0) * 9,807 * 0,85 * 1,35) = 25,961\,kN$$

Příspěvek od vlastní tíhy k vnitřním silám – charakteristická kombinace:

$$g_{vl.t.,HL.N.,char} = m * g \quad (\text{char. Komb. ČSN EN 1990})$$

$$g_{vl.t.,HL.N.,char} = (359,53 + 25) * 9,80665 = 3\,770,95\text{N/m} = 3,771\text{kN/m}$$

8.8 Posouzení kolmých hlavních nosníků ukloněných o 30 ° od svislé osy na mezní stav únosnosti

Velikost maximálních vnitřních sil působících na hlavní nosník stanovíme sečtením vnitřních sil od zatížení a od vlastní tíhy hlavního nosníku.

$$M_{Ed,x} = M_{max,HLN.} + M_{vl.t.,HLN.,6.10} = 4\,153,211 + 77,882 = 4\,231,094 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,z} = M_Z = 42,135 \text{ kNm}$$

Ohybový momenty se rozkládá na dva na sebe kolmé ohybové momenty působící ve směru hlavních os průřezu.

$$\begin{aligned} M_{Ed,1} &= M_{Ed,x} * \cos \alpha + M_{Ed,z} * \sin \alpha \\ &= 4\,231,094 * \cos 23,0852^\circ + 42,135 * \sin 23,0852^\circ \\ &= 4\,021,144 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Ed,2} &= M_{Ed,x} * \sin \alpha + M_{Ed,z} * \cos \alpha \\ &= 4\,231,094 * \sin 23,0852^\circ + 42,135 * \cos 23,0852^\circ \\ &= 1\,960,054 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$V_{Ed} = V_{max,HLN.} + V_{vl.t.,HLN.,6.10} = 1\,371,303 + 25,961 = 1\,397,264 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 313,2 \text{ kN}$$

8.8.1 Posouzení účinků boulení stěn vlivem normálových napětí

Výpočet napětí σ_1 a σ_2 :

$$w_{\sigma_1} = w_y = 0,020\,170 \text{ m}^3$$

$$w_{\sigma_2} = -w_y = -0,020\,170 \text{ m}^3$$

$$\sigma_1 = \frac{M_{Ed,1}}{w_{\sigma_1}} = \frac{4\,021,144}{0,020170} = 199,363 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = \frac{M_{Ed,1}}{w_{\sigma_2}} = \frac{4\,021,144}{-0,020170} = -199,363 \text{ MPa}$$

Výpočet poměru napětí:

$$\psi = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{199,363}{-199,363} = -1$$

Pro $\psi = -1$ je $k_\sigma = 23,9$

ČSN EN 1993-1-5: 4.4 Tabulka 4.1

Výpočet koeficientu $\bar{\lambda}_p$:

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} = \frac{\bar{b}/t}{28,4 * \varepsilon * \sqrt{k_\sigma}}$$

$$\bar{b} = 1,007 \text{ m}$$

$$t = 0,013 \text{ m}$$

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/355} = 0,813 \ 617$$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{1,007}{0,013}}{28,4 * 0,813617 * \sqrt{23,9}} = 0,685 \ 723$$

Stanovení součinitele boulení:

$$\rho = 1,0 \quad \text{pro } \bar{\lambda}_p \leq 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 * \psi}$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055(3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1,0 \quad \text{pro } \bar{\lambda}_p > 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 * \psi}$$

$$\begin{aligned} 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 * \psi} &= 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 * (-1)} = 0,5 + \sqrt{0,14} \\ &= 0,874 \ 166 \end{aligned}$$

$$\bar{\lambda}_p \leq 0,874 \ 166 \quad \Rightarrow \rho = 1,0$$

Protože je koeficient boulení roven 1, není tento průřez náchylný na boulení, proto

platí $A_{eff} = A$ a $w_{eff} = w_{ey}$

8.8.2 Posouzení průřezu na dvojosý ohyb

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{N_{Ed}}{\frac{f_y * A_{eff}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{Ed,1} + N_{Ed} * e_N}{\frac{f_y * W_{X,eff}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{Ed,2} + N_{Ed} * e_N}{\frac{f_y * W_{Z,eff}}{\gamma_{M0}}}$$

$$= \frac{313,2 * 10^3}{\frac{355 * 10^6 * 0,0458}{1,1}} + \frac{4\,021,144 * 10^3 + 313,2 * 10^3 * 0}{\frac{355 * 10^6 * 0,020\,170}{1,1}}$$

$$+ \frac{1\,960,054 * 10^3 + 313,2 * 10^3 * 0}{\frac{355 * 10^6 * 0,011\,754}{1,1}}$$

$$\eta_1 = 0,839 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

8.8.3 Posouzení ukloněného průřezu na únosnost ve smyku – Příspěvek Stojiny

Výpočet velikosti únosnosti smyku ve smyku stojiny vypočítáme podle ČSN EN 1993-1-5: 5.2

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w * f_{yw} * h_w * t_w}{\sqrt{3} * \gamma_{M1}}$$

Součinitel příspěvku stojiny (χ_w) se stanoví na základě velikosti štíhlosti ($\bar{\lambda}_w$) podle tabulky 5.1 ČSN EN 1993-1-5. Náš model bude mít tuhou koncovou výztuhu.

Tabulka 21 - Součinitel příspěvku stojiny χ_w k únosnosti boulení při smyku - ČSN EN 1993-1-5 Tabulka 5.1

	Tuhá koncová výztuha	Netuhá koncová výztuha
$\bar{\lambda}_w < 0,83/\eta$	η	η
$0,83/\eta \leq \bar{\lambda}_w < 1,08$	$0,83/\bar{\lambda}_w$	$0,83/\bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,08$	$1,37/(0,7 + \bar{\lambda}_w)$	$0,83/\bar{\lambda}_w$

Protože se příčné výztuhy nacházejí na hlavním nosníku nejen nad podporami, ale i v každém přípoji příčníků, se štíhlost vypočítá podle výrazu (5.6 ČSN EN 1993-1-5).

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{37,4 * t_w * \varepsilon * \sqrt{k_\tau}}$$

Součinitel kritického napětí (k_τ) se vypočítá podle výrazu (A.5 ČSN EN 1993-1-5). Velikost součinitele je závislá na poměru vzdálenosti příčných výztuh ($a = 2\,m$) a výšky stěny hlavního nosníku ($h_w = 1,46\,m$).

$$\frac{a}{h_w} = \frac{2}{1,452} = 1,377 \geq 1,0$$

$$k_\tau = 5,34 + 4,00 * \left(\frac{h_w}{a}\right)^2 + k_{\tau Sl}$$

Vzhledem k absenci podélných výztuh je součinitel podélné výztuhy ($k_{\tau Sl}$) roven nule.

$$k_\tau = 5,34 + 4,00 * \left(\frac{1,452}{2}\right)^2 + 0 = 7,448$$

$$\bar{\lambda}_w = \frac{1,452}{37,4 * 0,013 * 0,813 * \sqrt{7,448}} = 1,344 \ 94$$

Dle poznámky 2 ČSN EN 1993-1-5 je $\eta = 1,2$.

$$\frac{0,83}{\eta} = \frac{0,83}{1,2} = 0,691 \ 666$$

$$\bar{\lambda}_w = 1,344 \ 94 > 1,08 > \frac{0,83}{\eta}$$

$$\chi_w = \frac{1,37}{0,7 + \bar{\lambda}_w} = \frac{137}{0,7 + 1,344 \ 94} = 0,669 \ 946$$

$$V_{bw,Rd} = \frac{0,669 \ 946 * 355 * 10^6 * 1,526 * 0,013}{\sqrt{3} * 1,2} = 2 \ 159,91 \ kN$$

8.8.4 Posouzení ukloněného průřezu na únosnost ve smyku – Příspěvek pásnic

Velikost únosnosti pásnic ve smyku se vypočte dle výrazu (5.8 ČSN EN 1993-1-5: 5.4).

$$V_{bf,Rd} = \frac{b_f * t_f^2 * f_{yf}}{c * \gamma_{M1}} * \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}}\right)^2\right)$$

$$b_f = 0,5 \ m \leq 15 * \varepsilon * t_f = 15 * 0,814 * 0,024 = 0,293 \ m$$

Šířka pásnice nesplňuje podmínku, z toho důvodu se vezme menší hodnota.

$$b_f = 0,293 \ m$$

Výpočet koeficientu (c) dle výrazu (5.8) ČSN EN 1993-1-5:

$$c = a * \left(0,25 + \frac{1,6 * b_f * t_f^2 * f_{yf}}{t_w * h_w^2 * f_{yw}} \right)$$

$$= 2,0 * \left(0,25 + \frac{1,6 * 0,293 * 0,024^2 * 355 * 10^6}{0,012 * 1,452^2 * 355 * 10^6} \right) = 0,5197$$

Výpočet momentu únosnosti průřezu sestávajícího pouze z účinné plochy pásnic:

$$M_{f,Rd} = \frac{w_{fy} * f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$w_{fy} = 2 * A_{pás.} * z_{pás.}$$

$$A_{pás.} = b_f * t_f = 0,5 * 0,024 = 0,012 \text{ m}^2$$

$$z_{pás.} = \frac{(h - t_f)}{2} = \frac{(1,5 - 0,024)}{2} = 0,738 \text{ m}$$

$$w_{fy} = 2 * 0,012 * 0,738 = 0,0177 \text{ m}^3$$

$$M_{f,Rd} = \frac{0,0177 * 355 * 10^6}{1,1} = 5716,145 \text{ kNm}$$

$$V_{bf,Rd} = \frac{0,293 * 0,024^2 * 355 * 10^6}{0,512214 * 1,2} * \left(1 - \left(\frac{4231,094}{5716,145} \right)^2 \right) = 43,419 \text{ kN}$$

8.8.5 Posouzení ukloněného průřezu na únosnost ve smyku – Celková návrhová únosnost

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta * f_{yw} * h_w * t_w}{\sqrt{3} * \gamma_{M1}}$$

$$V_{b,Rd} = 2159,91 + 43,419 \text{ kN} \leq \frac{1,2 * 355 * 10^6 * 1,452 * 0,013}{\sqrt{3} * 1,2}$$

$$V_{b,Rd} = 2203,332 \text{ kN} \leq 3868,813$$

VYHOVUJE

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = \frac{1397,264}{2203,332} = 0,634 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

8.8.6 Posouzení ukloněného průřezu na interakci mezi smykovou silou a ohybovým momentem

I přes to, že ohybový moment a smyková síla mají odlišný průběh a jejich maximální hodnoty se na prostém nosníku nikdy neseťkají ve stejném místě, provádíme toto posouzení, abychom se s celým posudkem hlavního nosníku pohybovali na straně bezpečné.

$\mu_3 > 0,5 \quad \Rightarrow \quad$ musíme provést posouzení

$$\mu_1 + \left[1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \right] [2\mu_3 - 1]^2 \leq 1,0$$

$$\mu_1 = 0,840$$

$$\mu_3 = 0,634$$

$$M_{f,Rd} = 5\,716,145 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{w_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,025\,588 * 355 * 10^6}{1,1} = 8\,258\,131 \text{ N.m}$$
$$= \mathbf{8\,258,131 \text{ kN.m}}$$

$$w_{pl} = 2A_1z_1 + 2A_2z_2 = 2 * 0,012 * 0,738 + 2 * 0,01085 * 0,363$$
$$= \mathbf{0,025\,588 \text{ m}^3}$$

$$0,840 + \left[1 - \frac{5\,716,145}{8\,258,131} \right] [0,634 - 1]^2 = 0,878 \leq 1,0$$

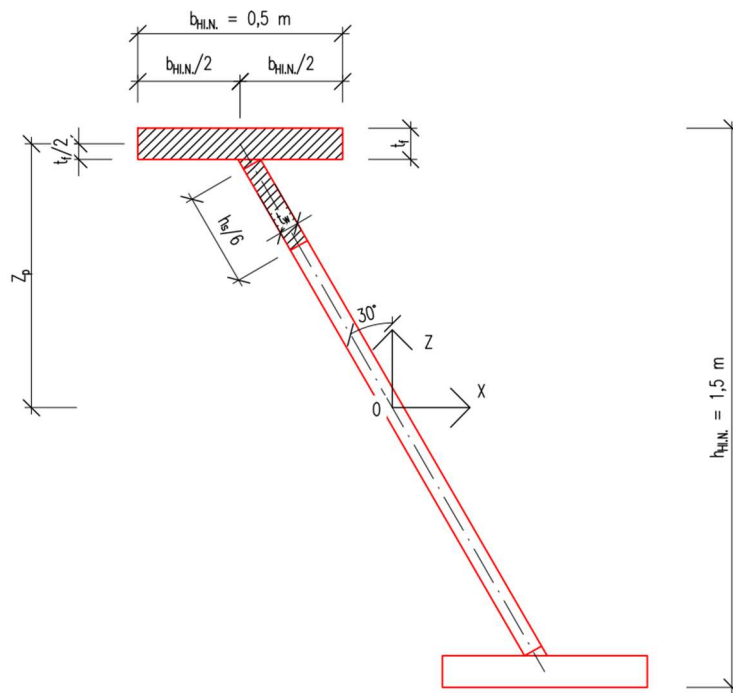
VYHOVUJE

8.8.7 Posouzení ukloněného průřezu na klopení

U nosníku nenastane ztráta stability vlivem klopení, pokud splňuje podmínku:

$$40 * i_{1,red} \geq L_{HLN}.$$

Pro výpočet $i_{1,red}$ musíme stanovit průřezové charakteristiky tlačené části nosníku sestávajícího se z pásnice a šestině stojiny.



Obrázek 38 - Profil ukloněného hlavního nosníku - tlačená část nosníku

$$i_{1,red} = \sqrt{\frac{I_{1,red}}{A_{red}}}$$

Pásnice:

$$I_{xG;p} = 5,76 * 10^{-7} m^4$$

$$I_{zG;p} = 0,000 25 m^4$$

$$D_{xzG;p} = 0 m^4$$

$$A_p = 0,012 m^2$$

Pro další výpočty stanovíme vzdálenosti těžiště pásnice od globálního těžiště.

$$Z_{xp} = 0,738 m$$

$$Z_{zp} = 0,433 m$$

Stojina:

$$h_{s,red} = \left(\frac{h_{HL.N.} - 2 * t_f}{\cos \alpha_{HL.N.}} - t_w * \tan \alpha_{HL.N.} \right) / 6$$

$$= \left(\frac{1,5 - 2 * 0,024}{\cos 30^\circ} - 0,013 * \tan 30^\circ \right) / 6 = 0,278 \text{ m}$$

$$I_{xL;s,red} = \frac{1}{12} * t_w * h_{s,red}^3 = \frac{1}{12} * 0,013 * 0,278^3 = 2,332 * 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_{zL;s,red} = \frac{1}{12} * t_w^3 * h_{s,red} = \frac{1}{12} * 0,013^3 * 0,278 = 5,093 * 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$D_{xzL;s,red} = 0 \text{ m}^4$$

$$I_{xG;s,red} = I_{xL;s,red} * (\cos \alpha_{HL.N.})^2 + I_{zL;s,red} * (\sin \alpha_{HL.N.})^2 + D_{xzL;s,red} * \sin(2 * \alpha_{HL.N.})$$

$$= 2,332 * 10^{-5} * (\cos 30^\circ)^2 + 5,093 * 10^{-8} * (\sin 30^\circ)^2 + 0 * \sin(2 * 30^\circ) = 1,750 * 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_{zG;s,red} = I_{xL;s,red} * (\sin \alpha_{HL.N.})^2 + I_{zL;s,red} * (\cos \alpha_{HL.N.})^2 - D_{xzL;s,red} * \sin(2 * \alpha_{HL.N.})$$

$$= 2,332 * 10^{-5} * (\sin 30^\circ)^2 + 5,093 * 10^{-8} * (\cos 30^\circ)^2 - 0 * \sin(2 * 30^\circ) = 5,869 * 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$D_{xzG;s,red} = (I_{zL;s,red} - I_{xL;s,red}) * \frac{1}{2} * \sin(2 * \alpha_{HL.N.}) + D_{xzL;s,red} * \cos(2 * \alpha_{HL.N.})$$

$$= (5,093 * 10^{-8} - 2,332 * 10^{-5}) * \frac{1}{2} * \sin(2 * 30^\circ) + 0 * \cos(2 * 30^\circ) = -5,038 * 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$A_s = h_{s,red} * t_w = 0,278 * 0,013 = 0,003 616 \text{ m}^2$$

Pro další výpočty stanovíme vzdálenosti těžiště pásnice od globálního těžiště.

$$Z_{xs,red} = \frac{h_s - h_{s,red}}{2} * \cos \alpha_{HL.N.} = \frac{1,669 - 0,278}{2} * \cos 30^\circ = 0,602 \text{ m}$$

$$Z_{zs,red} = Z_{xs,red} * \tan \alpha_{HL.N.} = 0,602 * \tan 30^\circ = 0,348 \text{ m}$$

Trojúhelník v napojení stojiny na pásnici:

$$I_{xG;\Delta} = -6,489 * 10^{-10} \text{ m}^4$$

$$I_{zG;\Delta} = 1,259 * 10^{-9} m^4$$

$$D_{xzG;\Delta} = -7,272 * 10^{-10} m^4$$

$$A_{\Delta} = 9,757 * 10^{-5} m^2$$

Pro další výpočty stanovíme vzdálenosti těžiště profilu od globálního těžiště.

$$Z_{x\Delta} = 0,723 m$$

$$Z_{z\Delta} = 0,420 m$$

Momenty setrvačnosti a deviační momenty redukováného průřezu:

$$\begin{aligned} I_{X,red} &= \sum (I_{x;i} + A_i * Z_{x,i}^2) = \\ &= I_{xG;p} + A_p * Z_{x,p}^2 + I_{xG;s,red} + A_{s,red} * Z_{x,s,red}^2 + I_{xG;\Delta} + A_{\Delta} * Z_{x,\Delta}^2 \\ &= 5,76 * 10^{-7} + 0,012 * 0,738^2 + 1,750 * 10^{-5} + 0,00362 \\ &\quad * 0,603^2 - 6,489 * 10^{-10} + 9,757 * 10^{-5} * 0,724^2 = 0,007 917 m^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{Z,red} &= \sum (I_{z;i} + A_i * Z_{z,i}^2) = \\ &= I_{zG;p} + A_p * Z_{z,p}^2 + I_{zG;s,red} + A_{s,red} * Z_{z,s,red}^2 + I_{zG;\Delta} + A_{\Delta} * Z_{z,\Delta}^2 \\ &= 0,00025 + 0,012 * 0,433^2 + 5,869 * 10^{-6} + 0,003 61 * 0,348^2 \\ &\quad + 1,2596 * 10^{-9} + 9,757 * 10^{-5} * 0,420^2 = 0,002 960 m^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_{XZ,red} &= \sum (D_{xz;i} + A_i * Z_{x,i} * Z_{z,i}) = \\ &= D_{xzG;p} + A_p * Z_{x,p} * Z_{z,p} + D_{xzG;s,red} + A_s * Z_{x,s,red} * Z_{z,s,red} + D_{xzG;\Delta} + A_{\Delta} \\ &\quad * Z_{x,\Delta} * Z_{z,\Delta} \\ &= 0 + 0,012 * 0,738 * 0,433 - 5,038 * 10^{-6} + 0,00361 * 0,602 \\ &\quad * 0,348 + -7,272 * 10^{-10} + 9,757 * 10^{-5} * 0,724 * 0,420 \\ &= 0,004 467 m^4 \end{aligned}$$

$$A_{red} = A_p + A_{s,red} + A_{\Delta} = 0,012 + 0,00361 + 9,757 * 10^{-5} = 0,015 714 m^2$$

Velikost momentu setrvačnosti a poloměru setrvačnosti redukovaného průřezu ve směru osy „1“:

$$\begin{aligned} I_{1,red} &= I_{x,red} * (\cos \alpha)^2 + I_{z,red} * (\sin \alpha)^2 + D_{xz,red} * \sin(2 * \alpha) \\ &= 0,007917 * (\cos 23,07456^\circ)^2 + 0,002960 * (\sin 23,07456^\circ)^2 \\ &\quad + 0,004467 * \sin(2 * 23,07456^\circ) = 0,010485 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

$$i_{1,red} = \sqrt{\frac{I_{1,red}}{A_{red}}} = \sqrt{\frac{0,010485}{0,015714}} = 0,816842 \text{ m}$$

Podmínka klopení:

$$L_{HL.N.} \leq 40 * i_{1,red} = 40 * 0,816 = 32,673 \text{ m}$$

Vzhledem k zvolené délce hlavního nosníku 12 m je konstrukční podmínka **SPLNĚNA**. Průřez bezpečně vyhoví na klopení.

8.9 Posouzení ukloněných hlavních nosníků na mezní stav použitelnosti

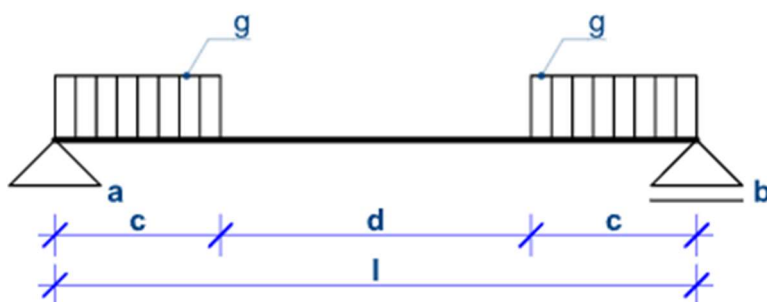
Hlavní nosník musíme posuzujeme na průhyb a únavu.

8.9.1 Posouzení ukloněných hlavních nosníků na průhyb

Výsledný průhyb dostaneme sečtením jednotlivých průhybů od jednotlivých zatížení působících na hlavní nosník.

Zároveň nám nesmí výsledný průhyb překročit limitní hodnotu $l/400$. Tuto hodnotu nesmí překročit průhyb od hlavního nosníku, ale ani celkový průhyb získaný sečtením průhybu hlavního nosníku a průhybu příčnicku.

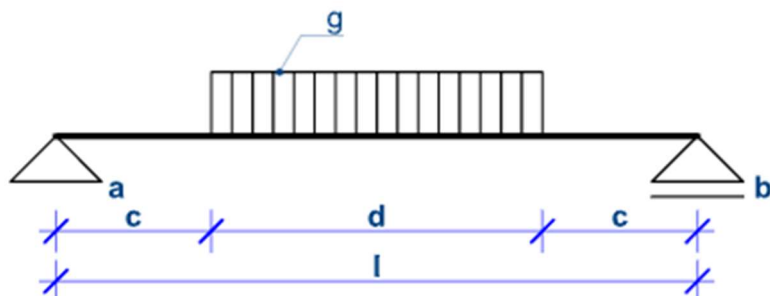
Průhyb od zatížení $Q_{80, ch}$



Obrázek 39 - Schéma zatížení hlavního nosníku s zatížením $Q_{80, ch}$ (8)

$$w_{s,1} = \frac{g_1 * c^2}{48 * E * I_y} * (3 * l^2 - 2 * c^2)$$

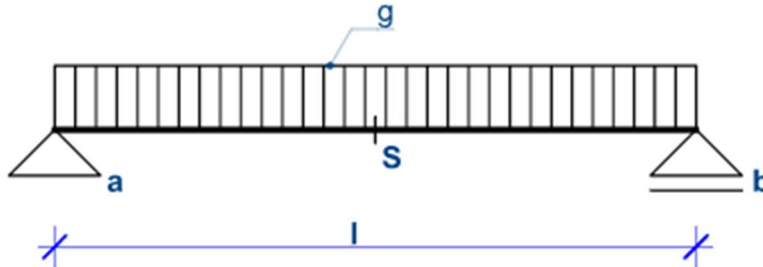
Průhyb od zatížení $Q_{250, ch}$



Obrázek 40 - Schéma zatížení hlavního nosníku s zatížením $Q_{250, ch}$ (7)

$$w_{s,1} = \frac{g_2 * l^4}{384 * E * I_y} * \left[8 * \frac{d}{l} - 4 * \left(\frac{d}{l} \right)^3 + \left(\frac{d}{l} \right)^4 \right]$$

Průhyb od Vlastní tíhy hlavního nosníku



Obrázek 41 - Schéma zatížení hlavního nosníku Vlastní tíhou (9)

$$w_{s,1} = \frac{5 * g_3 * l^4}{384 * E * I_y}$$

Výsledný průhyb hlavního nosníku uprostřed rozpětí

$$w_{s,Hl.N.} = w_{s,1} + w_{s,2} + w_{s,3} =$$

$$= \frac{g_1 * c^2}{48 * E * I_y} * (3 * l^2 - 2 * c^2) + \frac{g_2 * l^4}{384 * E * I_y} * \left[8 * \frac{d}{l} - 4 * \left(\frac{d}{l} \right)^3 + \left(\frac{d}{l} \right)^4 \right] + \frac{5 * g_3 * l^4}{384 * E * I_y}$$

$$g_1 = Q_{80,ch} = 113,117 \text{ kN/m}$$

$$g_2 = Q_{250,ch} = 176,790 \text{ kN/m}$$

$$g_3 = m * g = (359,53 + 25,0) * 9,80665 = 3,770 \text{ kN/m}$$

$$c = 2,8 \text{ m}$$

$$d = 6,4 \text{ m}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

$$I_x = 0,016 \text{ 953 m}^4$$

$$w_{s,Hl.N.} = \frac{113,117 * 2,8^2}{48 * 210 * 10^9 * 0,016 953} * (3 * 12^2 - 2 * 2,8^2) + \frac{176,790 * 12^4}{384 * 210 * 10^9 * 0,016 953} * \left[8 * \frac{6,4}{12} - 4 * \left(\frac{6,4}{12} \right)^3 + \left(\frac{6,4}{12} \right)^4 \right] + \frac{5 * 3,770 * 12^4}{384 * 210 * 10^9 * 0,016 953}$$

$$w_{s,Hl.N.} = 17,89 \text{ mm}$$

$$w_{s,lim} = \frac{1}{400} = \frac{12}{400} = 0,03 \text{ m} = 30 \text{ mm}$$

$$w_{s,Hl.N.} \leq w_{s,lim}$$

VYHOVÍ

$$w_{s,Hl.N.} + w_{s,př} \leq w_{s,lim}$$

VYHOVÍ

8.9.2 Posouzení ukloněných hlavních nosníků na únavu

Hlavní nosníky byly posouzeny na únavu v místech maximálních napětí. Posouzení na únavu bylo zpracováno dle ČSN 73 1401 a ŠČSN EN 1993-2.

1. Podmínka – největší rozkmit napětí v návrhovém spektru

$$\gamma_{Ff} \Delta\sigma \leq \frac{26\varphi_r\varphi_t}{\gamma_{Mf}}$$

$$\varphi_r = 1,0$$

$$\varphi_t = 1,0$$

$$\gamma_{Mf} = 1,15$$

$$\gamma_{Ff} \Delta\sigma \leq 22,609 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma = \sigma_{max} - \sigma_{min}$$

$$\sigma_{max} = 143,750 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{min} = 45,441 \text{ MPa}$$

Velikosti napětí stanoveny v programu Microsoft Excel.

$$\Delta\sigma = 143,750 - 45,441 = 98,309 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{Ff} = 1,0$$

$$98,309 \leq 22,609$$

NEVYHOVÍ

2. Podmínka – celkový počet cyklů v návrhovém spektru

$$N \leq 2e^6 \left(\frac{36\varphi_r\varphi_t}{\Delta\sigma_{E,2}\gamma_{Mf}\gamma_{Ff}} \right)^3$$

$$\Delta\sigma_{E,2} = \lambda\Phi_3\Delta\sigma$$

$$\Phi_3 = \frac{2,16}{\sqrt{L_\phi} - 0,2} + 0,73 = \frac{2,16}{\sqrt{12} - 0,2} + 0,73 = 1,391\,744$$

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

$$\lambda_1 = \mathbf{0,826} \rightarrow \text{pro } L = 12 \text{ m}$$

$$\lambda_2 = \mathbf{0,96} \rightarrow \text{pro dopravu za rok } 10e^6 \text{ t/rok}$$

$$\lambda_3 = \mathbf{1,00} \rightarrow \text{pro návrhovou životnost } 100 \text{ let}$$

$$\lambda_4 = \mathbf{1,00}$$

$$\lambda = 0,826 * 0,96 * 1,00 * 1,00 = \mathbf{0,793}$$

$$0,793 \leq 1,4 \rightarrow \text{vyhoví}$$

$$\Delta\sigma_{E,2} = \lambda\Phi_3\Delta\sigma = 0,793 * 1,392 * 98,309 = 108,493 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} N &\leq 2 * 10^6 \left(\frac{36\varphi_r\varphi_t}{\Delta\sigma_{E,2}\gamma_{Mf}\gamma_{Ff}} \right)^3 = 2 * 10^6 \left(\frac{36 * 1 * 1}{108,493 * 1,15 * 1} \right)^3 \\ &= 48\,043,39 \text{ cyklů/100let} \end{aligned}$$

Zatížení provozem

Těžké zatížení $\rightarrow P_3$

Třída trati → 0,6

$$L_d = L = 12 \text{ m}$$

Počet cyklů napětí → $N_{rok} = 4\,660/rok$

$N = 100N_{rok} = 466\,000$ → počet cyklů za 100 let

$N \leq 48\,043,39 \text{ cyklů}/100let$

$$466\,000 \leq 48\,043,39$$

NEVYHOVÍ

3. Podmínka – finální posudek na únavu

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

$$\Delta \sigma_c = 140 \text{ MPa}$$

$$1 * 108,493 = 108,493 \text{ MPa} \leq \frac{140}{1,15} = 121,739 \text{ MPa}$$

VYHOVÍ

9 NUMERICKÝ VÝPOČET

Pro porovnání a ověření výsledků ze statického posouzení hlavních nosníků byly vytvořeny výpočtové modely mostu v programu SCIA Engineer. Bylo celkem vytvořeno šedesát modelů mostu s různou kombinací vzdálenosti příčníků, uklonění hlavních nosníků, vzdálenosti hlavních nosníků a pevnosti oceli, ze které jsou hlavní nosníky navrhnuty.

9.1 Vytvoření modelu

Protože má navržený most rozpětí 12 m, byla vzdálenost příčníků volená tak, aby výsledný počet příčníků vyšel jako celé číslo. Příčnky byly voleny ve vzdálenosti 1,5 m (9 příčníků) nebo ve vzdálenosti 2,0 m (7 příčníků).

Uklonění hlavních nosníků bylo vybíráno ze čtyřech různých možností (nosníky kolmé, uklonění 15° od svislé osy, uklonění 30° od svislé osy a uklonění 45° od svislé osy).

Vzdálenost hlavních nosníků byla volena ve čtyřech provedeních odpovídající minimální vzdálenosti hlavních nosníků odpovídající různému uklonění. Vzdálenost hlavních nosníků byla volena tak, aby byl zachován volný mostní průřez i s bezpečnostním odstupem 125 mm a zároveň nebylo konstrukcí mostu zasahováno do obrysu průjezdu čističky kolejového lože.

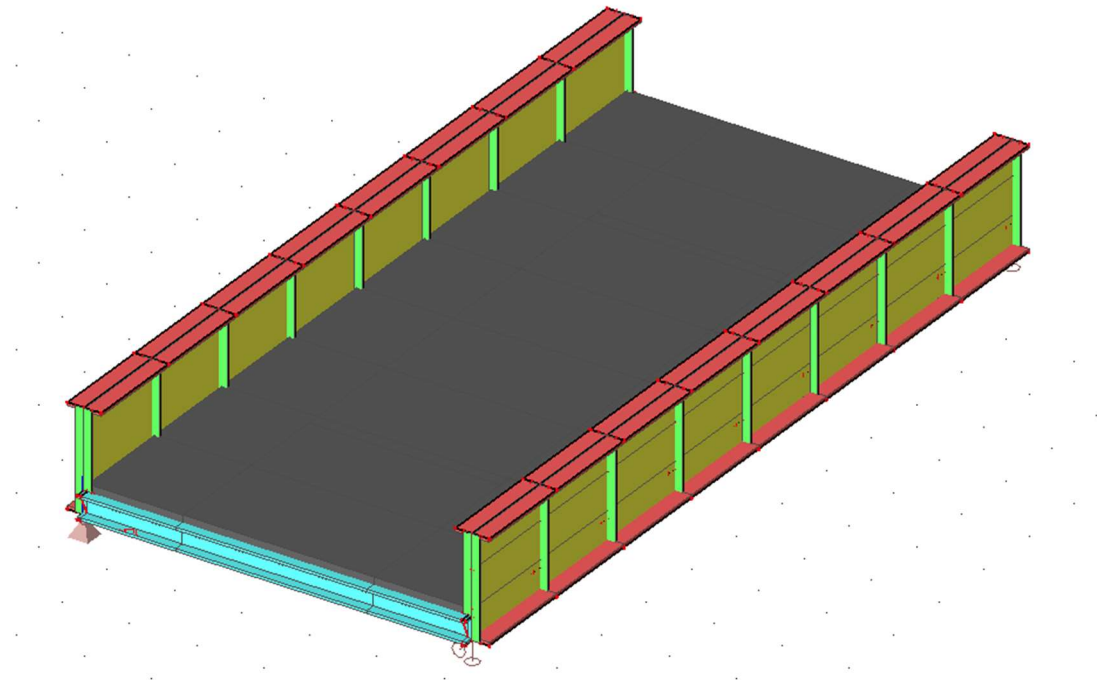
Uklonění se s různou vzdáleností různě kombinovalo, avšak nesměla být volena menší uklonění, nežli kterým odpovídala vzdálenost hlavních nosníků (př. uklonění 15° a vzdálenost odpovídající modelu s ukloněním 30°), protože docházelo k průniku konstrukce a volného mostního průřezu.

Pevnost oceli, ze které byl hlavní nosník navrhnut byla voleny ze tří možností (S235, S275 a S 355).

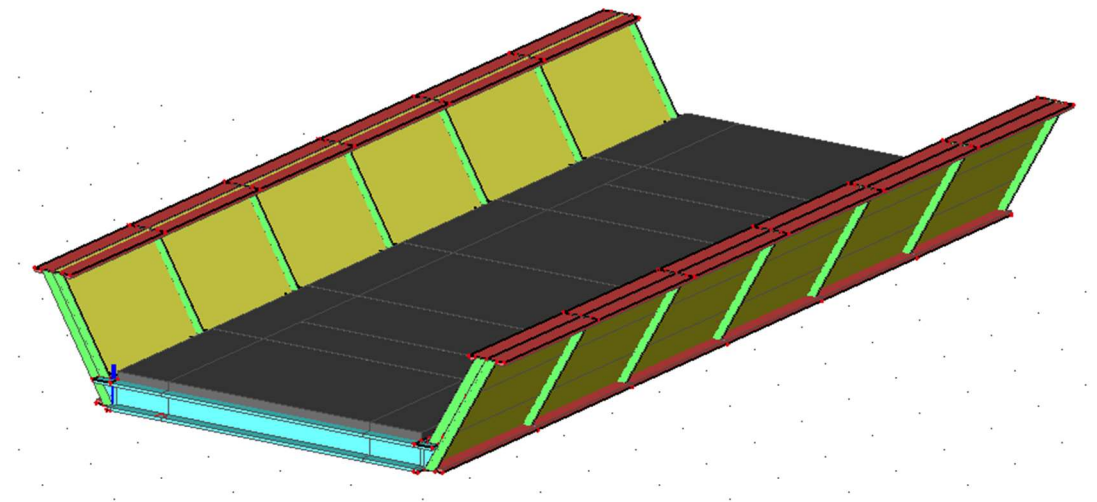
Vzhledem ke složitosti hlavních nosníků byly hlavní nosníky modelovány v programu SCIA Engineer jako desko-stěnový model. Příčné výztuhy hlavních nosníků byly voleny stejné tloušťky jako stojina příčnicku. K hlavním nosníkům byly pomocí tuhých ramen připojeny příčnky z oceli S235, které byly modelovány jako pruty s průřezem odpovídajícím profilu HE300M. Na příčnky byla připojena deska mostovky z betonu pevnosti C30/37.

Výpočtová síť musela být zhuštěna v místech připojení příčníků na hlavní nosníky, protože vzhledem k velkému počtu desko-stěn v těchto místech tu docházelo k lokálním maximům napětí, z důvodu jejich koncentrace v jednotlivých uzlech.

Modely jsou uloženy na čtyřech ložiscích, přičemž jsou všechny ložiska kloubová. Jedno ložisko je pevné, dvě umožňují jednoosý pohyb a jedno je všesměrně pohyblivé.



Obrázek 42 - Výpočtový model v programu SCIA Engineer s kolnými hlavními nosníky

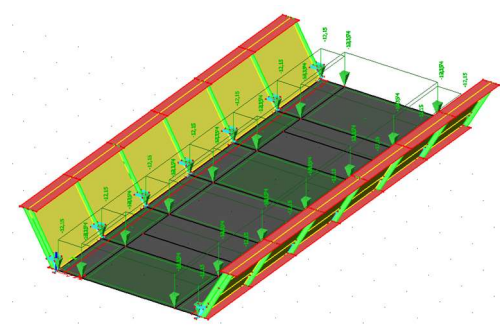


Obrázek 43 - Výpočtový model v programu SCIA Engineer s ukloněnými hlavními nosníky

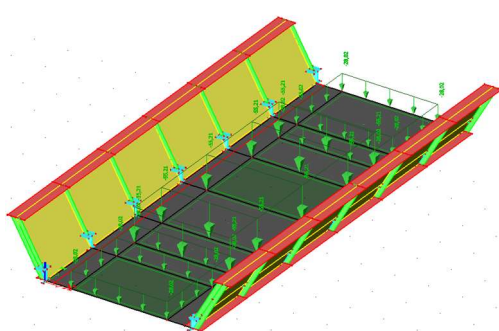
9.2 Zatížení modelu v programu SCIA Engineer

Na modely bylo umístěno zatížením od vlastní tíhy vygenerované přímo programem (ZS1), zatížení od šterkového lože a kolejového roštu (ostatní stálé), zatížení od dopravy (Zatížení od dopravy), zatížení od účinků brždění a rozjezdů (rozjezd a brzda), zatížení vyvolané bočním rázem (boční rázy) a zatížení od větru (vítr).

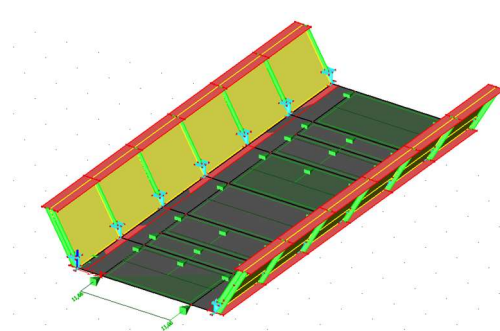
Velikost zatížení, které se do programu zadávala (všechna až na vlastní tíhu), jsou patrná z PŘEDCHOZÍ KAPITOLY (Zatížení hlavní nosník).



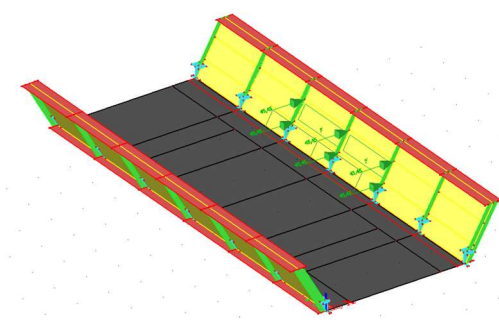
Obrázek 44 - Umístění zatížení - Ostatní stálé



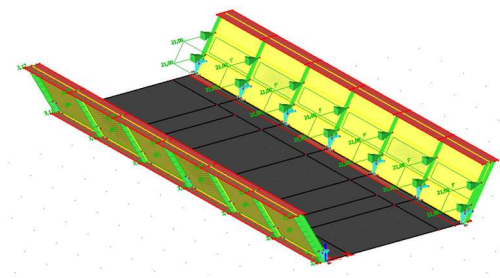
Obrázek 45 - Umístění zatížení - Zatížení od dopravy



Obrázek 46 - Umístění zatížení - Rozjezd a brzda



Obrázek 47 - Umístění zatížení - Boční rázy



Obrázek 48 - Umístění zatížení - Vítr

9.3 Kombinace zatížení modelu

Z výše uvedených zatížení byly v programu vytvořeny kombinace zatížení viz tabulka 22.

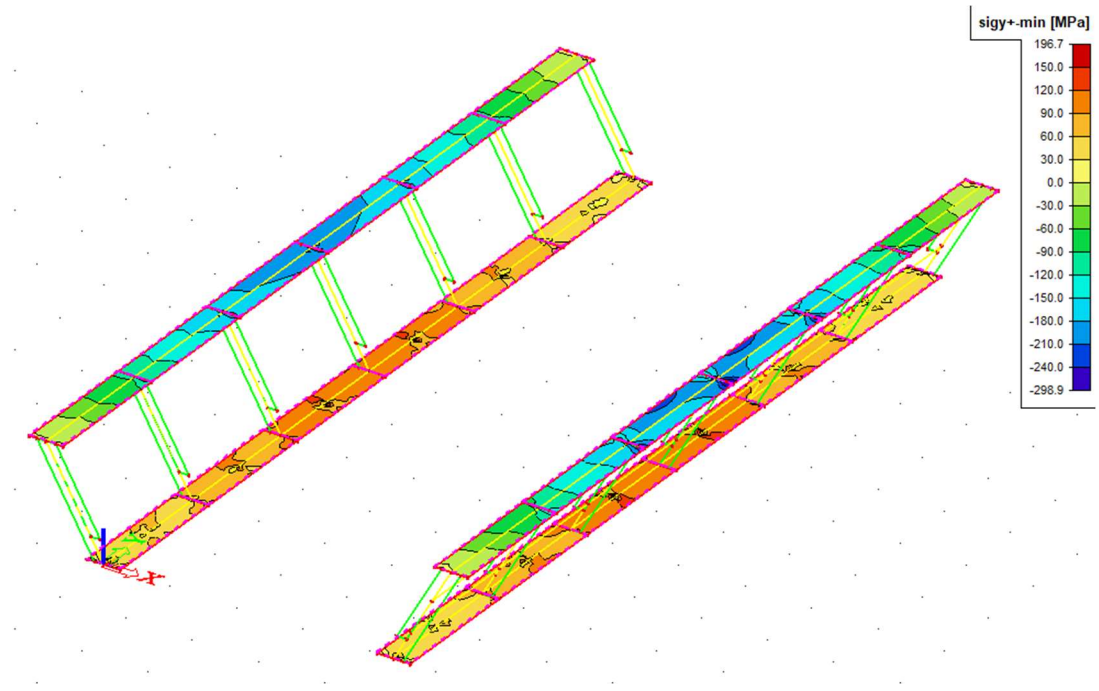
Tabulka 22 - Kombinace zatížení v programu SCIA Engineer

Jméno	Popis	Typ	Zatěžovací stavy	Souč. [-]
6.10a deska		Obálka - únosnost	ZS1	1,35
			Ostatní stálé	1,35
			Zatížení od doparvy	2,55
			vítr	1,20
			boční rázy	1,20
6.10b deska		Obálka - únosnost	ZS1	1,15
			Ostatní stálé	1,15
			Zatížení od doparvy	3,19
			vítr	1,20
			boční rázy	1,20
charakteristická deska		Obálka - únosnost	ZS1	1,00
			Ostatní stálé	1,00
			Zatížení od doparvy	2,20
			vítr	0,80
			boční rázy	0,80
častá deska		Obálka - únosnost	ZS1	1,00
			Ostatní stálé	1,00
			Zatížení od doparvy	1,76
			vítr	0,00
			boční rázy	0,00
kvatzistálá deska		Obálka - únosnost	ZS1	1,00
			Ostatní stálé	1,00
			Zatížení od doparvy	0,00
			vítr	0,00
			boční rázy	0,00
6.10a příčnky		Obálka - únosnost	ZS1	1,35
			Ostatní stálé	1,35
			Zatížení od doparvy	1,80
			vítr	1,20
			boční rázy	1,20
6.10b příčnky		Obálka - únosnost	ZS1	1,15
			Ostatní stálé	1,15
			Zatížení od doparvy	2,24
			vítr	1,20
			boční rázy	1,20
charakteristická příčnky		Obálka - únosnost	ZS1	1,00
			Ostatní stálé	1,00
			Zatížení od doparvy	1,55
			vítr	0,80
			boční rázy	0,80
			rozjezd a brzda	0,80

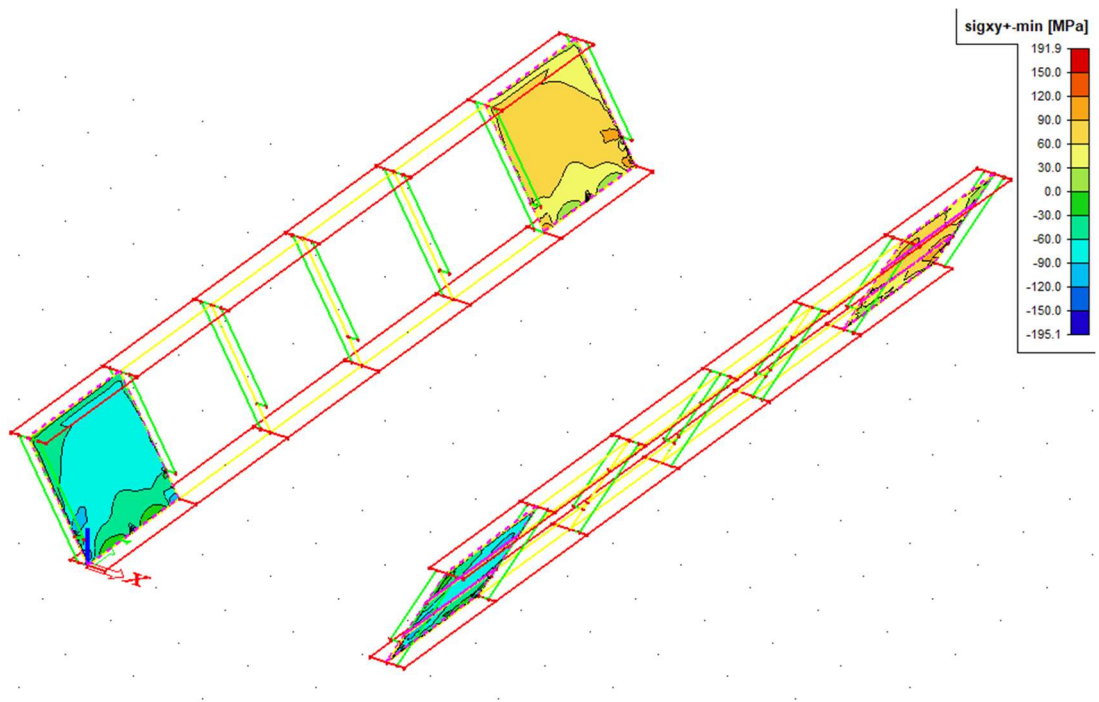
Jméno	Popis	Typ	Zatěžovací stavy	Souč. [-]
častá příčníky		Obálka - únosnost	ZS1	1,00
			Ostatní stálé	1,00
			Zatížení od doparvy	1,24
			vítr	0,00
			boční rázy	0,00
		rozjezd a brzda	0,00	
kvatzistálá příčníky		Obálka - únosnost	ZS1	1,00
			Ostatní stálé	1,00
			Zatížení od doparvy	0,00
			vítr	0,00
			boční rázy	0,00
		rozjezd a brzda	0,00	
6.10a Hl.Nosník		Obálka - únosnost	ZS1	1,35
			Ostatní stálé	1,35
			Zatížení od doparvy	1,78
			vítr	1,20
			boční rázy	1,20
		rozjezd a brzda	1,20	
6.10b Hl.Nosník		Obálka - únosnost	ZS1	1,15
			Ostatní stálé	1,15
			Zatížení od doparvy	2,22
			vítr	1,20
			boční rázy	1,20
		rozjezd a brzda	1,20	
charakteristická Hl.Nosník		Obálka - únosnost	ZS1	1,00
			Ostatní stálé	1,00
			Zatížení od doparvy	1,53
			vítr	0,80
			boční rázy	0,80
		rozjezd a brzda	0,80	
častá Hl.Nosník		Obálka - únosnost	ZS1	1,00
			Ostatní stálé	1,00
			Zatížení od doparvy	1,22
			vítr	0,00
			boční rázy	0,00
		rozjezd a brzda	0,00	
kvatzistálá Hl.Nosník		Obálka - únosnost	ZS1	1,00
			Ostatní stálé	1,00
			Zatížení od doparvy	0,00
			vítr	0,00
			boční rázy	0,00
		rozjezd a brzda	0,00	

9.4 Výsledky

Po ukončení výpočtu v programu SCIA Engineer byly z programu získány velikosti maximálních napětí na hlavním nosníku, a to jak normálových, tak smykových (viz. Obrázky 49 a 50).

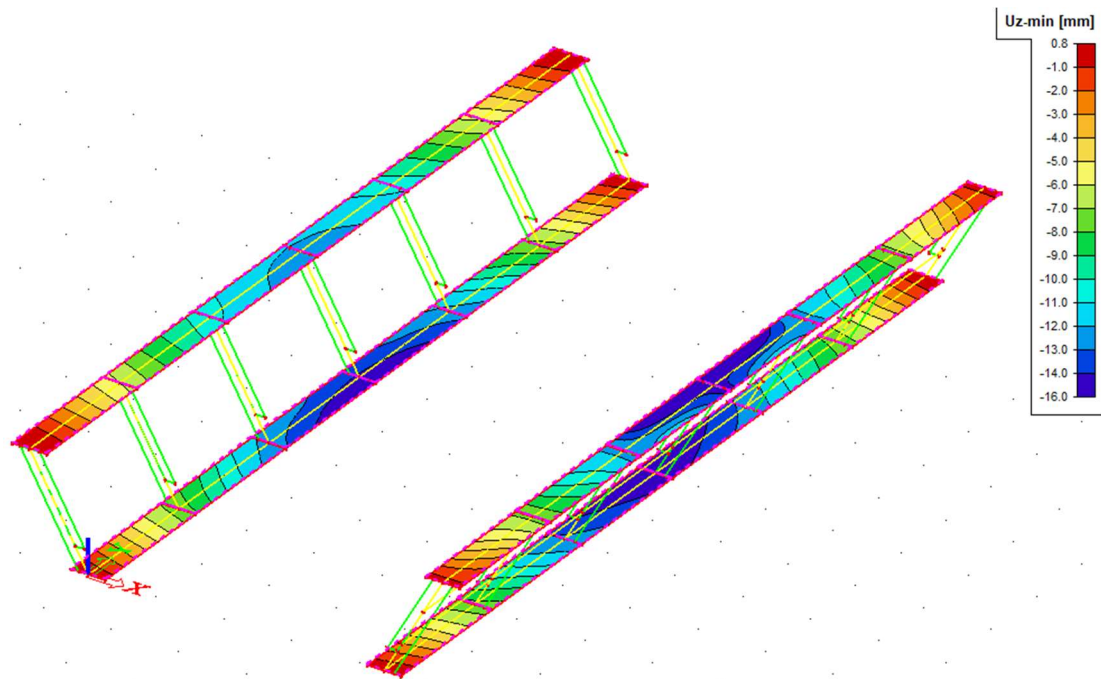


Obrázek 49 - Maximální velikosti normálových napětí v pásnici hlavního nosníku



Obrázek 50 - Velikost maximálních smykových napětí v hlavním nosníku

Zároveň byly odečteny hodnoty maximálních průhybů hlavních nosníků (viz. Obrázek 51).



Obrázek 51 - Velikost maximálního průhybu hlavního nosníku

Všechny výsledky byly pro všechny výpočtové modely sepsány do jedné tabulky (viz. Tabulka 23).

Tabulka 23 - Velikosti napětí a průhybu získané z programu SCIA Engineer

schéma	úklon	Vzdálenost příčníků	S235			S275			S355		
			σ_x	τ_{xy}	W_s	σ_x	τ_{xy}	W_s	σ_x	τ_{xy}	W_s
			Mpa	Mpa	mm	Mpa	Mpa	mm	Mpa	Mpa	mm
0	0	1,5	198,8	61,3	11,6	232,6	69,4	12,9	301,4	80,4	15,6
0	15	1,5	198,3	62	12,2	227,5	66,5	13,3	302,2	83,8	16,2
0	30	1,5	200,1	66,1	13,6	237,2	76,4	15,2	302,6	91,3	17,9
0	45	1,5	200,7	75,6	16,4	235,3	89,2	18,3	303,2	100	21
15	15	1,5	202,7	64,2	12,1	234,3	69,3	13,3	304	88,8	16,1
15	30	1,5	201,2	64,5	13,2	236,8	80,4	15	304,7	97,6	17,8
15	45	1,5	203,3	74,1	15,9	233,5	80,7	17,3	302,8	89,9	19,8
30	30	1,5	201,2	62,6	12,7	232,9	72,2	14,1	301	86,3	16,7
30	45	1,5	200,2	67,5	14,9	237	78,8	16,7	304,9	95,5	19,6
45	45	1,5	202,6	74,6	14,8	234,8	82	16,2	303,9	101,5	19,3
0	0	2	200,6	57,2	11,2	233,4	64,8	12,4	304,7	74,8	14,9
0	15	2	201,5	59,8	11,8	237,3	63,9	13	302,4	73,9	15,2
0	30	2	202,2	59,8	12,8	232,7	63,9	13,9	307,2	86,7	16,9
0	45	2	201,9	67,5	15,2	236	72,9	16,5	301,4	94,3	19,5
15	15	2	204,3	54,7	11,4	237,9	66,6	12,7	308,1	78,5	15,1
15	30	2	203,7	58,5	12,4	233,5	66,7	13,6	301,8	84,8	16,2
15	45	2	199,5	62,1	14,3	231,5	71,3	15,8	299,2	84,7	18,4
30	30	2	204,1	56,5	11,9	235,3	65	13,1	307,1	82,6	15,8
30	45	2	198,6	64,5	13,9	233,8	69,7	15,2	305,2	82,8	17,8
45	45	2	202	66,9	13,5	231,6	72,6	14,6	307,1	87,7	17,4

Výše uvedená napětí a průhyby odpovídají různým návrhovým kombinacím s různými velikostmi tloušťek pásnic a stěn. Všechny modely mají stejné šířky hlavních nosníků a stejné výšky hlavních nosníků. Jediné, co se měnilo ve výpočtovém modelu byly tloušťky pásnice a stojiny, jejich velikosti jsou patrné z tabulky 24.

Tabulka 24 - Velikosti tloušťek pásnic a stojin různých modelů v programu SCIA Engineer

Schéma	Úklon (°)	Vzdálenost příčníků (m)	S235		S275		S355	
			t _f (mm)	t _w (mm)	t _f (mm)	t _w (mm)	t _f (mm)	t _w (mm)
0	0	1,5	30	16	26	14	20	12
0	15	1,5	30	15	26	14	20	11
0	30	1,5	28	14	24	12	19	10
0	45	1,5	25	12	22	10	17	9
15	15	1,5	29	14	25	13	20	10
15	30	1,5	27	14	24	11	19	9
15	45	1,5	24	12	21	11	16	10
30	30	1,5	26	14	23	12	18	10
30	45	1,5	23	13	20	11	16	9
45	45	1,5	23	11	20	10	16	8
0	0	2,0	32	16	28	14	21	12
0	15	2,0	32	15	27	14	21	12
0	30	2,0	30	15	26	14	21	10
0	45	2,0	28	13	24	12	20	9
15	15	2,0	30	16	27	13	21	11
15	30	2,0	29	15	26	13	21	10
15	45	2,0	27	14	24	12	19	10
30	30	2,0	28	15	25	13	20	10
30	45	2,0	27	13	23	12	18	10
45	45	2,0	26	12	23	11	18	9

Pro každý model mostu byla provedena kontrola stability tlačného pásu. V prvních 200 kombinacích ztrát stability nebylo dosaženo ztráty stability tlačného pásu a bylo dosaženo kombinačního součinitele 6. Z výše uvedených důvodů se nepředpokládá ztráta stability tlačného pásu.

10 POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ

Po provedení výpočtů a posouzení všech modelů hlavních nosníků získáme druhou tabulku tloušťek pásnic a stojin. Pro všechny modely je ruční výpočet přísnější (získáváme větší tloušťky ocelových plechů pásnic a stojin), až na modely s kolmými hlavními nosíky a vzdáleností příčníků 2,0 m. Z obou tabulek sestavíme výslednou tabulku, která bude obsahovat maximální tloušťky z tabulek předchozích.

Tabulka 25 - Velikosti tloušťek pásnic a stojin různých modelů vypočtené ručním výpočtem

Schéma	Úklon	Vzdálenost příčníků	S235		S275		S355	
			t_f	t_w	t_f	t_w	t_f	t_w
-	(°)	(m)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
0	0	1,5	30	16	27	14	27	14
0	15	1,5	40	21	34	17	32	17
0	30	1,5	36	19	32	16	26	13
0	45	1,5	37	19	32	17	26	14
15	15	1,5	38	20	32	17	32	17
15	30	1,5	35	18	30	16	25	13
15	45	1,5	36	18	31	16	26	14
30	30	1,5	34	17	29	15	24	13
30	45	1,5	34	18	30	16	25	13
45	45	1,5	33	17	29	15	24	13
0	0	2,0	30	16	27	14	27	14
0	15	2,0	40	21	34	17	32	17
0	30	2,0	36	19	32	16	26	13
0	45	2,0	37	19	32	17	26	14
15	15	2,0	38	20	32	17	32	17
15	30	2,0	35	18	30	16	24	13
15	45	2,0	36	18	31	16	26	14
30	30	2,0	34	17	29	15	24	13
30	45	2,0	34	18	30	16	25	13
45	45	2,0	33	17	28	15	24	13

Tabulka 26 – Výsledná velikosti tloušťek pásnic a stojin různých modelů

Schéma	Úklon	Vzdálenost příčníků	S235		S275		S355	
			t_f	t_w	t_f	t_w	t_f	t_w
			(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
0	0	1,5	30	16	27	14	27	14
0	15	1,5	40	21	34	17	32	17
0	30	1,5	36	19	32	16	26	13
0	45	1,5	37	19	32	17	26	14
15	15	1,5	38	20	32	17	32	17
15	30	1,5	35	18	30	16	25	13
15	45	1,5	36	18	31	16	26	14
30	30	1,5	34	17	29	15	24	13
30	45	1,5	34	18	30	16	25	13
45	45	1,5	33	17	29	15	24	13
0	0	2,0	32	16	28	14	27	14
0	15	2,0	40	21	34	17	32	17
0	30	2,0	36	19	32	16	26	13
0	45	2,0	37	19	32	17	26	14
15	15	2,0	38	20	32	17	32	17
15	30	2,0	35	18	30	16	24	13
15	45	2,0	36	18	31	16	26	14
30	30	2,0	34	17	29	15	24	13
30	45	2,0	34	18	30	16	25	13
45	45	2,0	33	17	28	15	24	13

Všechny hlavní nosníky byly následně oceněny. Ceny materiálu byly získány z programu CROSS. V tabulce 28 je zvýrazněno deset nejlevnějších provedení hlavních nosníků (zelená výplň) a deset nejdražších hlavních nosníků (červená výplň).

Tabulka 27 - Ceny oceli

Pevnost oceli (Mpa)	235	275	355
Cena (Kč/t)	65 500	68 000	71 400

Tabulka 28 - Oceněné hlavní nosníky

Schéma	Úklon	Vzdálenost příčníků (m)	Pevnost		
			S235	S275	S355
-	(°)	(m)			
0	0	1,5	704 502,02	657 353,88	690 221,58
0	15	1,5	925 596,07	811 875,70	826 669,62
0	30	1,5	888 085,95	809 590,29	705 391,47
0	45	1,5	999 415,31	925 422,62	812 867,29
15	15	1,5	883 940,21	787 304,40	826 669,62
15	30	1,5	855 990,97	785 081,07	692 430,94
15	45	1,5	962 915,44	887 275,98	812 867,29
30	30	1,5	823 838,99	751 494,81	679 470,40
30	45	1,5	939 687,89	875 146,46	772 470,89
45	45	1,5	903 048,41	836 891,12	759 620,75
0	0	2,0	717 178,49	658 172,20	678 064,55
0	15	2,0	914 257,80	800 005,20	814 170,78
0	30	2,0	875 368,51	796 313,48	691 334,33
0	45	2,0	983 861,50	909 161,92	795 650,87
15	15	2,0	872 570,00	775 400,74	814 170,78
15	30	2,0	843 255,71	771 767,28	665 374,43
15	45	2,0	947 339,82	870 992,64	795 650,87
30	30	2,0	811 085,92	738 162,53	665 374,43
30	45	2,0	924 068,64	858 840,47	755 230,69
45	45	2,0	887 407,34	808 374,07	742 356,78

Následně byly pro všechny možnosti kombinací vzdáleností příčníků (1,5 a 2,0 m), výpočtových modelů a pevností ocelí navrženy a posouzeny příčníky. Výsledné příčníky byly následně oceněny.

Tabulka 29 - Výsledné parametry a ceny příčníků při vzdálenosti příčníků 1,5 m

Schéma	0		15		30		45	
Pevnost oceli (MPa)	235	355	235	355	235	355	235	355
Typ příčniku	HE260M	HE240M	HE240M	HE220M	HE240M	HE200M	HE220M	HE180M
Výška (mm)	290	270	270	240	270	220	240	200
Cena	583 016	580 107	472 938	384 191	404 450	289 241	255 884	211 942

Tabulka 30 - Výsledné parametry a ceny příčníků při vzdálenosti příčníků 2,0 m

Schéma	0		15		30		45	
Pevnost oceli (MPa)	235	355	235	355	235	355	235	355
Typ příčniku	HE300M	HE240M	HE280M	HE240M	HE240M	HE220M	HE240M	HE200M
Výška (mm)	340	270	310	270	270	240	270	220
Cena	627 457	451 194	442 815	400 975	314 572	255 543	267 062	190 989

Z předchozích kapitol je zřejmé, že velikost stavební výšky mostu je závislá na výšce příčnicku. Zároveň je zřejmé z tabulek výše, že čím zvolíme model s menší vzdáleností příčníků, tím můžeme využít menší příčníky.

Železobetonovou desku volíme ve dvou tloušťkách. Tloušťka desky 250 mm vyhovuje pro vzdálenosti příčníků 1,5 m a tloušťka desky 275 mm vyhovuje pro vzdálenosti příčníků 2,0 m. Cena m^3 železobetonu C30/37 je 10 300 Kč. Cena byla získána z výpočetního programu na zhotovení rozpočtů staveb a objem železobetonové desky byl získán z programu AutoCAD.

Tabulka 31 - Objem a cena ŽB desky při vzdálenosti příčníků 1,5 m pro různá schémata

Schéma	0	15	30	45
Objem betonu (m^3)	24,73	23,09	21,22	18,87
Cena (Kč)	254 714,88	237 839,36	218 590,72	194 332,16

Tabulka 32 - Objem a cena ŽB desky při vzdálenosti příčníků 2,0 m pro různá schémata

Schéma	0	15	30	45
Objem betonu (m^3)	26,3424	24,4992	22,4	19,84
Cena (Kč)	271 326,72	252 341,76	230 720,00	204 352,00

Následně byla vytvořena tabulka ceny materiálu na jednotlivé modely mostů. Vzhledem k významné podobnosti mostů se cena práce do posouzení nezahrnuje, protože bude velmi podobná.

Tabulka 33 - Cena materiálu mostů

Schéma	Úklon	Vzdálenost příčníků	Pevnost oceli		
			S235	S275	S355
-	(°)	(m)			
0	0	1,5	1 542 232,40	1 495 084,26	1 525 043,61
0	15	1,5	1 763 326,45	1 649 606,08	1 661 491,65
0	30	1,5	1 725 816,33	1 647 320,67	1 540 213,50
0	45	1,5	1 837 145,69	1 763 153,00	1 647 689,32
15	15	1,5	1 594 717,73	1 498 081,93	1 448 700,24
15	30	1,5	1 566 768,49	1 495 858,59	1 314 461,56
15	45	1,5	1 673 692,96	1 598 053,51	1 434 897,91
30	30	1,5	1 446 879,76	1 374 535,58	1 187 301,81
30	45	1,5	1 562 728,67	1 498 187,24	1 280 302,29
45	45	1,5	1 353 264,84	1 287 107,54	1 165 894,60
0	0	2,0	1 615 962,46	1 556 956,17	1 400 585,72
0	15	2,0	1 813 041,77	1 698 789,17	1 536 691,95
0	30	2,0	1 774 152,48	1 695 097,45	1 413 855,50
0	45	2,0	1 882 645,47	1 807 945,89	1 518 172,04
15	15	2,0	1 567 726,48	1 470 557,22	1 467 487,09
15	30	2,0	1 538 412,19	1 466 923,75	1 318 690,73
15	45	2,0	1 642 496,29	1 566 149,11	1 448 967,18
30	30	2,0	1 356 378,19	1 283 454,79	1 151 637,17
30	45	2,0	1 469 360,90	1 404 132,73	1 241 493,44
45	45	2,0	1 358 821,84	1 279 788,57	1 137 697,35

Z tabulky výše vyplývá, že nejlevnější mosty jsou s větší pevností oceli příčníků a hlavních nosníků a zároveň s větším ukloněním hlavních nosníků a s menší deskou mostovky, zatím co dražší mosty jsou s méně pevnou ocelí a s větším ukloněním při široké mostovce.

Zároveň můžeme pro mosty s menší vzdáleností hlavních nosníků zvolit nižší příčnky a tím zmenšit stavební výšku (výška příčníků viz. Tabulky 31 a 32).

11 ZÁVĚR

Mosty s extrémně stlačenou mostovkou jsou výhodné pro návrhy konstrukcí se zajištěním maximální možné velikosti mostního otvoru. Mosty s vylehčenou ocelobetonovou mostovkou mají největší výhodu v uklonění hlavních nosnicích, které zmenšují šířku mostovky a zároveň umožňují umístění ložisek blíže k sobě. Toto umístění ložisek umožňuje využití stávajících opěr bez větších zásahů. Na stávající opěru se osadí nový úložný práh, avšak zbytek opěry zůstane bez větších zásahů.

Porovnáním všech navržených mostů a jejich finančních nákladů na materiál bylo zjištěno, že finančně nejvýhodnější a zároveň s nejmenší stavební výškou jsou mosty s nejmenší vzdáleností hlavních nosníků a s využitím oceli S355 při výrobě hlavních nosníků.

Pro zjednodušení opakování výpočtů posudků jednotlivých částí mostů, byly všechny výpočty parametrické studie zpracovány v programu Microsoft Excel. Toto zpracování výpočtů umožnilo lehké úpravy profilů a rychlé zjišťování nových výsledků posudků daných profilů. Zároveň tento postup umožnil grafické znázornění sledovaných závislostí jednotlivých parametrů. Výsledné dimenze částí mostů byly porovnány s modely mostů v programu SCIA Engineer. Většina mostů byla navržena v analytickém posudku ve větších tloušťkách pásnic a stojin hlavních nosníků. Do ocenění mostů byly vždy zahrnuty modely ve větších tloušťkách hlavních nosníků. Dimenze příčníků a železobetonové desky vyšly stejně v analytickém tak numerickém výpočtu.

Výpočty byla nejprve posouzena železobetonová deska. Pro vzdálenost příčníků 1,5 m byla vyhovující tloušťka desky 250 mm, pro vzdálenost příčníků 2,0 m byla vyhovující tloušťka desky 275 mm.

Příčníky byly posouzeny pro různé vzdálenosti hlavních nosníků. Pro různé tloušťky železobetonové desky byly získány možné maximální rozteče příčníků. Pro jednotlivé modely mostů byly vždy zvoleny takové profily příčníků, které odpovídali nejmenším profilům HEM vyhovujícím požadované vzdálenosti příčníků. Všechny příčníky byly posouzeny i na únosnost při spřažení s železobetonovou deskou.

Všechny hlavní nosníky byly posouzeny na různé kombinace úklonů hlavních nosníků, vzdáleností hlavních nosníků a pevnosti ocelí, ze kterých jsou hlavní nosníky zhotoveny.

Výsledné dimenze jednotlivých částí mostů je možné využít při návrhu a zpracování projektové dokumentace mostu.

12 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. **Vítek, Jan.** *Mosty a tunely*. Praha : Nakladatelství dopravy a spojů, 1986.
2. **Helifix.** Helifix. *Helibeam systém*. [Online] 20. duben 2022. <https://www.helifix-cz.cz/produkty/vyrobky-pro-sanaci/helibeam-system/>.
3. **Ing. Ivan Šír, projektování dopravních staveb s.r.o.** Projektová dokumentace pro stavební povolení akce Oprava mostu v km 37,233 v úseku Bolehošť - Opočno pod Orlickými horami. *Řezy*. Hradec Králové : autor neznámý, 2021.
4. **SŽDC.** MVL 115 - Železniční mosty s extrémně stlačenou stavební výškou. Praha : autor neznámý, 2019.
5. **TZB-info.** Oboustranně vetknutý nosník s přerušným konstantním spojitým zatížením symetricky v části rozpětí. *TZB-info*. [Online] 2022. [Citace: 10. Duben 2022.] <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/188-vypocet-pruhybu-a-ohyboveho-momentu-nosniku>.
6. **TZB-info.** Oboustranně vetknutý nosník s konstantním spojitým zatížením symetricky v části rozpětí. *TZB-info*. [Online] 2022. [Citace: 10. Duben 2022.] <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/188-vypocet-pruhybu-a-ohyboveho-momentu-nosniku>.
7. **TZB-info.** Prostý nosník s přerušným konstantním spojitým zatížením symetricky v části rozpětí. *TZB-info*. [Online] 2022. [Citace: 10. Duben 2022.] <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/174-vypocet-pruhybu-a-ohyboveho-momentu-nosniku>.
8. **TZB-info.** Prostý nosník s konstantním spojitým zatížením symetricky v části rozpětí. *TZB-info*. [Online] 2022. [Citace: 10. Duben 2022.] <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/173-vypocet-pruhybu-a-ohyboveho-momentu-nosniku>.
9. **TZB-info.** Prostý nosník s konstantním spojitým zatížením. *TZB-info*. [Online] 2022. [Citace: 10. Duben 2022.] <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/172-vypocet-pruhybu-a-ohyboveho-momentu-nosniku>.
10. **Rotter T., Studnička J.** *Ocelové konstrukce 30 - ocelové mosty*. Praha : ČVUT, 1999.
11. **Vičan, Josef, Kabátník, Josef a Reimont, Tomáš.** *Dopravní cesty: Mosty*. Pardubice : Univerzita Pardubice, 2002.

12. **Pechar, Jiří, Bureš, Jiří a Schindler, Antonín.** *kovové mosty*. Praha : SNTL, 1990.
13. **ČSN 73 1401** *Navrhování ocelových konstrukcí*. 1995.
14. **ČSN EN 1990** *Eurokód: Zásady pro navrhování*. 2015.
15. **ČSN EN 1991-2** *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 2: Zatížení mostů dopravou*. 2018.
16. **ČSN EN 1991-1-4** *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem*. 2013.
17. **ČSN EN 1993-1-1** *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. 2011.
18. **ČSN EN 1993-1-5** *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-5: Boulení stěn*. 2013.
19. **ČSN EN 1992-2** *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 2: Betonové mosty - Navrhování a konstrukční zásady*. 2007.
20. **ČSN EN 1993-2** *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 2: Ocelové mosty*. 2008.
21. **ČSN EN 1992-1-1** *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. 2011.
22. **Jiří, Studnička.** *Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí. Příručka k ČSN EN 1994-1-1*. Praha : Informační centrum ČKAIT, s.r.o., 2009. ISBN 978-80-87093-85-6.
23. **Holický, Milan, Marková, Jana a Sýkora, Miroslav.** *Zatížení stavebních konstrukcí. Příručka k ČSN EN 1991*. Praha : Informační centrum ČKAIT, s.r.o., 2010. ISBN 978-80-87093-89-4.
24. **Král, Jaromír.** *Navrhování konstrukcí zatížených větrem. Příručka k ČSN EN 1991-1-4*. Praha : Informační centrum ČKAIT, s.r.o., 2010. ISBN 978-80-87438-05-3.
25. **ČSN EN 1994-1-1** *Eurokód 4: Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. 2011.

**26. ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení -
Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. 2004.**

13 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Velikost stálého zatížení - Železobetonová deska	21
Tabulka 2 - Velikost ostatního stálého zatížení - Železobetonová deska	22
Tabulka 3 - Velikost zatížení od dopravy - Železobetonová deska	24
Tabulka 4 - Kombinační součinitele - Železobetonová deska	24
Tabulka 5 - Kombinace zatížení 6.10 - Železobetonová deska	24
Tabulka 6 - Velikost stálého a ostatního stálého zatížení působícím na příčníky	30
Tabulka 7 - Velikost zatížení od dopravy - příčníky.....	31
Tabulka 8 - Velikosti kombinačních součinitelů pro výpočet kombinací - příčníky.	31
Tabulka 9 - Výsledné kombinace 6.10 zatížení příčníků - Zatížení bez dopravy.....	32
Tabulka 10 - Výsledné kombinace 6.10 zatížení příčníků - Zatížení s dopravou.....	32
Tabulka 11 - Výsledné kombinace zatížení příčníků - Zatížení bez dopravy.....	33
Tabulka 12 - Výsledné kombinace zatížení příčníků - Zatížení s dopravou.....	33
Tabulka 13 - Velikost stálého a ostatního stálého zatížení působícím na příčníky ...	57
Tabulka 14 - Velikost zatížení od dopravy – Hl.N. 250 kN/1,6m	58
Tabulka 15 - Velikost zatížení od dopravy - Hl. N. 80 kN/m.....	58
Tabulka 16 - Kombinace zatížení 6.10 - Hlavní nosník.....	63
Tabulka 17 - Kombinace zatížení pro mezní stav použitelnosti - Hlavní nosník	64
Tabulka 18 - Velikosti částí s rozdílným spojitým zatížením.....	65
Tabulka 19 - Součinitel příspěvku stojiny χ_w k únosnosti boulení při smyku - ČSN EN 1993-1-5 Tabulka 5.1.....	73
Tabulka 20 - Velikosti částí s rozdílným spojitým zatížením.....	83
Tabulka 21 - Součinitel příspěvku stojiny χ_w k únosnosti boulení při smyku - ČSN EN 1993-1-5 Tabulka 5.1.....	98
Tabulka 22 - Kombinace zatížení v programu SCIA Engineer	114
Tabulka 23 - Velikosti napětí a průhybu získané z programu SCIA Engineer.....	117
Tabulka 24 - Velikosti tloušťek pásnic a stojin různých modelů v programu SCIA Engineer	118
Tabulka 25 - Velikosti tloušťek pásnic a stojin různých modelů vypočtené ručním výpočtem.....	119
Tabulka 26 – Výsledná velikosti tloušťek pásnic a stojin různých modelů	120
Tabulka 27 - Ceny oceli	120
Tabulka 28 - Oceněné hlavní nosníky.....	121

Tabulka 29 - Výsledné parametry a ceny příčníků při vzdálenosti příčníků 1,5 m .	121
Tabulka 30 - Výsledné parametry a ceny příčníků při vzdálenosti příčníků 2,0 m .	121
Tabulka 31 - Objem a cena ŽB desky při vzdálenosti příčníků 1,5 m pro různá schémata.....	122
Tabulka 32 - Objem a cena ŽB desky při vzdálenosti příčníků 2,0 m pro různá schémata.....	122
Tabulka 33 - Cena materiálu mostů	123

14 SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 - Závislost výšky profilu a maximální vzdálenosti příčníků pro délku příčníků odpovídající modelu s kolnými hlavními nosníky.....	45
Graf 2 - Závislost výšky profilu a maximální vzdálenosti příčníků pro profil HEM a délku příčníků odpovídající různě ukloněným hlavním nosníkům.....	46
Graf 3 - Závislost výšky profilu a maximální vzdálenosti příčníků pro délku příčníků odpovídající modelu s kolnými hlavními nosníky.....	54
Graf 4 - Závislost výšky profilu a maximální vzdálenosti příčníků pro profil HEM a délku příčníků odpovídající různě ukloněným hlavním nosníkům.....	55

15 SEZNAM OBRÁZKOVÝCH PŘÍLOH

Obrázek 1 - Podélný řez mostem poskládaným z více prefabrikátů (3)	15
Obrázek 2 - Příčný řez mostem poskládaným z více prefabrikátů (3).....	16
Obrázek 3 – Skladebné schéma mostu poskládaného z více prefabrikátů (3) – NK = Nosná Konstrukce, ÚP = Úložný Práh, VZ = Výběhová Zídka	16
Obrázek 4 – Most s vylehčenou ocelobetonovou mostovkou (dle MVL 155 typ 7) v Předměřicích nad Labem.....	18
Obrázek 5 - Most s vylehčenou ocelobetonovou mostovkou (dle MVL 155 typ 7) v Předměřicích nad Labem.....	18
Obrázek 6 - Most s vylehčenou ocelobetonovou mostovkou (dle MVL 155 typ 7) v Předměřicích nad Labem.....	19
Obrázek 7 - Výpočtový model (4)	20
Obrázek 8 - Příčný roznos zatížení od dopravy a zatížení od kolejového roštu	22
Obrázek 9 - Schéma zatížení od dopravy - Upravený LM71.....	23
Obrázek 10 - Schéma zatížení od dopravy - Upraveny LM71.....	30
Obrázek 11 - Roznos zatížení na příčník	32
Obrázek 12 - Schéma zatížení příčníku se zatížením bez dopravy (5)	34
Obrázek 13 - Schéma zatížení příčníku se zatížením s dopravou (6)	34
Obrázek 14 - Velikosti rozměrů pro posudek třídy průřezu - ČSN EN 1993-1-1	36
Obrázek 15 - Schéma zatížení příčníků se zatížením bez dopravy (5)	43
Obrázek 16 - Schéma zatížení příčníku se zatížením s dopravou (6)	44
Obrázek 17 - Spřažený nosník s železobetonovou deskou - znázornění tažené výztuže	47
Obrázek 18 - Spřažený nosník s železobetonovou deskou - Náhradní průřez za taženou výztuž.....	48
Obrázek 19 - Schéma zatížení příčníků se zatížením bez dopravy (5)	52
Obrázek 20 - Schéma zatížení příčníku se zatížením s dopravou (6)	53
Obrázek 21 - Schéma zatížení od dopravy - Upraveny LM71.....	57
Obrázek 22- Velikost vodorovných momentů - Vzdálenost hlavních nosníků odpovídající modelu s kolmými hlavními nosníky	62
Obrázek 23 - Velikost vodorovných momentů - Vzdálenost hlavních nosníků odpovídající modelu s ukloněnými hlavními nosníky o 15°	62

Obrázek 24 - Velikost vodorovných momentů - Vzdálenost hlavních nosníků odpovídající modelu s ukloněnými hlavními nosníky o 30°.....	62
Obrázek 25 - Velikost vodorovných momentů - Vzdálenost hlavních nosníků odpovídající modelu s ukloněnými hlavními nosníky o 45°.....	62
Obrázek 26 - Velikost částí s rozdílným spojitým zatížením	65
Obrázek 27 - Schéma zatížení působícího na hlavní nosník - Výpočet M_{max}	67
Obrázek 28 - Schéma zatížení působícího na hlavní nosník - Výpočet V_{max}	67
Obrázek 29 - Profil kolmého hlavního nosníku	69
Obrázek 30 - Schéma zatížení hlavního nosníku s zatížením $Q_{80,ch}$ (7).....	78
Obrázek 31 - Schéma zatížení hlavního nosníku s zatížením $Q_{250,ch}$ (8)	78
Obrázek 32 - Schéma zatížení hlavního nosníku Vlastní tíhou (9).....	79
Obrázek 33 - Schéma zatížení působícího na hlavní nosník - Výpočet M_{max}	84
Obrázek 34 - Schéma zatížení působícího na hlavní nosník - Výpočet V_{max}	85
Obrázek 35 - Profil ukloněného hlavního nosníku	87
Obrázek 36 - Průřezové charakteristiky trojúhelníku	89
Obrázek 37 - Průřezové charakteristiky natočeného trojúhelníku	90
Obrázek 38 - Profil ukloněného hlavního nosníku - tlačená část nosníku.....	102
Obrázek 39 - Schéma zatížení hlavního nosníku s zatížením $Q_{80,ch}$ (8).....	106
Obrázek 40 - Schéma zatížení hlavního nosníku s zatížením $Q_{250,ch}$ (7)	106
Obrázek 41 - Schéma zatížení hlavního nosníku Vlastní tíhou (9).....	107
Obrázek 42 - Výpočtový model v programu SCIA Engineer s kolmými hlavními nosníky	112
Obrázek 43 - Výpočtový model v programu SCIA Engineer s ukloněnými hlavními nosníky	112
Obrázek 44 - Umístění zatížení - Ostatní stálé.....	113
Obrázek 45 - Umístění zatížení - Zatížení od dopravy	113
Obrázek 46 - Umístění zatížení - Rozjezd a brzda.....	113
Obrázek 47 - Umístění zatížení - Boční rázy	113
Obrázek 48 - Umístění zatížení - Vítr	113
Obrázek 49 - Maximální velikosti normálových napětí v pásnici hlavního nosníku	116
Obrázek 50 - Velikost maximálních smykových napětí v hlavním nosníku	116
Obrázek 51 - Velikost maximálního průhybu hlavního nosníku	117

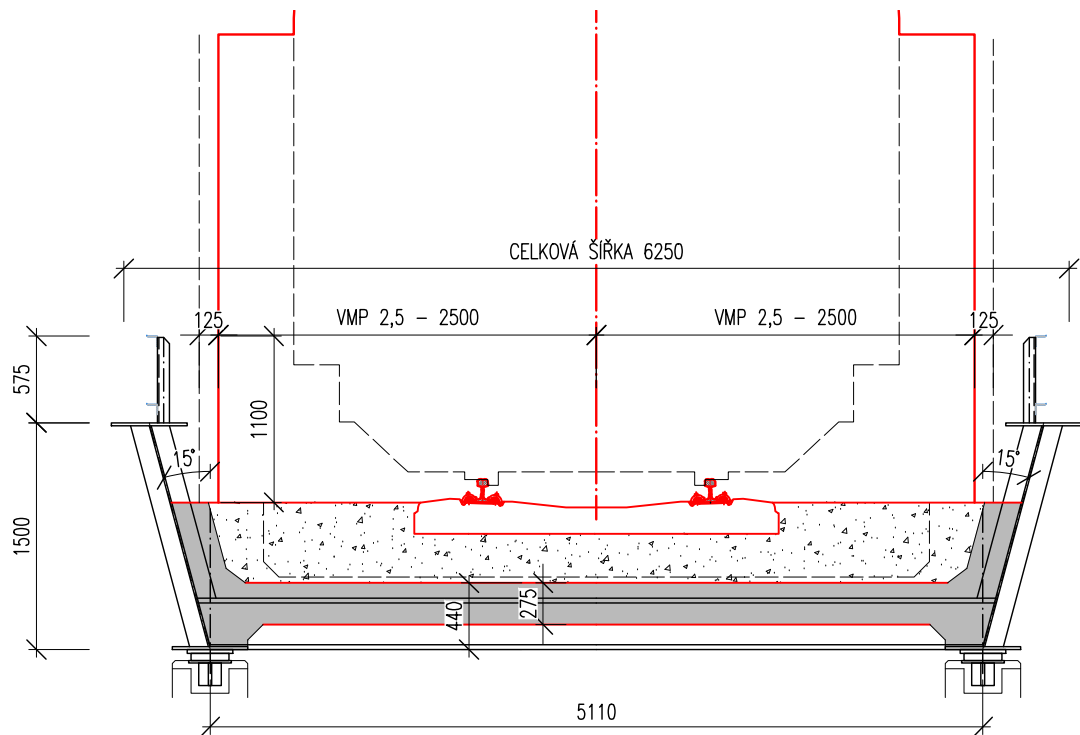
16 PŘÍLOHY

16.1 Příloha A – Grafická příloha

Příčné řezy – kolmé hlavní nosníky	135
Příčné řezy – hlavní nosníky ukloněné o 15°	136
Příčné řezy – hlavní nosníky ukloněné o 30°	137
Příčné řezy – hlavní nosníky ukloněné o 45°	138
Podélné řezy	139

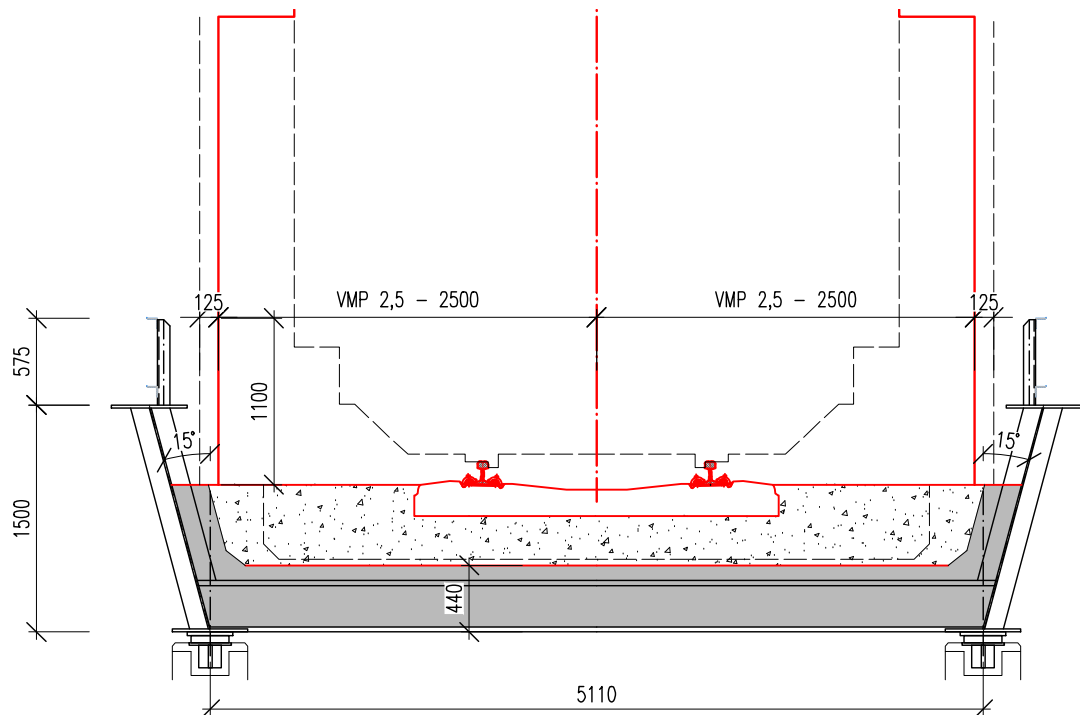
PŘÍČNÝ ŘEZ MIMO PŘÍČNÍK, M 1:50

HLAVNÍ NOSNÍKY UKLONĚNÉ O 15°



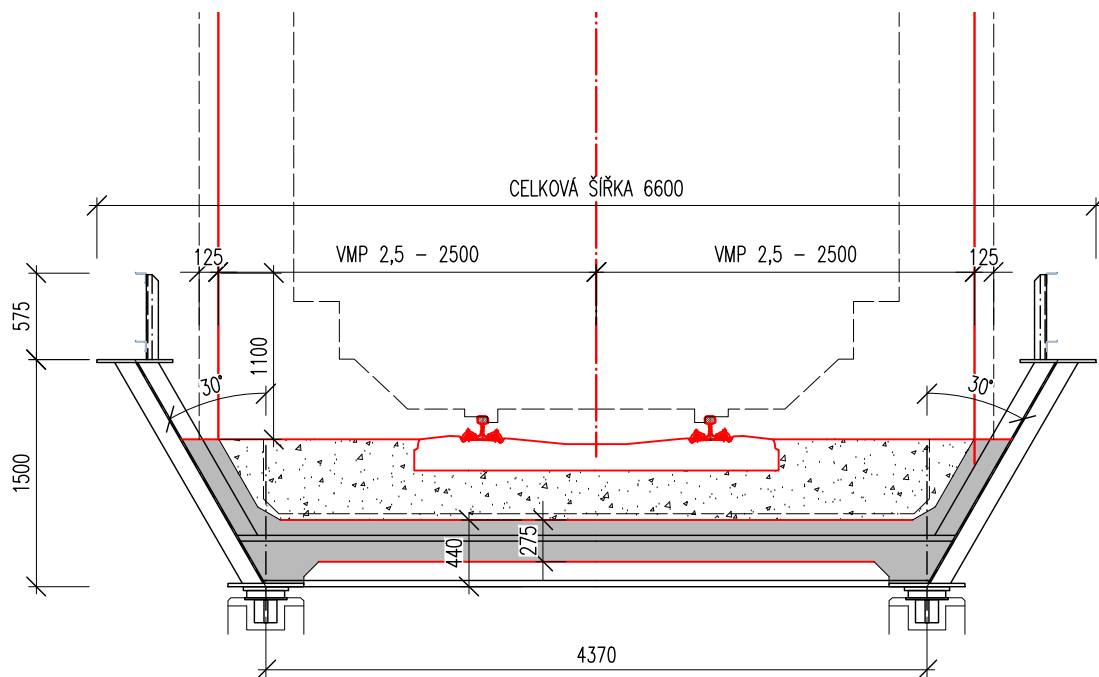
PŘÍČNÝ PŘÍČNÍKEM, M 1:50

HLAVNÍ NOSNÍKY UKLONĚNÉ O 15°



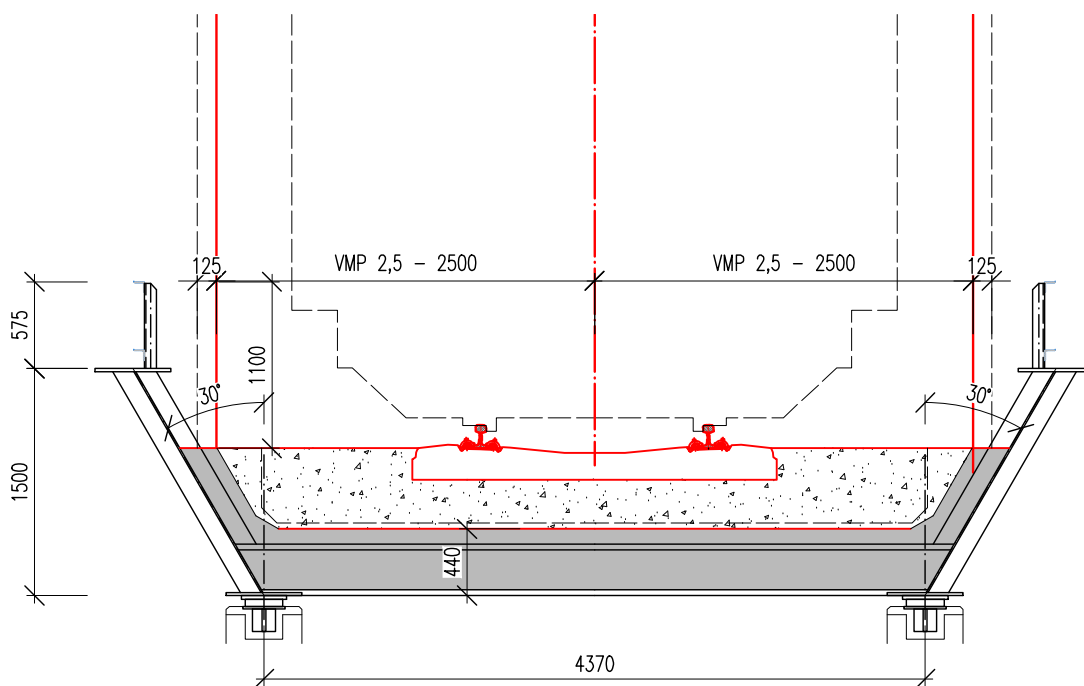
PŘÍČNÝ ŘEZ MIMO PŘÍČNÍK, M 1:50

HLAVNÍ NOSNÍKY UKLONĚNÉ O 30°



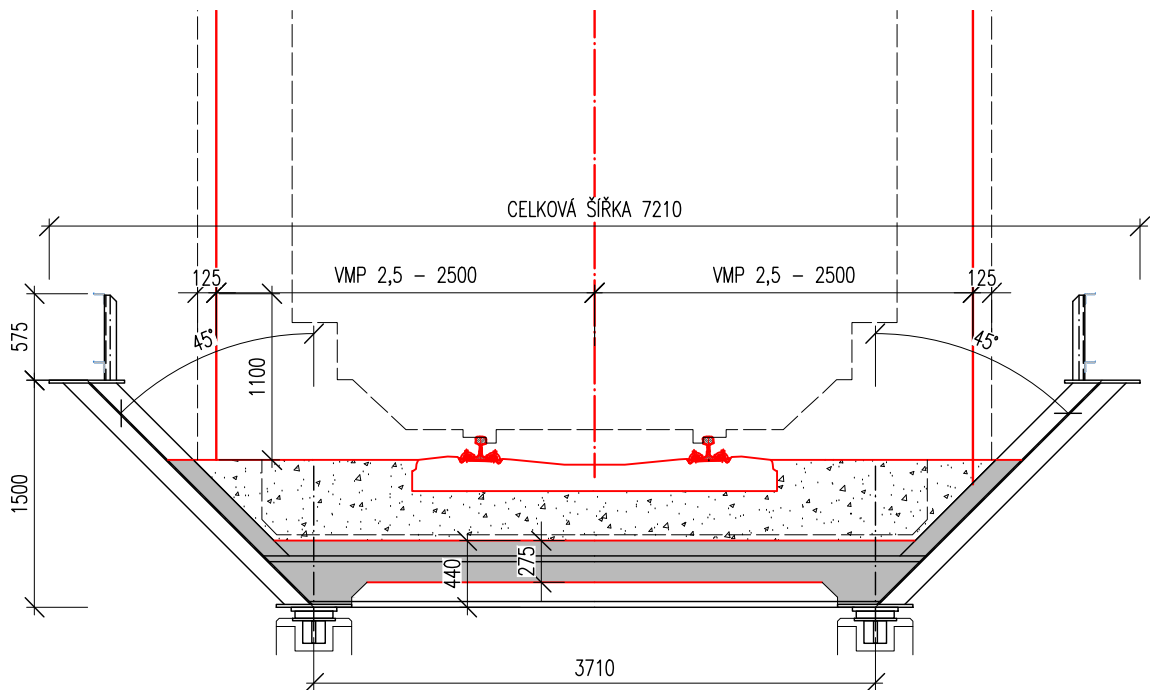
PŘÍČNÝ PŘÍČNÍKEM, M 1:50

HLAVNÍ NOSNÍKY UKLONĚNÉ O 30°



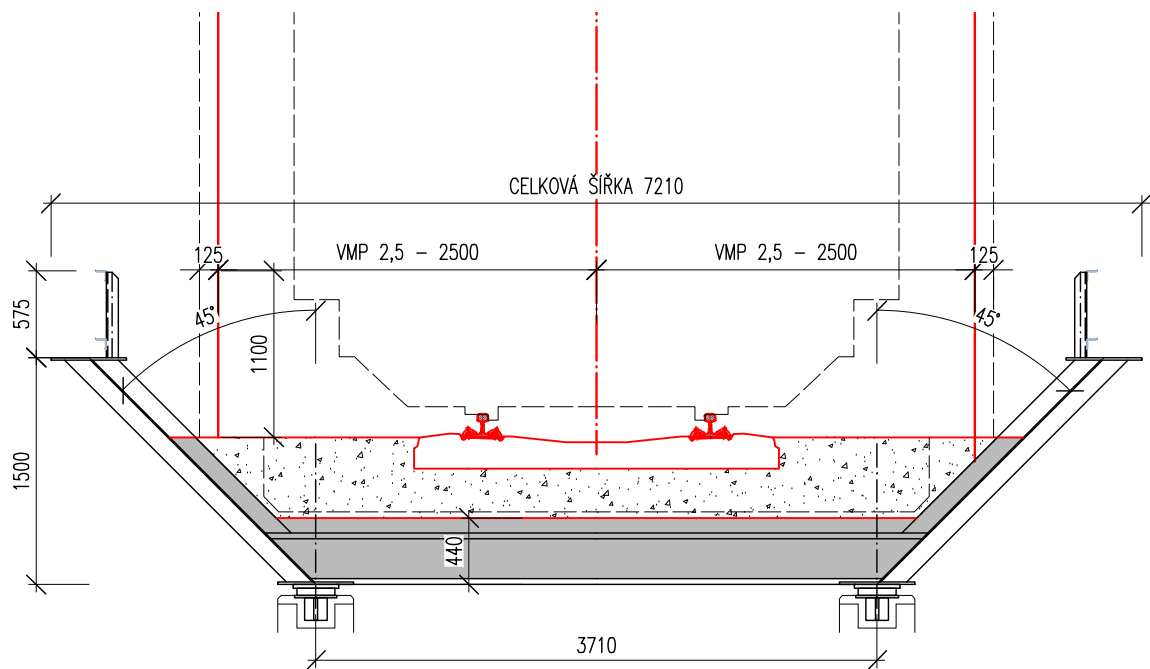
PŘÍČNÝ ŘEZ MIMO PŘÍČNÍK, M 1:50

HLAVNÍ NOSNÍKY UKLONĚNÉ O 45°



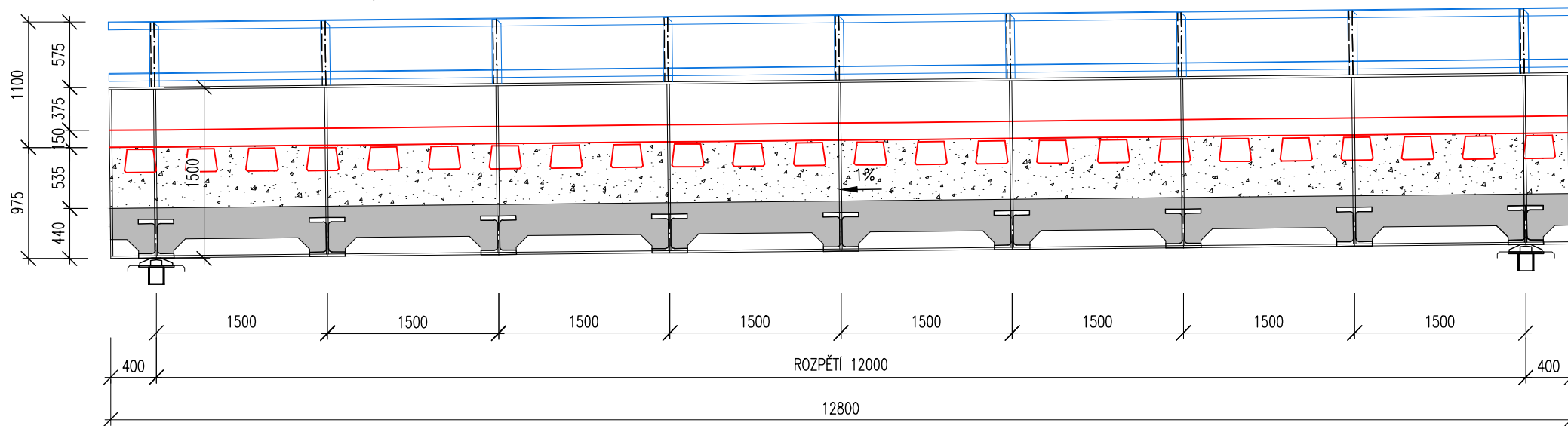
PŘÍČNÝ PŘÍČNÍKEM, M 1:50

HLAVNÍ NOSNÍKY UKLONĚNÉ O 45°



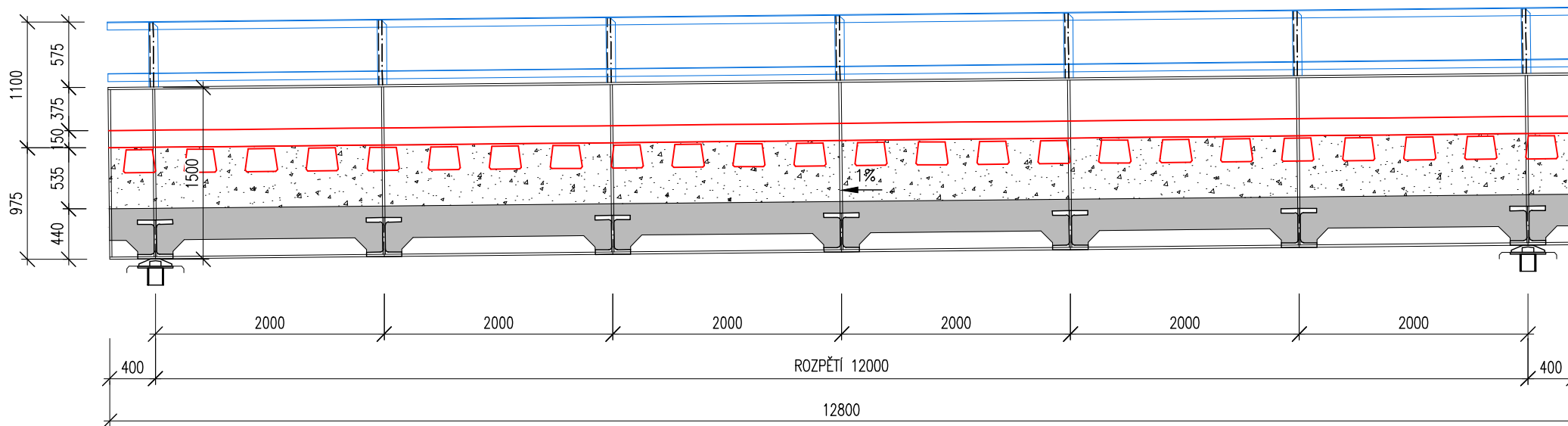
PODÉLNÝ ŘEZ, M 1:50

PRO MODELY SE VZDÁLENOSTÍ PŘÍČNÍKŮ 1,5 m



PODÉLNÝ ŘEZ, M 1:50

PRO MODELY SE VZDÁLENOSTÍ PŘÍČNÍKŮ 2,0 m



16.2 Příloha B – Tabulkové přílohy z programu Microsoft Excel

Tabulka B. 1 - Výpočet zatížení.....	141
Tabulka B. 2 - Posouzení železobetonové desky.....	142
Tabulka B. 3 - Průřezové charakteristiky jednotlivých profilů využitých při posudcích příčníků	143
Tabulka B. 4 - Posouzení příčníků na ohyb	144
Tabulka B. 5 - Posouzení příčníků na únosnost ve smyku (červené buňky označují průřezy potřebující dodatečné posouzení na interakci mezi smykem a ohybem)....	145
Tabulka B. 6 - Posouzení příčníků na interakci mezi smykem a ohybem	146
Tabulka B. 7 - Posouzení příčníků na průhyb.....	147
Tabulka B. 8 - Posouzení kolmých hlavních nosníků - ohyb	148
Tabulka B. 9 - Posouzení kolmých hlavních nosníků - smyk.....	148
Tabulka B. 10 - Posouzení kolmých hlavních nosníků - interakce mezi smykem a ohybem.....	148
Tabulka B. 11 - Posouzení kolmých hlavních nosníků - průhyb	149
Tabulka B. 12 - Posouzení kolmých hlavních nosníků - klopení	149
Tabulka B. 13 - Posouzení kolmých hlavních nosníků - celková sumarizace využití kapacit průřezu hlavního nosníku	149
Tabulka B. 14 - Posouzení ukloněných hlavních nosníků - ohyb.....	150
Tabulka B. 15 - Posouzení ukloněných hlavních nosníků - smykové	150
Tabulka B. 16 - Posouzení ukloněných hlavních nosníků - interakce mezi smykem a ohybem.....	150
Tabulka B. 17 - Posouzení ukloněných hlavních nosníků - průhyb	151
Tabulka B. 18 - Posouzení ukloněných hlavních nosníků - celková sumarizace využití kapacit průřezu hlavního nosníku	151
Tabulka B. 19 - Posouzení příčníků na únavu	152
Tabulka B. 20 - Posouzení hlavních nosníků na únavu	152
Tabulka B. 21 - Využití únosnosti a maximálního možného průhybu pro hodnoty vypočtené v programu SCIA Engineer	153

Tabulka B. 1 - Výpočet zatížení

Zatížení příčníků s dopravou

Tloušťka desky	Stálé	Ostatní stálé	dynamický součinitel	zatížení od	Klasifikovaná zatížení	6.10a	6.10b	6.10 MAX	char. Komb	častá komb	kvazistálá komb
m	kN/m ²	kN/m ²	-	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²
0,25	6,25	13,74011	1,440439766	55,21201	87,4825388	128,4664	149,7883	149,7883279	107,4726	89,976137	19,99010601
0,275	6,875	13,72618	1,440439766	54,72855	86,71649205	128,4027	149,3788	149,37877	107,3177	89,974376	20,60118214
0,3	7,5	13,7125	1,440439766	54,25347	85,96374473	128,3548	148,9888	148,9887736	107,1762	89,983496	21,2125
0,325	8,125	13,69905	1,440439766	53,78657	85,22395346	128,3223	148,6178	148,6178337	107,048	90,003216	21,82405336
0,35	8,75	13,68584	1,440439766	53,32765	84,49678663	128,3047	148,2655	148,2654626	106,9326	90,033265	22,43583618
0,375	9,375	13,67284	1,440439766	52,87648	83,78192379	128,3016	147,9312	147,9311889	106,8298	90,073382	23,04784264
0,4	10	13,66007	1,440439766	52,43289	83,07905531	128,3128	147,6146	147,6145572	106,7391	90,123311	23,66006711

Zatížení příčníků bez dopravy

Tloušťka desky	Stálé	Ostatní stálé	dynamický součinitel	zatížení od dopravy	Klasifikovaná zatížení	6.10a	6.10b	6.10 MAX	char. Komb	častá komb	kvazistálá komb
m	kN/m ²	kN/m ²	-	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²
0,25	6,25	12,15	1,440439766	0	0	24,84	21,114	24,84	18,4	18,4	18,4
0,275	6,875	12,15	1,440439766	0	0	25,68375	21,83119	25,68375	19,025	19,025	19,025
0,3	7,5	12,15	1,440439766	0	0	26,5275	22,54838	26,5275	19,65	19,65	19,65
0,325	8,125	12,15	1,440439766	0	0	27,37125	23,26556	27,37125	20,275	20,275	20,275
0,35	8,75	12,15	1,440439766	0	0	28,215	23,98275	28,215	20,9	20,9	20,9
0,375	9,375	12,15	1,440439766	0	0	29,05875	24,69994	29,05875	21,525	21,525	21,525
0,4	10	12,15	1,440439766	0	0	29,9025	25,41713	29,9025	22,15	22,15	22,15

Tabulka B. 2 - Posouzení železobetonové desky

průměr	počet do m	As	CENA ZA m'	d	M ed	možná vzdálenost příčníků	ZVOLENÁ VZDÁLEN OST PŘÍČNÍKŮ	M RD	x	z	F C	F S	F c = F s	M sd	M Ed<M sd	POSOUZENÍ ROTAČNÍ KAPACITY		POSOUZENÍ PLOCHY VÝTUŽE			cena za výztuž při maximálním vzdálení příčníků na m'	Splnění všech podmínek
																x/d	x/d<0,45	A smín	Asmax	A smín<A s<A smax		
mm	ks	mm2	Kč/m	mm	kNm	m	m	kNm	mm	mm	kN	kN	-	kNm	-	-	-	mm2	mm2	mm2	Kč	-
8	4	201,0619	20,21	196	16,94292	0,9225646	0,75	11,1974	5,463639	193,8145	87,41823	87,41823	VYHOVÍ	16,94292	VYHOVÍ	0,027876	VYHOVÍ	295,568	1000	NEVYHOVÍ	80,84	NEPRAVDA
8	5	251,3274	20,21	196	21,11895	1,0300037	1	19,9065	6,829549	193,2682	109,2728	109,2728	VYHOVÍ	21,11895	VYHOVÍ	0,034845	VYHOVÍ	295,568	1000	NEVYHOVÍ	101,05	NEPRAVDA
8	6	301,5929	20,21	196	25,2711	1,1267165	1	19,9065	8,195459	192,7218	131,1273	131,1273	VYHOVÍ	25,2711	VYHOVÍ	0,041814	VYHOVÍ	295,568	1000	VYHOVÍ	121,26	NEPRAVDA
8	7	351,8584	20,21	196	29,39937	1,2152666	1	19,9065	9,561369	192,1755	152,9819	152,9819	VYHOVÍ	29,39937	VYHOVÍ	0,048782	VYHOVÍ	295,568	1000	VYHOVÍ	141,47	NEPRAVDA
8	8	402,1239	20,21	196	33,50375	1,2973265	1,25	31,1039	10,92728	191,6291	174,8365	174,8365	VYHOVÍ	33,50375	VYHOVÍ	0,055751	VYHOVÍ	295,568	1000	VYHOVÍ	161,68	NEPRAVDA
10	4	314,1593	28,42	195	26,16881	1,1465542	1	19,9065	8,536937	191,5852	136,591	136,591	VYHOVÍ	26,16881	VYHOVÍ	0,043779	VYHOVÍ	294,06	1000	VYHOVÍ	113,68	NEPRAVDA
10	5	392,6991	28,42	195	32,56526	1,2790274	1,25	31,1039	10,67117	190,7315	170,7387	170,7387	VYHOVÍ	32,56526	VYHOVÍ	0,054724	VYHOVÍ	294,06	1000	VYHOVÍ	142,10	NEPRAVDA
10	6	471,2389	28,42	195	38,9034	1,3979652	1,25	31,1039	12,8054	189,8778	204,8865	204,8865	VYHOVÍ	38,9034	VYHOVÍ	0,065669	VYHOVÍ	294,06	1000	VYHOVÍ	170,52	NEPRAVDA
10	7	549,7787	28,42	195	45,18324	1,5065767	1,5	44,78962	14,93964	189,0241	239,0342	239,0342	VYHOVÍ	45,18324	VYHOVÍ	0,076614	VYHOVÍ	294,06	1000	VYHOVÍ	198,94	PRAVDA
10	8	628,3185	28,42	195	51,40477	1,6069572	1,5	44,78962	17,07387	188,1705	273,182	273,182	VYHOVÍ	51,40477	VYHOVÍ	0,087558	VYHOVÍ	294,06	1000	VYHOVÍ	227,36	PRAVDA
12	4	452,3893	39,29	194	37,19087	1,3668497	1,25	31,1039	12,29319	189,0827	196,691	196,691	VYHOVÍ	37,19087	VYHOVÍ	0,063367	VYHOVÍ	292,552	1000	VYHOVÍ	157,16	NEPRAVDA
12	5	565,4867	39,29	194	46,18635	1,5232086	1,5	44,78962	15,36649	187,8534	245,8638	245,8638	VYHOVÍ	46,18635	VYHOVÍ	0,079209	VYHOVÍ	292,552	1000	VYHOVÍ	196,45	NEPRAVDA
12	6	678,584	39,29	194	55,06092	1,6631228	1,5	44,78962	18,43978	186,6241	295,0365	295,0365	VYHOVÍ	55,06092	VYHOVÍ	0,09505	VYHOVÍ	292,552	1000	VYHOVÍ	235,74	PRAVDA
12	7	791,6813	39,29	194	63,8146	1,7904517	1,75	60,96365	21,51308	185,3948	344,2093	344,2093	VYHOVÍ	63,8146	VYHOVÍ	0,110892	VYHOVÍ	292,552	1000	VYHOVÍ	275,03	PRAVDA
12	8	904,7787	39,29	194	72,44738	1,9077169	1,75	60,96365	24,58638	184,1654	393,382	393,382	VYHOVÍ	72,44738	VYHOVÍ	0,126734	VYHOVÍ	292,552	1000	VYHOVÍ	314,32	PRAVDA
14	4	615,7522	53,42	193	49,87781	1,5829102	1,5	44,78962	16,7324	186,307	267,7183	267,7183	VYHOVÍ	49,87781	VYHOVÍ	0,086696	VYHOVÍ	291,044	1000	VYHOVÍ	213,68	PRAVDA
14	5	769,6902	53,42	193	61,78732	1,7617823	1,75	60,96365	20,91549	184,6338	334,6479	334,6479	VYHOVÍ	61,78732	VYHOVÍ	0,10837	VYHOVÍ	291,044	1000	VYHOVÍ	267,10	PRAVDA
14	6	923,6282	53,42	193	73,47284	1,9211709	1,75	60,96365	25,09859	182,9606	401,5775	401,5775	VYHOVÍ	73,47284	VYHOVÍ	0,130045	VYHOVÍ	291,044	1000	VYHOVÍ	320,52	PRAVDA
14	7	1077,566	53,42	193	84,93439	2,0655912	2	79,62599	29,28169	181,2873	468,5071	468,5071	VYHOVÍ	84,93439	VYHOVÍ	0,151719	VYHOVÍ	291,044	1000	NEVYHOVÍ	373,94	NEPRAVDA
14	8	1231,504	53,42	193	96,17197	2,1979956	2	79,62599	33,46479	179,6141	535,4367	535,4367	VYHOVÍ	96,17197	VYHOVÍ	0,173393	VYHOVÍ	291,044	1000	NEVYHOVÍ	427,36	NEPRAVDA
16	4	804,2477	70,74	192	64,08042	1,7941769	1,75	60,96365	21,85456	183,2582	349,6729	349,6729	VYHOVÍ	64,08042	VYHOVÍ	0,113826	VYHOVÍ	289,536	1000	VYHOVÍ	282,96	PRAVDA
16	5	1005,31	70,74	192	79,14528	1,9939538	1,75	60,96365	27,3182	181,0727	437,0912	437,0912	VYHOVÍ	79,14528	VYHOVÍ	0,142282	VYHOVÍ	289,536	1000	NEVYHOVÍ	353,70	NEPRAVDA
16	6	1206,372	70,74	192	93,82805	2,1710455	2	79,62599	32,78184	178,8873	524,5094	524,5094	VYHOVÍ	93,82805	VYHOVÍ	0,170739	VYHOVÍ	289,536	1000	NEVYHOVÍ	424,44	NEPRAVDA
16	7	1407,434	70,74	192	108,1287	2,3306288	2,25	100,7766	38,24548	176,7018	611,9276	611,9276	VYHOVÍ	108,1287	VYHOVÍ	0,199195	VYHOVÍ	289,536	1000	NEVYHOVÍ	495,18	NEPRAVDA
16	8	1608,495	70,74	192	122,0473	2,4760912	2,25	100,7766	43,70912	174,5164	699,3458	699,3458	VYHOVÍ	122,0473	VYHOVÍ	0,227652	VYHOVÍ	289,536	1000	NEVYHOVÍ	565,92	NEPRAVDA
18	4	1017,876	89,54	191	79,6316	2,0000704	2	79,62599	27,65967	179,9361	442,5548	442,5548	VYHOVÍ	79,6316	VYHOVÍ	0,144815	VYHOVÍ	288,028	1000	NEVYHOVÍ	358,16	NEPRAVDA
18	5	1272,345	89,54	191	98,00938	2,2188932	2	79,62599	34,57459	177,1702	553,1935	553,1935	VYHOVÍ	98,00938	VYHOVÍ	0,181019	VYHOVÍ	288,028	1000	NEVYHOVÍ	447,70	NEPRAVDA
18	6	1526,814	89,54	191	115,7751	2,4116273	2,25	100,7766	41,48951	174,4042	663,8322	663,8322	VYHOVÍ	115,7751	VYHOVÍ	0,217223	VYHOVÍ	288,028	1000	NEVYHOVÍ	537,24	NEPRAVDA
18	7	1781,283	89,54	191	132,9288	2,5841168	2,5	124,4156	48,40443	171,6382	774,4709	774,4709	VYHOVÍ	132,9288	VYHOVÍ	0,253426	VYHOVÍ	288,028	1000	NEVYHOVÍ	626,78	NEPRAVDA
18	8	2035,752	89,54	191	149,4705	2,7401873	2,5	124,4156	55,31935	168,8723	885,1096	885,1096	VYHOVÍ	149,4705	VYHOVÍ	0,28963	VYHOVÍ	288,028	1000	NEVYHOVÍ	716,32	NEPRAVDA
20	4	1256,637	107,59	190	96,34631	2,199987	2	79,62599	34,14775	176,3409	546,3639	546,3639	VYHOVÍ	96,34631	VYHOVÍ	0,179725	VYHOVÍ	286,52	1000	NEVYHOVÍ	430,36	NEPRAVDA
20	5	1570,796	107,59	190	118,1007	2,4357286	2,25	100,7766	42,68468	172,9261	682,9549	682,9549	VYHOVÍ	118,1007	VYHOVÍ	0,224656	VYHOVÍ	286,52	1000	NEVYHOVÍ	537,95	NEPRAVDA
20	6	1884,956	107,59	190	138,9223	2,6417311	2,5	124,4156	51,22162	169,5114	819,5459	819,5459	VYHOVÍ	138,9223	VYHOVÍ	0,269587	VYHOVÍ	286,52	1000	NEVYHOVÍ	645,54	NEPRAVDA
20	7	2199,115	107,59	190	158,8111	2,824509	2,75	150,5429	59,75856	166,0966	956,1369	956,1369	VYHOVÍ	158,8111	VYHOVÍ	0,314519	VYHOVÍ	286,52	1000	NEVYHOVÍ	753,13	NEPRAVDA
20	8	2513,274	107,59	190	177,7669	2,9883267	2,75	150,5429	68,29549	162,6818	1092,728	1092,728	VYHOVÍ	177,7669	VYHOVÍ	0,35945	VYHOVÍ	286,52	1000	NEVYHOVÍ	860,72	NEPRAVDA

Tabulka B. 3 - Průřezové charakteristiky jednotlivých profilů využitých při posudcích příčníků

průřez	A	b	h	tf	tw	r	Plocha pro výpočet smyku	z1	z2	A1	A2	w pl1	w pl2	Třída průřezu	c	c/t
-	mm ²	mm	mm	mm	mm	mm	mm ²	mm	mm	mm ²	mm ²	mm ³	mm ³		mm	-
IPE450	9880	190	450	14,6	9,4	21	5832,88	218	105	2774	1 978	1 207 800	1 623 920	1	379	40
IPE500	11600	200	500	16	10,2	21	6870,4	242	117	3200	2 387	1 548 800	2 107 311	1	426	42
IPE550	13400	210	550	17,2	11,1	24	8209,04	266	129	3612	2 862	1 924 474	2 662 189	1	468	42
IPE600	15600	220	600	19	12	24	9520	291	141	4180	3 372	2 428 580	3 376 112	1	514	43
HE320A	12440	300	310	15,5	9	27	5093	147	70	4650	1 256	1 369 425	1 544 567	1	225	25
HE340A	13350	300	330	16,5	9,5	27	5545,5	157	74	4950	1 411	1 551 825	1 761 321	1	243	26
HE360A	14280	300	350	17,5	10	27	6020	166	79	5250	1 575	1 745 625	1 993 688	1	261	26
HE400A	15900	300	390	19	11	27	6970	186	88	5700	1 936	2 114 700	2 455 436	1	298	27
HE450A	17800	300	440	21	11,5	27	7951	210	100	6300	2 289	2 639 700	3 095 112	1	344	30
HE500A	19750	300	490	23	12	27	8986	234	111	6900	2 664	3 222 300	3 813 708	1	390	33
HE550A	21180	300	540	24	12,5	27	9972	258	123	7200	3 075	3 715 200	4 471 650	1	438	35
HE600A	22650	300	590	25	13	27	11000	283	135	7500	3 510	4 237 500	5 185 200	1	486	37
HE360AA	10660	300	339	12	9	27	4972	164	79	3600	1 418	1 177 200	1 400 456	1	261	29
HE400AA	11770	300	378	13	9,5	27	5621	183	88	3900	1 672	1 423 500	1 717 772	1	298	31
HE450AA	12710	300	425	13,5	10	27	6338	206	100	4050	1 990	1 666 575	2 062 585	1	344	34
HE500AA	13690	300	472	14	10,5	27	7096	229	111	4200	2 331	1 923 600	2 441 082	1	390	37
HE550AA	15280	300	522	15	11,5	27	8245	254	123	4500	2 829	2 281 500	2 977 434	1	438	38
HE600AA	16410	300	571	15,5	12	27	9156	278	135	4650	3 240	2 583 075	3 457 875	1	486	41
HE280B	13100	280	280	18	10,5	24	5126	131	61	5040	1 281	1 320 480	1 476 762	1	196	19
HE300B	14900	300	300	19	11	27	5970	141	66	5700	1 441	1 601 700	1 790 471	1	208	19
HE320B	16100	300	320	20,5	11,5	27	6485,5	150	70	6150	1 604	1 841 925	2 065 718	1	225	20
HE340B	17100	300	340	21,5	12	27	7038	159	74	6450	1 782	2 054 325	2 318 952	1	243	20
HE360B	18100	300	360	22,5	12,5	27	7592,5	169	79	6750	1 969	2 278 125	2 588 203	1	261	21
HE400B	19800	300	400	24	13,5	27	8640	188	88	7200	2 376	2 707 200	3 125 376	1	298	22
HE450B	21800	300	450	26	14	27	9736	212,00	99,50	7800	2 786	3 307 200	3 861 614	1	344	25
HE500B	23900	300	500	28	14,5	27	10936	236	111	8400	3 219	3 964 800	4 679 418	1	390	27
HE550B	25410	300	550	29	15	27	12012	261	123	8700	3 690	4 532 700	5 440 440	1	438	29
HE600B	27000	300	600	30	15,5	27	13170	285	135	9000	4 185	5 130 000	6 259 950	1	486	31
HE220M	14940	226	240	26	15,5	18	5866	107	47	5876	1 457	1 257 464	1 394 422	1	152	10
HE240M	19960	248	270	32	18	21	7928	119	52	7936	1 854	1 888 768	2 079 730	1	164	9
HE260M	21960	268	290	32,5	18	24	8830	129	56	8710	2 025	2 242 825	2 470 638	1	177	10
HE280M	24020	288	310	33	18,5	24	9401	139	61	9504	2 257	2 632 608	2 907 962	1	196	11
HE300M	30310	310	340	39	21	27	11980	151	66	12090	2 751	3 639 090	3 999 471	1	208	10
HE320M	31200	309	359	40	21	27	12480	160	70	12360	2 930	3 942 840	4 351 505	1	225	11
HE340M	31580	309	377	40	21	27	12860	169	74	12360	3 119	4 165 320	4 628 417	1	243	12
HE360M	31880	308	395	40	21	27	13240	178	79	12320	3 308	4 373 600	4 894 531	1	261	12
HE400M	32580	307	432	40	21	27	14020	196	88	12280	3 696	4 813 760	5 464 256	1	298	14
HE450M	33540	307	478	40	21	27	14980	219,0	99,5	12280	4 179	5 378 640	6 210 261	1	344	16
HE500M	34430	306	524	40	21	27	15950	242	111	12240	4 662	5 924 160	6 959 124	1	390	19
HE550M	35440	306	572	40	21	27	16960	266	123	12240	5 166	6 511 680	7 782 516	1	438	21
HE600M	36370	305	620	40	21	27	17970	290	135	12200	5 670	7 076 000	8 606 900	1	486	23

Tabulka B. 4 - Posouzení příčníků na ohyb

průřez	modul průřezu v ohybu m ³	momentová únosnost kNm	VÝŠKA PROFILU mm	Hmotnost profilu kg/m	Možná vzdálenost příčníků při stoprocentním využití ohybové únosnosti při tl. Desky							
					0,25 m	0,275 m	0,3 m	0,325 m	0,35 m	0,375 m	0,4 m	
IPE450	1,50E-03	352,50	450	77,6	1,16	1,15	1,15	1,14	1,13	1,13	1,12	
IPE500	1,93E-03	453,55	500	90,7	1,49	1,48	1,48	1,47	1,46	1,45	1,44	
IPE550	2,44E-03	573,40	550	106	1,89	1,88	1,87	1,86	1,85	1,84	1,83	
IPE600	3,07E-03	721,45	600	122	2,38	2,36	2,35	2,34	2,32	2,31	2,30	
HE320A	1,48E-03	347,80	310	97,6	1,14	1,14	1,13	1,12	1,12	1,11	1,11	
HE340A	1,68E-03	394,80	330	105	1,30	1,29	1,28	1,28	1,27	1,26	1,26	
HE360A	1,89E-03	444,15	350	112	1,46	1,45	1,44	1,44	1,43	1,42	1,41	
HE400A	2,31E-03	542,85	390	125	1,78	1,77	1,76	1,76	1,75	1,74	1,73	
HE450A	2,90E-03	681,50	440	140	2,24	2,23	2,22	2,21	2,19	2,18	2,17	
HE500A	3,55E-03	834,25	490	155	2,75	2,73	2,72	2,70	2,69	2,67	2,66	
HE550A	4,15E-03	975,25	540	166	3,21	3,19	3,18	3,16	3,14	3,13	3,11	
HE600A	4,79E-03	1 125,65	590	178	3,71	3,69	3,67	3,65	3,63	3,61	3,59	
HE360AA	1,36E-03	319,60	339	83,7	1,05	1,04	1,04	1,03	1,03	1,02	1,02	
HE400AA	1,65E-03	387,75	378	92,4	1,27	1,27	1,26	1,25	1,25	1,24	1,23	
HE450AA	1,97E-03	462,95	425	99,7	1,52	1,51	1,51	1,50	1,49	1,48	1,47	
HE500AA	2,32E-03	545,20	472	107	1,79	1,78	1,77	1,76	1,76	1,75	1,74	
HE550AA	2,79E-03	655,65	522	120	2,16	2,15	2,13	2,12	2,11	2,10	2,09	
HE600AA	3,22E-03	756,70	571	129	2,49	2,48	2,46	2,45	2,44	2,43	2,41	
HE280B	1,38E-03	324,30	280	103	1,06	1,06	1,05	1,05	1,04	1,03	1,03	
HE300B	1,68E-03	394,80	300	117	1,29	1,29	1,28	1,27	1,27	1,26	1,25	
HE320B	1,93E-03	453,55	320	127	1,49	1,48	1,47	1,46	1,46	1,45	1,44	
HE340B	2,16E-03	507,60	340	134	1,67	1,66	1,65	1,64	1,63	1,62	1,61	
HE360B	2,40E-03	564,00	360	142	1,85	1,84	1,83	1,82	1,81	1,80	1,79	
HE400B	2,88E-03	676,80	400	155	2,22	2,21	2,20	2,19	2,18	2,17	2,15	
HE450B	3,55E-03	834,25	450	171	2,744221	2,73	2,71	2,70	2,69	2,67	2,66	
HE500B	4,29E-03	1 008,15	500	187	3,32	3,30	3,28	3,26	3,25	3,23	3,21	
HE550B	4,97E-03	1 167,95	550	199	3,85	3,83	3,80	3,78	3,76	3,74	3,72	
HE600B	5,70E-03	1 339,50	600	212	4,41	4,39	4,36	4,34	4,32	4,30	4,27	
HE220M	1,22E-03	286,70	240	117	0,94	0,93	0,93	0,92	0,92	0,91	0,91	
HE240M	1,80E-03	423,00	270	157	1,38	1,38	1,37	1,36	1,35	1,35	1,34	
HE260M	2,16E-03	507,60	290	172	1,66	1,65	1,64	1,64	1,63	1,62	1,61	
HE280M	2,55E-03	599,25	310	189	1,96	1,95	1,94	1,93	1,92	1,91	1,90	
HE300M	3,45E-03	810,75	340	238	2,66	2,65	2,63	2,62	2,60	2,59	2,58	
HE320M	3,80E-03	893,00	359	245	2,93	2,92	2,90	2,88	2,87	2,85	2,84	
HE340M	4,05E-03	951,75	377	248	3,13	3,11	3,09	3,07	3,06	3,04	3,03	
HE360M	4,30E-03	1 010,50	395	250	3,32	3,30	3,28	3,27	3,25	3,23	3,21	
HE400M	4,82E-03	1 132,70	432	256	3,72	3,70	3,68	3,66	3,64	3,62	3,61	
HE450M	5,50E-03	1 292,50	478	263	4,25	4,23	4,21	4,18	4,16	4,14	4,12	
HE500M	6,18E-03	1 452,30	524	270	4,78	4,75	4,73	4,70	4,68	4,65	4,63	
HE550M	6,92E-03	1 626,20	572	278	5,35	5,33	5,30	5,27	5,24	5,21	5,19	
HE600M	7,66E-03	1 800,10	620	285	5,93	5,90	5,87	5,83	5,80	5,77	5,74	

Tabulka B. 5 - Posouzení příčníků na únosnost ve smyku (červené buňky označují průřezy potřebující dodatečné posouzení na interakci mezi smykem a ohybem)

průřez	plocha mm	Tloušťka stojiny mm	Šířka pásnice mm	Smyková únosnost stojiny kN	Smyková únosnost příčnicku při maximálním využití momentové únosnosti pro různé tl. Desky							
					0,25 m	0,275 m	0,3 m	0,325 m	0,35 m	0,375 m	0,4 m	
-	mm	mm	mm	kN								
IPE450	5832,88	9,4	190	791,39	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37
IPE500	6870,4	10,2	200	932,16	0,40	0,40	0,40	0,40	0,41	0,41	0,41	0,41
IPE550	8209,04	11,1	210	1113,78	0,42	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43
IPE600	9520	12	220	1291,65	0,46	0,46	0,46	0,46	0,47	0,47	0,47	0,47
HE320A	5093	9	300	691,00	0,41	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
HE340A	5545,5	9,5	300	752,40	0,43	0,43	0,43	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44
HE360A	6020	10	300	816,78	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,46	0,46	0,46
HE400A	6970	11	300	945,67	0,47	0,47	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48
HE450A	7951	11,5	300	1078,77	0,52	0,52	0,52	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53
HE500A	8986	12	300	1219,20	0,56	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57
HE550A	9972	12,5	300	1352,97	0,59	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
HE600A	11000	13	300	1492,45	0,62	0,62	0,62	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
HE360AA	4972	9	300	674,59	0,39	0,39	0,39	0,39	0,40	0,40	0,40	0,40
HE400AA	5621	9,5	300	762,64	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,43	0,43	0,43
HE450AA	6338	10	300	859,92	0,44	0,44	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
HE500AA	7096	10,5	300	962,77	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,48
HE550AA	8245	11,5	300	1118,66	0,48	0,48	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
HE600AA	9156	12	300	1242,26	0,50	0,50	0,50	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51
HE280B	5126	10,5	280	695,48	0,38	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39
HE300B	5970	11	300	809,99	0,40	0,40	0,40	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41
HE320B	6485,5	11,5	300	879,94	0,42	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43
HE340B	7038	12	300	954,90	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,45
HE360B	7592,5	12,5	300	1030,13	0,45	0,45	0,45	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
HE400B	8640	13,5	300	1172,25	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48
HE450B	9736	14	300	1320,95	0,520	0,52	0,52	0,52	0,53	0,53	0,53	0,53
HE500B	10936	14,5	300	1483,77	0,56	0,56	0,56	0,56	0,57	0,57	0,57	0,57
HE550B	12012	15	300	1629,76	0,59	0,59	0,59	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
HE600B	13170	15,5	300	1786,87	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,63	0,63	0,63
HE220M	5866	15,5	226	795,88	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
HE240M	7928	18	248	1075,65	0,32	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
HE260M	8830	18	268	1198,03	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,36
HE280M	9401	18,5	288	1275,50	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39
HE300M	11980	21	310	1625,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,42	0,42	0,42	0,42
HE320M	12480	21	309	1693,25	0,43	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44
HE340M	12860	21	309	1744,81	0,45	0,45	0,45	0,45	0,46	0,46	0,46	0,46
HE360M	13240	21	308	1796,37	0,46	0,46	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47
HE400M	14020	21	307	1902,20	0,49	0,49	0,49	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
HE450M	14980	21	307	2032,45	0,52	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53
HE500M	15950	21	306	2164,05	0,55	0,55	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
HE550M	16960	21	306	2301,09	0,58	0,58	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59
HE600M	17970	21	305	2438,12	0,61	0,61	0,61	0,61	0,62	0,62	0,62	0,62

Tabulka B. 7 - Posouzení příčníků na průhyb

průřez - m4	ly	Průhyb příčnicku uprostřed rozpětí při maximálním využití momentové únosnosti pro různé tl. Desky						
		0,25 mm	0,275 mm	0,3 mm	0,325 mm	0,35 mm	0,375 mm	0,4 mm
IPE450	3,37E-04	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ
IPE500	4,82E-04	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ
IPE550	6,71E-04	2,87	2,89	2,90	2,92	2,94	2,96	2,98
IPE600	9,21E-04	2,09	2,11	2,12	2,13	2,14	2,16	2,17
HE320A	2,29E-04	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ
HE340A	2,77E-04	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ
HE360A	3,31E-04	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ
HE400A	4,51E-04	4,27	4,30	4,33	4,35	4,38	4,41	4,44
HE450A	6,37E-04	3,03	3,05	3,07	3,09	3,10	3,12	3,14
HE500A	8,70E-04	2,22	2,23	2,25	2,26	2,28	2,29	2,30
HE550A	1,12E-03	1,73	1,74	1,75	1,76	1,77	1,78	1,79
HE600A	1,41E-03	1,37	1,38	1,39	1,40	1,41	1,42	1,42
HE360AA	2,30E-04	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ
HE400AA	3,12E-04	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ
HE450AA	4,19E-04	4,59	4,62	4,65	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ
HE500AA	5,46E-04	3,53	3,55	3,57	3,59	3,61	3,64	3,66
HE550AA	7,29E-04	2,64	2,66	2,68	2,69	2,71	2,73	2,74
HE600AA	9,19E-04	2,10	2,11	2,12	2,14	2,15	2,16	2,18
HE280B	1,93E-04	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ
HE300B	2,52E-04	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ
HE320B	3,08E-04	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ
HE340B	3,67E-04	5,25	5,29	5,32	5,35	5,39	5,42	5,46
HE360B	4,32E-04	4,47	4,49	4,52	4,55	4,58	4,61	4,64
HE400B	5,77E-04	3,35	3,37	3,39	3,41	3,43	3,45	3,48
HE450B	7,99E-04	2,42	2,43	2,45	2,47	2,48	2,50	2,51
HE500B	1,07E-03	1,81	1,82	1,83	1,84	1,85	1,87	1,88
HE550B	1,37E-03	1,41	1,42	1,43	1,44	1,45	1,46	1,47
HE600B	1,71E-03	1,13	1,14	1,15	1,15	1,16	1,17	1,18
HE220M	1,46E-04	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ
HE240M	2,43E-04	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ	NEVYHOVÍ
HE260M	3,13E-04	6,18	6,22	6,25	6,29	6,33	6,37	6,41
HE280M	3,96E-04	4,89	4,92	4,95	4,98	5,01	5,04	5,08
HE300M	5,92E-04	3,28	3,30	3,32	3,34	3,36	3,38	3,41
HE320M	6,81E-04	2,85	2,87	2,89	2,91	2,92	2,94	2,96
HE340M	7,64E-04	2,54	2,56	2,58	2,59	2,61	2,62	2,64
HE360M	8,49E-04	2,29	2,30	2,32	2,33	2,35	2,36	2,38
HE400M	1,04E-03	1,87	1,88	1,89	1,90	1,92	1,93	1,94
HE450M	1,32E-03	1,47	1,48	1,49	1,50	1,51	1,52	1,53
HE500M	1,62E-03	1,20	1,21	1,22	1,22	1,23	1,24	1,25
HE550M	1,98E-03	0,98	0,99	1,00	1,00	1,01	1,01	1,02
HE600M	2,37E-03	0,82	0,83	0,83	0,84	0,84	0,85	0,85

Tabulka B. 8 - Posouzení kolmých hlavních nosníků - ohyb

Posouzení na ohyb

Brzda - rozjezd	Mrd	Únosnot	Podmínka
kN	kNm	-	
259,2	7 821	0,65663	VYHOVÍ
259,2	7 821	0,66215	VYHOVÍ
259,2	7 821	0,66767	VYHOVÍ
259,2	7 821	0,67317	VYHOVÍ
259,2	7 821	0,67867	VYHOVÍ
259,2	7 821	0,68416	VYHOVÍ
259,2	7 821	0,68964	VYHOVÍ

Tabulka B. 9 - Posouzení kolmých hlavních nosníků - smyk

Posouzení smyk

Max smyk	a	h w	k tau	Lambda w s pruhe	chí w	V bw,Rd	Únosnot	Podmínka
kN	mm	mm				kN	-	
1516,265365	2000	1446	7,430916	1,24516735	0,70430958	2 435,266	0,622628	VYHOVÍ
1530,655797	2000	1446	7,430916	1,24516735	0,70430958	2 435,27	0,628537	VYHOVÍ
1545,025519	2000	1446	7,430916	1,24516735	0,70430958	2 435,27	0,634438	VYHOVÍ
1559,374531	2000	1446	7,430916	1,24516735	0,70430958	2 435,27	0,64033	VYHOVÍ
1573,702833	2000	1446	7,430916	1,24516735	0,70430958	2 435,27	0,646214	VYHOVÍ
1588,010424	2000	1446	7,430916	1,24516735	0,70430958	2 435,27	0,652089	VYHOVÍ
1602,297306	2000	1446	7,430916	1,24516735	0,70430958	2 435,27	0,657956	VYHOVÍ

Tabulka B. 10 - Posouzení kolmých hlavních nosníků - interakce mezi smykem a ohybem

Interakce smyk a ohyb

únosnot 1	únosnot 3	Mf,rđ1	Mpl,Rđ	Celková únosn	Podmínka
-	-	kNm	kNm	-	
0,65663	0,6059	6 418	8 779,378	0,668704	VYHOVÍ
0,66215	0,6120	6 418	8 779	0,67565	VYHOVÍ
0,66767	0,6180	6 418	8 779	0,68266	VYHOVÍ
0,67317	0,6241	6 418	8 779	0,68975	VYHOVÍ
0,67867	0,6302	6 418	8 779	0,69690	VYHOVÍ
0,68416	0,6363	6 418	8 779	0,70413	VYHOVÍ
0,68964	0,6423	6 418	8 779	0,71143	VYHOVÍ

Tabulka B. 11 - Posouzení kolmých hlavních nosníků - průhyb

Průhyb

tl desky	Průhyb	Podmínka
mm	mm	
0,25	12,30	VYHOVÍ
0,275	12,43	VYHOVÍ
0,3	12,56	VYHOVÍ
0,325	12,69	VYHOVÍ
0,35	12,82	VYHOVÍ
0,375	12,95	VYHOVÍ
0,4	13,08	VYHOVÍ

Tabulka B. 12 - Posouzení kolmých hlavních nosníků - klopení

Klopení

Dle čsn en 1993-1-1 6.3.2.4

Tl. Desky	Mc,Rd	lz	if,z	lambda 1 s pruhem	podmínka	Splnění podmínky
m	kNm	m ⁴	m	-	-	-
0,25	7 168,9040	0,00056283	0,1826333	0,086337	0,788000	VYHOVÍ
0,275	7 169	0,00056283	0,1826333	8,63E-02	7,81E-01	VYHOVÍ
0,3	7 169	0,00056283	0,1826333	8,63E-02	7,73E-01	VYHOVÍ
0,325	7 169	0,00056283	0,1826333	8,63E-02	7,66E-01	VYHOVÍ
0,35	7 169	0,00056283	0,1826333	8,63E-02	7,59E-01	VYHOVÍ
0,375	7 169	0,00056283	0,1826333	8,63E-02	7,52E-01	VYHOVÍ
0,4	7 169	0,00056283	0,1826333	8,63E-02	7,46E-01	VYHOVÍ

Tabulka B. 13 - Posouzení kolmých hlavních nosníků - celková sumarizace využití kapacit průřezu hlavního nosníku

využití průřezu

ohyb	smyk	Interakce smyk a ohyb	průhyb	klopení
65,7%	60,6%	66,9%	52,2%	11,0%
66,2%	61,2%	67,6%	52,7%	11,1%
66,8%	61,8%	68,3%	53,3%	11,2%
67,3%	62,4%	69,0%	53,8%	11,3%
67,9%	63,0%	69,7%	54,4%	11,4%
68,4%	63,6%	70,4%	54,9%	11,5%
69,0%	64,2%	71,1%	55,5%	11,6%

Tabulka B. 14 - Posouzení ukloněných hlavních nosníků - ohyb

Posouzení na ohyb

Brzda - rozjezd	únosnost brzda	únosnot X	Únosnot Y	celková Únosnot	Podmínka
kN	-	-	-	-	
259,2	0,017537617	0,105621246	0,7165	0,8397	VYHOVÍ
259,2	0,017537617	0,106935614	0,7218	0,8462	VYHOVÍ
259,2	0,017537617	0,108247514	0,7270	0,8528	VYHOVÍ
259,2	0,017537617	0,109556944	0,7322	0,8593	VYHOVÍ
259,2	0,017537617	0,110863906	0,7374	0,8658	VYHOVÍ
259,2	0,017537617	0,112168398	0,7426	0,8723	VYHOVÍ
259,2	0,017537617	0,113470421	0,7477	0,8788	VYHOVÍ

Tabulka B. 15 - Posouzení ukloněných hlavních nosníků - smykové

Posouzení smyk

Max smyk	a	h w	k tau	Lambda w	chí w	V bw,Rd	Únosnost	Podmínka
kN	mm	mm				kN	-	
1397,264	2000	1452	7,4483	1,34494	0,669946	2 159,91	0,646907	VYHOVÍ
1407,843	2000	1452	7,4483	1,34494	0,669946	2 159,91	0,651806	VYHOVÍ
1418,402	2000	1452	7,4483	1,34494	0,669946	2 159,91	0,656694	VYHOVÍ
1428,941	2000	1452	7,4483	1,34494	0,669946	2 159,91	0,661573	VYHOVÍ
1439,458	2000	1452	7,4483	1,34494	0,669946	2 159,91	0,666443	VYHOVÍ
1449,955	2000	1452	7,4483	1,34494	0,669946	2 159,91	0,671303	VYHOVÍ
1460,431	2000	1452	7,4483	1,34494	0,669946	2 159,91	0,676153	VYHOVÍ

Tabulka B. 16 - Posouzení ukloněných hlavních nosníků - interakce mezi smykem a ohybem

Interakce smyk a ohyb

únosnost 1	únosnost 3	Mf,rd1	Mpl,Rd	Celková únosn	Podmínka
-	-	kNm	kNm	-	
0,83968	0,6342	1 677	3628,361	0,878	VYHOVÍ
0,84622	0,6392	1 677	3628,361	0,888	VYHOVÍ
0,85275	0,6442	1 677	3628,361	0,898	VYHOVÍ
0,85927	0,6493	1 677	3628,361	0,907	VYHOVÍ
0,86578	0,6543	1 677	3628,361	0,917	VYHOVÍ
0,87227	0,6593	1 677	3628,361	0,927	VYHOVÍ
0,87875	0,6643	1 677	3628,361	0,937	VYHOVÍ

Tabulka B. 17 - Posouzení ukloněných hlavních nosníků - průhyb

Průhyb

tl desky mm	Průhyb X mm	Průhyb Z mm	Celkový průhyb d mm	Podmínka
0,25	10,24	21,61	17,89	VYHOVÍ
0,275	10,34	21,80	18,05	VYHOVÍ
0,3	10,43	21,99	18,21	VYHOVÍ
0,325	10,52	22,18	18,37	VYHOVÍ
0,35	10,61	22,37	18,53	VYHOVÍ
0,375	10,70	22,56	18,69	VYHOVÍ
0,4	10,79	22,76	18,85	VYHOVÍ

Tabulka B. 18 - Posouzení ukloněných hlavních nosníků - celková sumarizace využití kapacit průřezu hlavního nosníku

Tl. Desky (m)	Ohyb x	Smyk	Interakce smyk a ohyb	Průhyb	Klopení
0,25	84,0%	63,4%	87,8%	75,9%	VYHOVÍ
0,275	84,6%	63,9%	88,8%	76,5%	VYHOVÍ
0,3	85,3%	64,4%	89,8%	77,2%	VYHOVÍ
0,325	85,9%	64,9%	90,7%	77,9%	VYHOVÍ
0,35	86,6%	65,4%	91,7%	78,6%	VYHOVÍ
0,375	87,2%	65,9%	92,7%	79,2%	VYHOVÍ
0,4	87,9%	66,4%	93,7%	79,9%	VYHOVÍ

Tabulka B. 21 - Využití únosnosti a maximálního možného průhybu pro hodnoty vypočtené v programu SCIA Engineer

Schéma	Úklon	Vzdálenost příčníků	S235			S275			S355		
			Max ohyb	max smyk	průhyb	Max ohyb	max smyk	průhyb	Max ohyb	max smyk	průhyb
-	°	m									
0	0	1,5	97,29%	54,22%	44,00%	97,27%	52,45%	48,93%	97,64%	47,07%	59,17%
0	15	1,5	97,04%	54,84%	46,27%	95,14%	50,26%	50,45%	97,90%	49,06%	61,45%
0	30	1,5	97,92%	58,46%	51,58%	99,19%	57,74%	57,65%	98,03%	53,45%	67,89%
0	45	1,5	98,21%	66,86%	62,20%	98,40%	67,42%	69,41%	98,22%	58,55%	79,65%
15	15	1,5	99,19%	56,78%	45,89%	97,98%	52,38%	50,45%	98,48%	51,99%	61,07%
15	30	1,5	98,46%	57,05%	50,07%	99,03%	60,77%	56,89%	98,71%	57,14%	67,51%
15	45	1,5	99,49%	65,54%	60,31%	97,65%	60,99%	65,62%	98,09%	52,63%	75,10%
30	30	1,5	98,46%	55,37%	48,17%	97,39%	54,57%	53,48%	97,51%	50,53%	63,34%
30	45	1,5	97,97%	59,70%	56,51%	99,11%	59,56%	63,34%	98,77%	55,91%	74,34%
45	45	1,5	99,14%	65,98%	56,14%	98,19%	61,98%	61,45%	98,45%	59,43%	73,20%
0	0	2	98,17%	50,59%	42,48%	97,60%	48,98%	47,03%	98,71%	43,79%	56,51%
0	15	2	98,61%	52,89%	44,76%	99,23%	48,30%	49,31%	97,96%	43,27%	57,65%
0	30	2	98,95%	52,89%	48,55%	97,31%	48,30%	52,72%	99,52%	50,76%	64,10%
0	45	2	98,80%	59,70%	57,65%	98,69%	55,10%	62,58%	97,64%	55,21%	73,96%
15	15	2	99,98%	48,38%	43,24%	99,49%	50,34%	48,17%	99,81%	45,96%	57,27%
15	30	2	99,68%	51,74%	47,03%	97,65%	50,41%	51,58%	97,77%	49,65%	61,45%
15	45	2	97,63%	54,92%	54,24%	96,81%	53,89%	59,93%	96,92%	49,59%	69,79%
30	30	2	99,88%	49,97%	45,14%	98,40%	49,13%	49,69%	99,48%	48,36%	59,93%
30	45	2	97,19%	57,05%	52,72%	97,77%	52,68%	57,65%	98,87%	48,48%	67,51%
45	45	2	98,85%	59,17%	51,20%	96,85%	54,87%	55,38%	99,48%	51,35%	66,00%