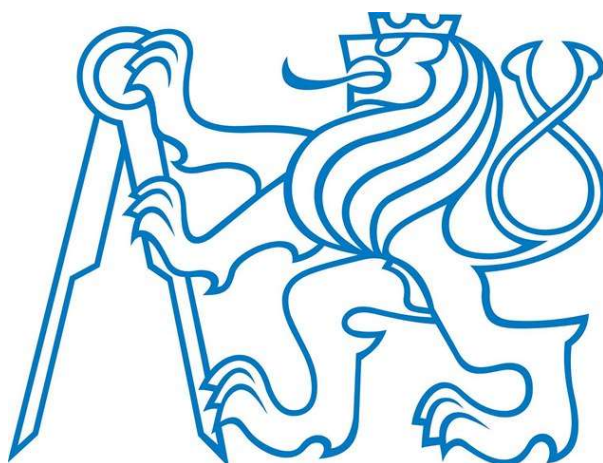


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí



Bakalářská práce

Miroslav ČÁP

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Dřevěná lávka v Praze - Uhříněvsi

Vedoucí bakalářské práce:

Doc. Dr. Ing. Jakub Dolejš

Autor bakalářské práce:

Miroslav Čáp

Studijní obor:

Konstrukce a dopravní stavby

Forma studia:

prezenční

Bakalářská práce dokončena:

květen 2018



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

| | | |
|------------------------|-----------------|----------------------|
| Příjmení: Čáp | Jméno: Miroslav | Osobní číslo: 438032 |
| Zadávací katedra: K134 | | |
| Studijní program: SI | | |
| Studijní obor: K | | |

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Dřevěná lávka v Praze - Uhřetěvesi

Název bakalářské práce anglicky: Timber Footbridge in Praha - Uhřetěves

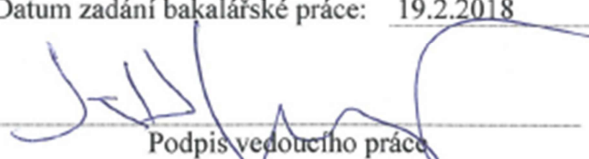
Pokyny pro vypracování:
předány osobně

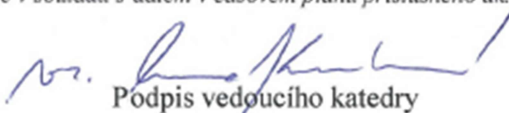
Seznam doporučené literatury:
předán osobně

Jméno vedoucího bakalářské práce: J. Dolejš

Datum zadání bakalářské práce: 19.2.2018

Termín odevzdání bakalářské práce: 27.5.2018
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

 Podpis vedoucího práce


 Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

19.2.2018

Datum převzetí zadání

 Podpis studenta(ky)

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ:

Prohlašuji, že jsem předloženou bakalářskou práci *Dřevěná lávka v Praze – Uhřetěvesi* vypracoval samostatně pod odborným vedením Doc. Dr. Ing. Jakuba Dolejše.

Miroslav Čáp

Praha, květen 2018

PODĚKOVÁNÍ:

Na tomto místě bych chtěl poděkovat Doc. Dr. Ing. Jakubu Dolejšovi za odborné vedení mé práce a trpělivý přístup při řešení problémů.

ANOTACE:

Předmětem bakalářské práce byl návrh a posouzení nové dřevěné lávky pro pěší a cyklisty na místě stávající lávky sloužící pouze pro pěší dopravu. Nový návrh byl inspirován prohlídkou stávající konstrukce, která však není přizpůsobena k provozu cyklistické dopravy. Veškeré výpočty byly provedeny v programu SCIA Engineer.

ANOTATION:

The major point of this bachelor work was design of new timber footbridge suitable for cycling and pedestrian traffic instead current old footbridge serving only pedestrians. New construction was inspired by actual structure, which is not convenient for cycling. All calculations were executed in SCIA Engineer software.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Lávka pro pěší a cyklisty, výpočet, dřevěná konstrukce

KEYWORDS:

Footbridge for cycling and pedestrian traffic, calculation, timber structure

PRŮVODNÍ A TECHNICKÁ ZPRÁVA



PRŮVODNÍ ČÁST:

Cílem této práce bylo navrhnout v zadaném území alternativní řešení pro překlenutí vodní plochy na rozpětí 24,5m místo stávající dřevěné lávky, která umožňuje pouze pěší dopravu.

Nový návrh umožňuje napojení cyklostezky na dopravně významnou komunikaci. Dále zajišťuje pěší a cyklistickou dopravu, případně i přejezd servisního vozidla o celkové hmotnosti 3 tuny.

Velký důraz byl kladen na architektonické a materiálové řešení, bylo vyžadováno použití přírodních a snadno recyklovatelných materiálů. Prioritou bylo zachování zažitého dosavadního vztahu stavby k okolnímu rázu krajiny.

TECHNICKÁ ČÁST:

Technické parametry:

Navržený projekt lávky působí ze statického hlediska jako prostý nosník se zakřivenou střednicí, která má tvar kružnice o poloměru 29,15m. Rozpětí pole je 24,5m, délka nosné konstrukce je 25,8m, celková délka lávky je 34,1m.

Hlavním nosným prvkem jsou 2 nosníky z lepeného lamelového dřeva, které jsou uloženy na elastomerových kotvených ložiskách. Do těchto nosníků jsou spolu se zábradlím přišroubovány příčníky, na kterých spočívají podélníky a fošny.

Osová vzdálenost nosníků je 3,2m, volný vnitřní prostor mezi nosníky je 3,0m, mezi madly 3,1m. Výška madel zábradlí je 1,3m od pochozí části mostovky.

Pro návrh byl použit klasický typ mostovky, tj. příčníky, podélníky, deska. Z hlediska umístění se jedná o mezilehlou mostovku.

Po celé délce konstrukce je provedeno vodorovné ztužení příčníků pomocí ocelových tyčí, zajišťující geometrii stavby a přenos vodorovných sil od zatížení větrem, rozjezdovými a brzdovými silami od cyklistů případně i od přejezdu mimořádného vozidla.

Postup montáže lávky:

V první fázi bude nejprve nutné odstranit původní objekt. Ke snesení lávky bude nutné použít těžkou techniku s výsuvným a otočným ramenem.

Lávka bude osově uchycena na hák ramene těžké techniky pomocí popruh a řetězů aspoň na 2 místech min. 2m od sebe vzdálených, tak aby byla zajištěna celková stabilita objektu při zvedání.

Objekt bude opatrně za stálého odborného dozoru nadzdvížen, tak aby nedošlo k poškození spodní stavby a okolních objektů. Poté bude přemístěn na připravený podvalník a odvezen k dalšímu využití nebo případné likvidaci.



V druhé fázi bude upravena spodní stavba pro novou lávku. Bude nutné upravit rozměry spodní stavby dle parametrů ve výkresové části, tj. rozšíření základu a opěry. Tato úprava bude provedena pomocí injektáže ocelových kotvicích prvků a trnů do původní části.

Dále bude nutné odstranit původní plech a ocelová ložiska. Úložný práh bude ponechán a rozšířen. Ve stanovených pozicích budou provedeny betonové kotevní bloky jako podklad pro nová elastomerová ložiska.

Veškeré úpravy spodní stavby a stavební procesy budou po celou dobu geodeticky zaměřovány, aby bylo zajištěna správnost veškerých úprav.

V třetí fázi bude osazena nová lávka. Tato lávka byla kompletně smontována ve výrobní hale a následně naložena na podvalník a převezena na místo určení. Objekt bude pomocí těžké techniky a pomocí lan nadzdvížena za montážní úchyty. Poté bude osazen na ložiska a zajištěn kotevními šrouby.

Následně bude vše zaměřeno, zda je vše ve správné poloze. Nakonec budou provedeny závěrečné zatěžovací zkoušky a kontrola provedení veškerých detailů.

STATICKÝ VÝPOČET



Obsah:

| | |
|---|-----------|
| 1. POPIS OBJEKTU | 19 |
| 1.1 IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE: | 19 |
| 1.2 ZÁKLADNÍ ÚDAJE O LÁVCE: | 19 |
| 2. NÁVRH HLAVNÍCH NOSNÝCH PRVKŮ | 20 |
| 3. ZATÍŽENÍ | 22 |
| 3.1 STÁLÉ ZATÍŽENÍ | 22 |
| 3.2 PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ | 23 |
| 3.2.1 <i>Modely zatížení lávek: (ČSN EN 1991-2)</i> | 23 |
| 4. POSOUZENÍ HLAVNÍCH NOSNÝCH PRVKŮ V MSÚ | 25 |
| 4.1 FOŠNA | 25 |
| 4.1.1 <i>Stálé zatížení</i> | 27 |
| 4.1.2 <i>Proměnné zatížení</i> | 27 |
| 4.1.3 <i>Výsledné vnitřní síly - obálka</i> | 30 |
| 4.1.4 <i>Posouzení</i> | 33 |
| 4.2 PODÉLNÍK: | 35 |
| 4.2.1 <i>Stálé zatížení</i> | 35 |
| 4.2.2 <i>Proměnné zatížení</i> | 36 |
| 4.2.3 <i>Výsledné vnitřní síly - obálka</i> | 38 |
| 4.2.4 <i>Posouzení</i> | 41 |
| 4.3 PŘÍČNÍK: | 43 |
| 4.3.1 <i>Stálé zatížení</i> | 44 |
| 4.3.2 <i>Proměnné zatížení</i> | 45 |
| 4.3.3 <i>Výsledné vnitřní síly – obálka</i> | 48 |
| 4.3.4 <i>Posouzení</i> | 52 |
| 4.4 HLAVNÍ NOSNÍK: | 54 |
| 4.4.1 <i>Stálé zatížení</i> | 54 |
| 4.4.2 <i>Proměnné zatížení</i> | 55 |
| 4.4.3 <i>Výsledné vnitřní síly – obálka</i> | 58 |
| 4.4.4 <i>Posouzení</i> | 61 |
| 5. POSOUZENÍ HLAVNÍCH NOSNÝCH PRVKŮ V MSP | 64 |
| 5.1 PRŮHYB | 64 |
| 5.1.1 <i>Posouzení</i> | 64 |
| 5.2 KMITÁNÍ | 64 |
| 5.2.1 <i>Vlastní frekvence</i> | 65 |
| 5.2.2 <i>Vlastní tvary</i> | 65 |
| 5.2.3 <i>Posouzení</i> | 66 |



| | |
|---|-----------|
| 6. LOŽISKA..... | 67 |
| 6.1 SILOVÉ ÚČINKY | 67 |
| 6.1.1 <i>Svislé zatížení</i> | 67 |
| 6.1.2 <i>Vodorovné zatížení</i> | 67 |
| 6.2 PRODLOUŽENÍ KONSTRUKCE | 67 |
| 6.3 NÁVRH | 67 |
| 6.4 USPOŘÁDÁNÍ LOŽISEK..... | 68 |
| 7. NÁVRH A POSOUZENÍ PŘÍPOJE..... | 69 |
| 7.1 NÁVRH..... | 69 |
| 7.1.1 <i>Únosnost spoje kolíkového typu</i> | 69 |
| 7.2 POSOUZENÍ..... | 71 |
| 8. ZÁVĚR..... | 72 |



Seznam obrázků:

| | |
|---|----|
| Obr. 1: Příčný řez hlavním nosníkem..... | 20 |
| Obr. 2: Příčný řez příčnickem | 20 |
| Obr. 3: Příčný řez podélníkem | 21 |
| Obr. 4: Příčný řez fošnou | 21 |
| Obr. 5: Půdorysné uspořádání modelu obslužného vozidla | 24 |
| Obr. 6: Model fošny | 25 |
| Obr. 7: Příčinkové čáry pro max M..... | 26 |
| Obr. 8: Příčinkové čáry pro max V | 26 |
| Obr. 9: Liniové zatížení od vlastní tíhy..... | 27 |
| Obr. 10: Rozhodující rozmístění zatížení pro chodce a cyklisty..... | 27 |
| Obr. 11: Doplnující zatěžovací stavy | 28 |
| Obr. 12: Vybrané zatěžovací stavy od soustředěného zatížení 10 kN | 28 |
| Obr. 13: Zatížení od nápravy vozidla, $Q_{SV1} = 20$ kN..... | 29 |
| Obr. 14: Průběh momentů od zatížení chodce a cyklisty..... | 30 |
| Obr. 15: Průběh posouvajících sil od zatížení chodce a cyklisty..... | 30 |
| Obr. 16: Průběh momentů od soustředěného zatížení..... | 31 |
| Obr. 17: Průběh posouvajících sil od soustředěného zatížení..... | 31 |
| Obr. 18: Průběh momentů od nápravy obslužného vozidla | 32 |
| Obr. 19: Průběh posouvajících sil od nápravy obslužného vozidla | 32 |
| Obr. 20: Schéma a statický model podélníku..... | 35 |
| Obr. 21: Zatížení od fošen a vlastní tíhy podélníku | 36 |
| Obr. 22: Plné zatížení podélníku | 36 |
| Obr. 23: Další uvažované zatěžovací stavy podélníku..... | 37 |
| Obr. 24: Vybrané zatěžovací stavy podélníku | 37 |
| Obr. 25: Průběh momentů od zatížení chodce a cyklisty – prostřední podélník | 38 |
| Obr. 26: Průběh posouvajících sil od zatížení chodce a cyklisty – prostřední podélník | 38 |
| Obr. 27: Průběh momentů od zatížení chodce a cyklisty – krajní podélník | 39 |
| Obr. 28: Průběh posouvajících sil od zatížení chodce a cyklisty – krajní podélník | 39 |
| Obr. 29: Průběh momentů od soustředěného zatížení 10kN..... | 40 |
| Obr. 30: Průběh posouvajících sil od soustředěného zatížení 10kN..... | 40 |
| Obr. 31: Příčný řez mostovkou a statické schéma | 43 |
| Obr. 32: Zatížení od tíhy fošen a podélníku..... | 45 |
| Obr. 33: Plné zatížení chodce a cyklisty | 45 |
| Obr. 34: Vybrané zatěžovací stavy od soustředěného zatížení | 46 |
| Obr. 35: Kriterium max max M pro příčník..... | 47 |
| Obr. 36: Zatížení od nápravy, $Q_{SV1} = 20$ kN | 47 |
| Obr. 37: Průběh momentů od zatížení chodce a cyklisty – prostřední příčník | 48 |
| Obr. 38: Průběh posouvajících sil od zatížení chodce a cyklisty – prostřední příčník | 48 |
| Obr. 39: Průběh momentů od zatížení chodce a cyklisty – krajní příčník | 49 |
| Obr. 40: Průběh posouvajících sil od zatížení chodce a cyklisty – krajní příčník | 49 |
| Obr. 41: Průběh momentů od soustředěného zatížení 10kN..... | 50 |
| Obr. 42: Průběh posouvajících sil od soustředěného zatížení 10kN..... | 50 |



| | |
|--|----|
| Obr. 43: Průběh momentů od nápravy obslužného vozidla | 51 |
| Obr. 44: Průběh posouvajících sil od nápravy obslužného vozidla | 51 |
| Obr. 45: Statické schéma hlavního nosníku | 54 |
| Obr. 46: Charakter zatížení $(G+Q)_d$ | 56 |
| Obr. 47: Zatěžující stavy od soustředěného zatížení 10kN | 56 |
| Obr. 48: Poloha dvounápravy pro max max M..... | 57 |
| Obr. 49: Zatěžovací stavy od náprav obslužného vozidla..... | 57 |
| Obr. 50: Průběh momentů od zatížení chodci a cyklisty..... | 58 |
| Obr. 51: Průběh posouvajících sil od zatížení chodci a cyklisty..... | 58 |
| Obr. 52: Průběh momentů od soustředěného zatížení 10kN | 59 |
| Obr. 53: Průběh posouvajících sil od soustředěného zatížení 10kN | 59 |
| Obr. 54: Průběh momentů od dvounápravy obslužného vozidla | 60 |
| Obr. 55: Průběh posouvajících sil od dvounápravy obslužného vozidla | 60 |
| Obr. 56: Průhyb od charakteristického rovnoměrného zatížení chodci a cyklisty..... | 64 |
| Obr. 57: Vlastní tvar č.1 - 4,10 [Hz] | 65 |
| Obr. 58: Vlastní tvar č.2 - 14,72 [Hz] | 65 |
| Obr. 59: Vlastní tvar č.3 – 30,16 [Hz]..... | 66 |
| Obr. 60: Vlastní tvar č.4 – 37,90 [Hz]..... | 66 |
| Obr. 61: Vlastní tvar č.5 – 47,159 [Hz]..... | 66 |
| Obr. 62: Schéma uspořádání ložisek | 68 |
| Obr. 63: Přípoj příčnicku k hlavnímu nosníku..... | 69 |





1. POPIS OBJEKTU

1.1 Identifikační údaje:

| | |
|---------------------|--|
| Název stavby: | Dřevěná lávka přes rybník Nadýmač I pro pěší a cyklisty |
| Místo stavby: | Praha 22 - Uhřetěves, propojení ulic U Nadýmače a Za Nadýmačem |
| Cíl: | Projekt nové dřevěné lávky umožňující dopravu cyklistů a pěší |
| Investor: | Městská část Praha 22 |
| Zpracovatel PD: | Čáp Miroslav |
| Vedoucí projektu: | Doc. Dr. Ing. Jakub Dolejš |
| Stupeň dokumentace: | DSP |

1.2 Základní údaje o lávce:

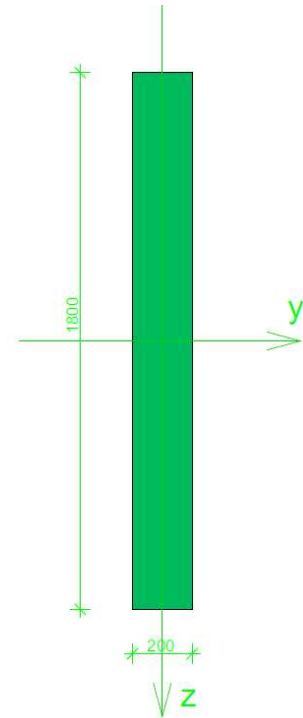
| | |
|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Volná šířka mezi madly zábradlí: | 3,1 m |
| Šířka mezi hl. nosníky: | 3,0 m |
| Křížení s překážkou: | 75 ° |
| Délka lávky: | 25,8 m |
| Délka NK: | 34,1 m |
| Šířka NK: | 3,4 m |
| Typ NK: | oblouk s mezilehlou mostovkou |
| Rozpětí mostu: | 24,5 m |
| Rozpětí oblouku: | 24,5 m |
| Vzepětí oblouku: | 1,8 m |
| Uložení na opěrách: | kolmé (90°) |
| Založení spodní stavby: | hlubinné |
| Přejezd vozidel záchranné služby: | povolený (do 3 t; max 2 t na nápravu) |



2. NÁVRH HLAVNÍCH NOSNÝCH PRVKŮ

Hlavní nosník:

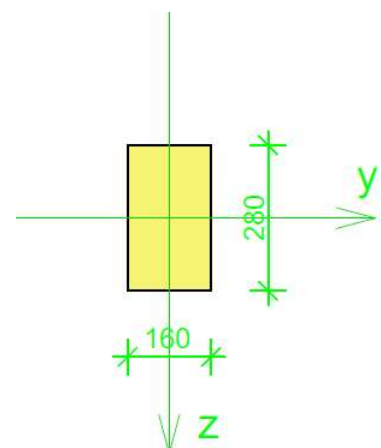
- materiál: lepené lamelové dřevo GL28h
- charakteristické vlastnosti:
 - $k_{mod} = 0,7$ (třída provozu 3, krátkodobé zatížení)
 - $k_{def} = 2,0$ (třída provozu 3, krátkodobé zatížení)
 - $\gamma_M = 1,25$ (lepené lamelové dřevo)
 - $f_{m,k} = 28$ MPa
 - $f_{t,0,k} = 16,5$ MPa
 - $f_{t,90,k} = 0,40$ MPa
 - $f_{c,0,k} = 24$ MPa
 - $f_{c,90,k} = 2,7$ MPa
 - $f_{v,k} = 2,7$ MPa
 - $E_{0,mean} = 12\ 600$ MPa
 - $E_{0,05} = 10\ 200$ MPa
 - $E_{90,mean} = 390$ MPa
 - $G_{mean} = 720$ MPa
 - $\rho_k = 380$ kg/m³



Obr. 1: Příčný řez hlavním nosníkem

Příčník:

- materiál: lepené lamelové dřevo GL24h
- charakteristické vlastnosti:
 - $k_{mod} = 0,7$ (třída provozu 3, krátkodobé zatížení)
 - $k_{def} = 2,0$ (třída provozu 3, krátkodobé zatížení)
 - $\gamma_M = 1,25$ (lepené lamelové dřevo)
 - $f_{m,k} = 24$ MPa
 - $f_{t,0,k} = 14$ MPa
 - $f_{t,90,k} = 0,35$ MPa
 - $f_{c,0,k} = 21$ MPa
 - $f_{c,90,k} = 2,4$ MPa
 - $f_{v,k} = 2,2$ MPa
 - $E_{0,mean} = 11\ 600$ MPa
 - $E_{0,05} = 9\ 400$ MPa
 - $E_{90,mean} = 320$ MPa
 - $G_{mean} = 590$ MPa
 - $\rho_k = 380$ kg/m³

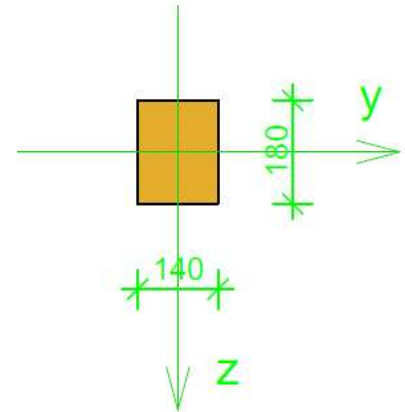


Obr. 2: Příčný řez příčníkem



Podélník:

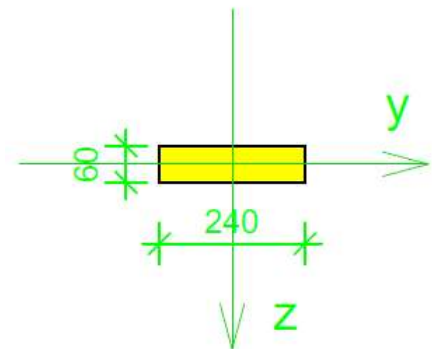
- materiál: jehličnaté dřevo C24
- charakteristické vlastnosti:
 - $k_{mod} = 0,7$ (třída provozu 3, krátkodobé zatížení)
 - $k_{def} = 2,0$ (třída provozu 3, krátkodobé zatížení)
 - $\gamma_M = 1,3$ (rostoucí dřevo)
 - $f_{m,k} = 24$ MPa
 - $f_{t,0,k} = 14$ MPa
 - $f_{t,90,k} = 0,40$ MPa
 - $f_{c,0,k} = 21$ MPa
 - $f_{c,90,k} = 2,5$ MPa
 - $f_{v,k} = 4,0$ MPa
 - $E_{0,mean} = 11\ 000$ MPa
 - $E_{0,05} = 7\ 400$ MPa
 - $E_{90,mean} = 370$ MPa
 - $G_{mean} = 690$ MPa
 - $\rho_k = 500$ kg/m³



Obr. 3: Příčný řez podélníkem

Fošna:

- materiál: listnaté dřevo D30
- charakteristické vlastnosti:
 - $k_{mod} = 0,7$ (třída provozu 3, krátkodobé zatížení)
 - $k_{def} = 2,0$ (třída provozu 3, krátkodobé zatížení)
 - $\gamma_M = 1,3$ (rostoucí dřevo)
 - $f_{m,k} = 30$ MPa
 - $f_{t,0,k} = 18$ MPa
 - $f_{t,90,k} = 0,60$ MPa
 - $f_{c,0,k} = 23$ MPa
 - $f_{c,90,k} = 8,0$ MPa
 - $f_{v,k} = 4,0$ MPa
 - $E_{0,mean} = 11\ 000$ MPa
 - $E_{0,05} = 9\ 200$ MPa
 - $E_{90,mean} = 730$ MPa
 - $G_{mean} = 690$ MPa
 - $\rho_k = 700$ kg/m³



Obr. 4: Příčný řez fošnou



3. ZATÍŽENÍ

3.1 Stálé zatížení

- vlastní tíha nosné konstrukce – odhad zatížení

| prvek [-] | výpočet [výpočet s $g = 10 \text{ m/s}^2$] | součinitel γ_f [-] | zatížení [kN/m] |
|---|--|------------------------------|--------------------------------|
| fošna 240 x 60 x 3000 mm | $\rho_f = 700 \text{ kg/m}^3$ $700 \cdot 10 \cdot 0,06 \cdot 3 = 1\,260 \text{ N}$ | | 1,26 |
| podélník 140 x 180 x 1750 mm | $\rho_p = 500 \text{ kg/m}^3, n = 5 \text{ ks}$ $500 \cdot 10 \cdot 0,14 \cdot 0,18 \cdot 5 = 630 \text{ N}$ | | 0,63 |
| příčník 160 x 280 x 3000 mm | $\rho_p = 500 \text{ kg/m}^3$ $500 \cdot 10 \cdot 0,16 \cdot 3 \cdot 0,28/2,7 =$ 423 N | | 0,42 |
| hlavní nosník 200 x 1800 x 26 000 mm | $\rho_p = 500 \text{ kg/m}^3, n = 2 \text{ ks}$ $500 \cdot 10 \cdot 0,2 \cdot 1,8 \cdot 2 = 6\,120 \text{ N}$ | | 6,12 |
| | charakteristické zatížení $g_{o,k} =$ návrhové zatížení $g_{o,d} =$ | 1,35 | 8,75 kN/m 11,82 kN/m |

Tab.1.: Odhad vlastní tíhy konstrukce

- zábradlí a ostatní zatížení uvažované charakteristickou hodnotou 1 kN/m
- lávka bude navržena na běžnou hladinu nádrže, zvýšená hladina při povodních nebude ve výpočtu uvažována



3.2 Proměnné zatížení

- zatížení teplotou nebude ve výpočtu uvažováno
- zatížení větrem

$$v_b = v_{b0} = 25 \text{ m/s} \text{ (základní rychlost větru - oblast II)}$$

$$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3 \text{ (měrná hmotnost vzduchu)}$$

$$q_b = \frac{1}{2} \rho \cdot v_b^2 = \frac{1}{2} 1,25 \cdot 25^2 = 390,6 \text{ N/m}^2 \text{ (základní tlak větru)}$$

$$z_e = 4,5 \text{ m} \text{ (referenční výška lávky nad terémem)}$$

$$c_e(z) = 1,25 \text{ (součinitel expozice pro kategorii terénu III a } z_e = 4,5\text{m)}$$

$$f_w = c_e(z) \cdot q_b = 1,25 \cdot 390,6 = 488,3 \text{ N/m}^2 \text{ (tlak větru ve výšce } z)$$

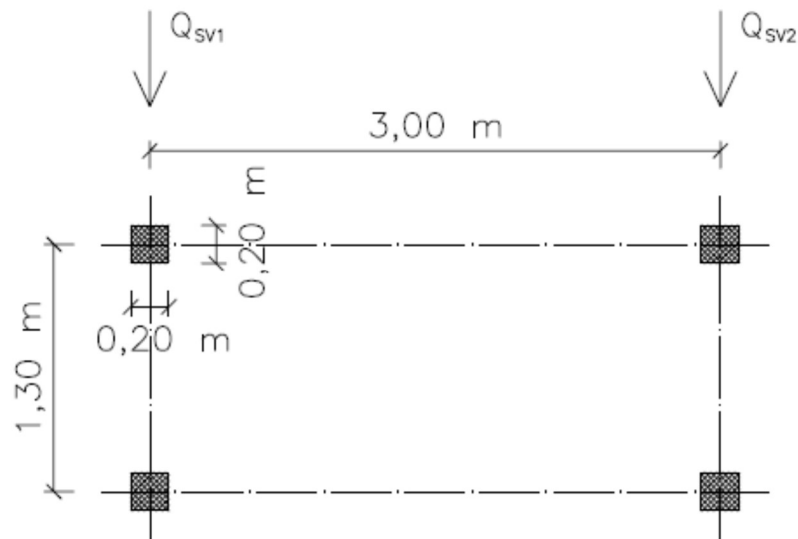
3.2.1 Modely zatížení lávek: (ČSN EN 1991-2)

- Rovnoměrné zatížení – uvažované hodnotou $q_{fk} = 5 \text{ kN/m}^2$, redukce pro zatěžující délku $L > 10\text{m}$ dle vzorce:

$$q_{fk} = 2 + \frac{120}{L + 30} \text{ kN/m}^2; 2,5 < q_{fk} < 5 \text{ kN/m}^2$$

- po dohodě s vedoucím práce bude ve výpočtu uvažováno plné zatížení bez redukce, tj. 5 kN/m^2

- Soustředěné zatížení – uvažované hodnotou $Q_{fwk} = 10 \text{ kN}$, působící na ploše se stranou čtverce $0,1 \text{ m}$
- Mimořádné zatížení přejezdem obslužného vozidla – znázorněné na Obr. 5
- po dohodě s vedoucím práce bude ve výpočtu uvažováno obslužné vozidlo nižší hmotnosti



Obr. 5: Půdorysné uspořádání modelu obslužného vozidla

$$Q_{sv1} = 20 \text{ kN}$$

$$Q_{sv2} = 10 \text{ kN}$$

- Vodorovné zatížení – ve výpočtu bude uvažena charakteristická hodnota pro návrh a posouzení ložisek, která je vyšší z níže vypočtených hodnot

- 10% z celkového zatížení odpovídající rovnoměrnému zatížení

$$Q_{v,k} = 10\% \cdot q_{fk} \cdot L \cdot b = 0,1 \cdot 5 \cdot 26 \cdot 3 = 39 \text{ kN}$$

- 60% z celkové tíhy vozidla

$$Q_{v,k} = 60\% \cdot (Q_{sv1} + Q_{sv2}) = 0,6 \cdot (20 + 10) = 18 \text{ kN}$$

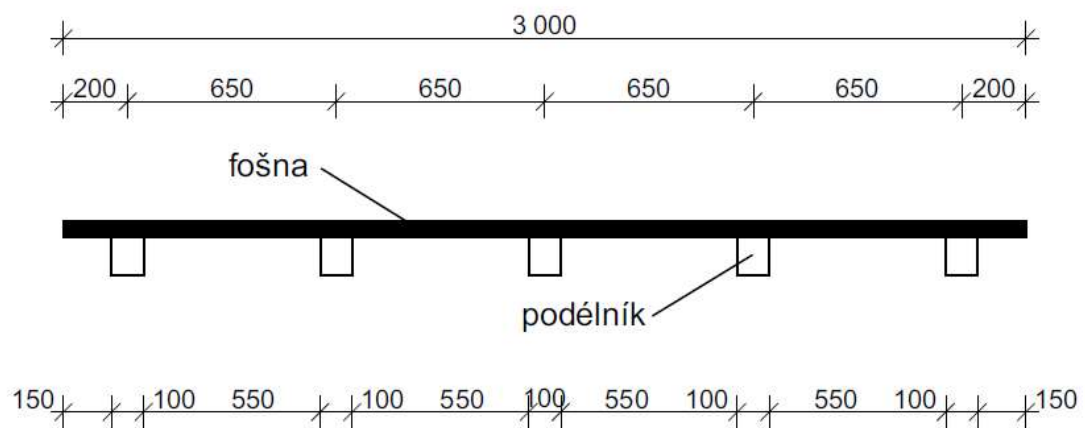


4. POSOUZENÍ HLAVNÍCH NOSNÝCH PRVKŮ V MSÚ

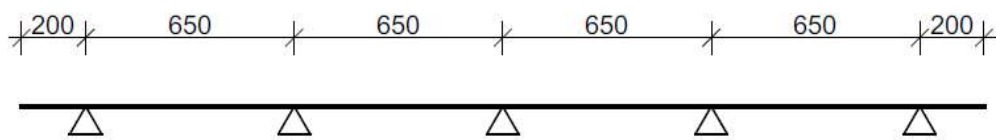
4.1 Fošna

- fošna je navržena z dubového dřeva třídy D30 o rozměrech 240 x 60 x 3000mm, na pochozí části fošny je provedeno drážkování zvyšující drsnost povrchu proti pádu uklouznutím, zlepšení protismykových vlastností
- pro posouzení fošny bude uvažován následující statický model dle Obr. 6, který jsme zjednodušili uvážením kloubových podpor do os podélníků
- v tomto výpočtu klouby uvažujeme jako nekonečně tuhé podepření, skutečnost by byla ovšem jiná a museli bychom zavést pružné podepření, což by vedlo ke složitějšímu řešení metodou pružin, v rámci cíle a rozsahu této práce se spokojíme s tuhými podporami

Řez fošnou a podélníky



Statický model uvažovaný pro výpočet

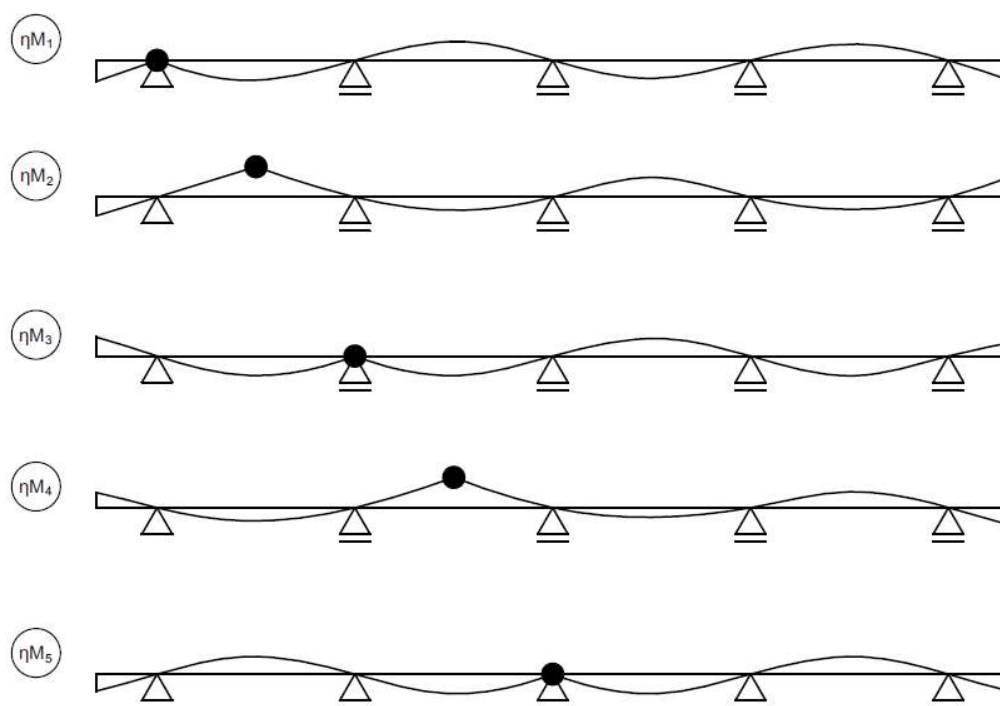


Obr. 6: Model fošny

- maximální silové účinky od proměnného zatížení na konstrukci byly hledány pomocí příčinkových čar, viz další strana Obr. 7 a Obr. 8

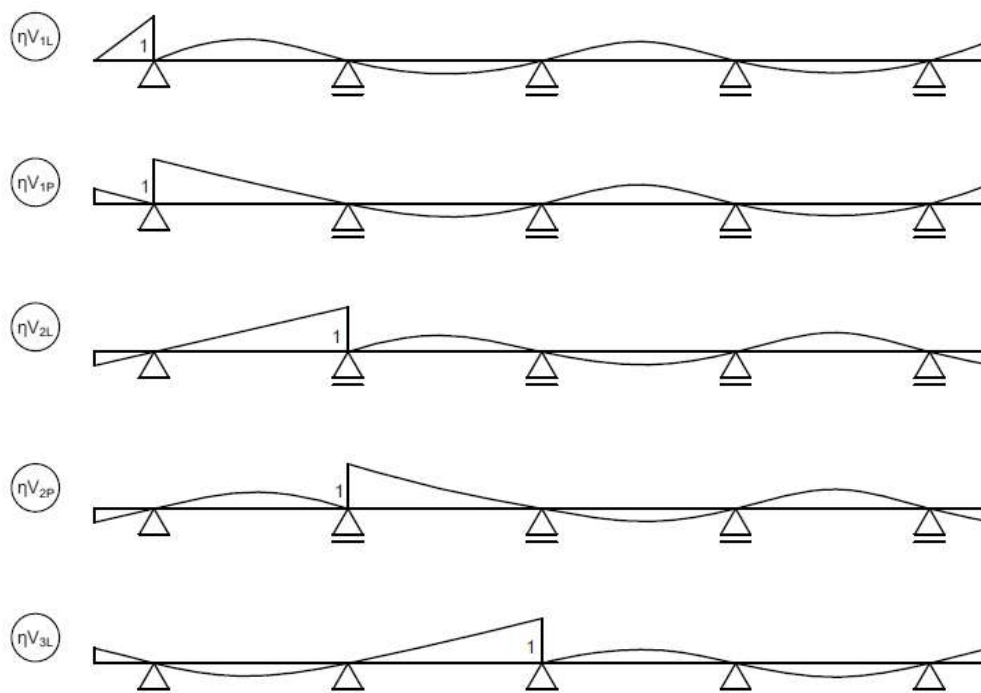


max M - příčinkové čary



Obr. 7: Příčinkové čary pro max M

max V - příčinkové čary



Obr. 8: Příčinkové čary pro max V



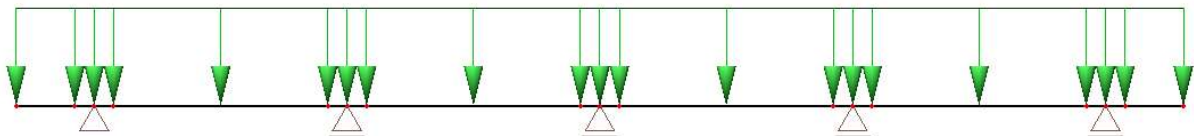
- pomocí těchto čar jsme zjistili, že vyvození největšího momentového účinku dosáhneme při rozmístění zatížení dle příčinkové čáry ηM_3
- všimněme si, že pro maximální posouvající sílu vychází stejné rozmístění zatížení jako pro momentový účinek, tedy příčinková čára ηV_{2L} , respektive ηV_{2P}

4.1.1 Stálé zatížení

- vlastní tíha fošen bude ve výpočtu generována softwarem SCIA Engineer
- výpočet liniového zatížení od vlastní tíhy na 1m šířky

$$g_{foš,lin,k} = \rho \cdot g \cdot h \cdot b = 700 \cdot 10 \cdot 0,06 \cdot 1 = 0,42 \text{ kN/m}$$

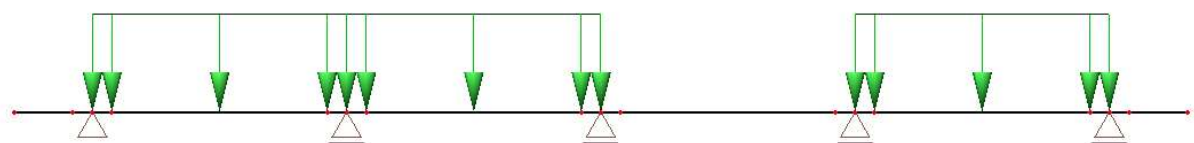
- charakter působícího zatížení



Obr. 9: Liniové zatížení od vlastní tíhy

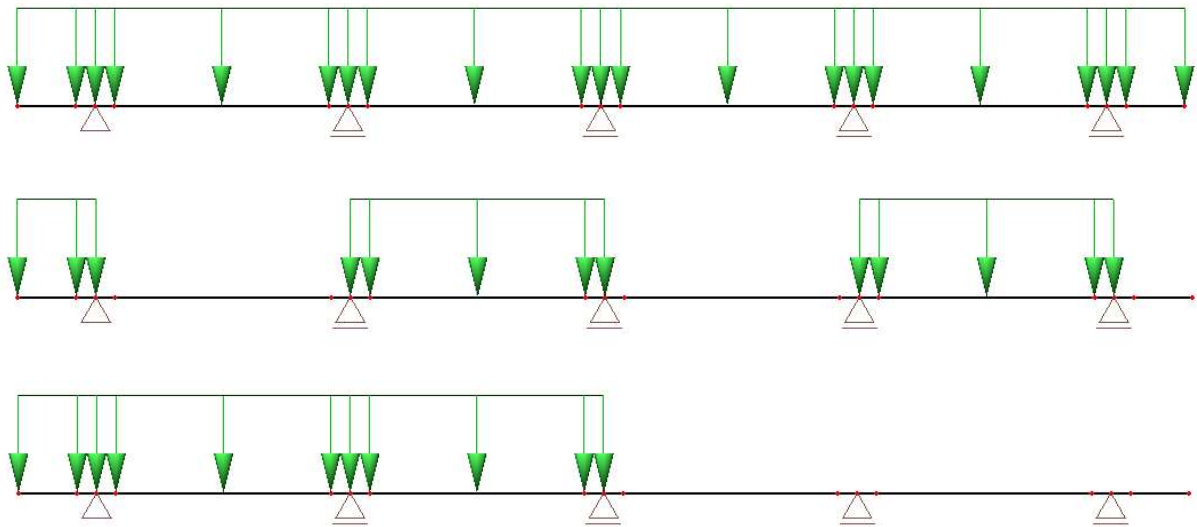
4.1.2 Proměnné zatížení

1) Rovnoměrné zatížení chodci a cyklisty, $q_k = 5 \text{ kN/m}^2$



Obr. 10: Rozhodující rozmístění zatížení pro chodce a cyklisty

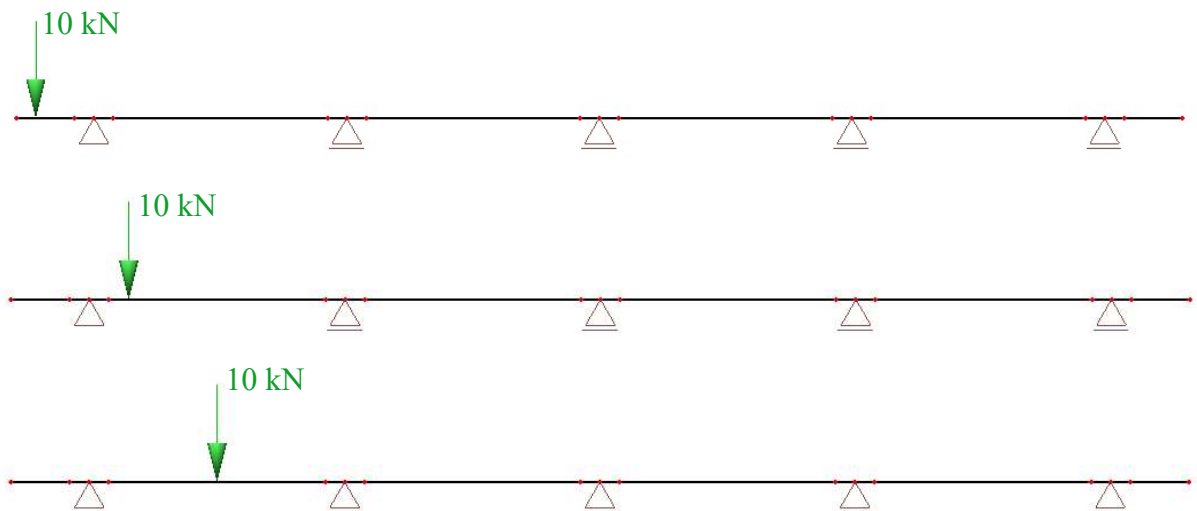
- rozhodující tedy bude na posouzení fošny od zatížení chodci a cyklisty dle příčinkových čar rozmístění zatížení dle Obr. 10
- ve výpočtu byly dále uvaženy další zatěžovací stavy, které budou mít vliv na výslednou obálku vnitřních sil, viz další strana Obr. 11



Obr. 11: Doplnující zatěžovací stavy

2) Od soustředěného zatížení silou 10 kN na čtverci 0,1 x 0,1m

- zatížení silou bylo modelováno do všech charakteristických bodů konstrukce, aplikováno bylo uprostřed plochy o čtverci 0,1 x 0,1m, tj. ve vzdálenosti 0,05m od kraje konstrukce či kraje skutečné podpory – hrany podélníku



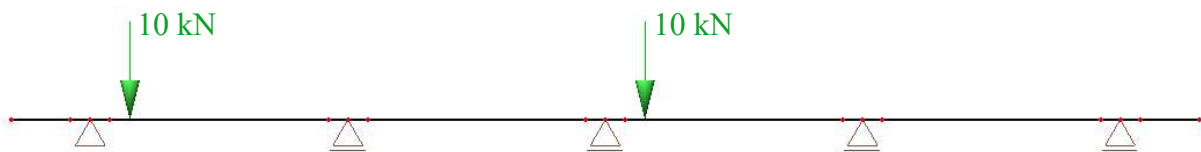
Obr. 12: Vybrané zatěžovací stavy od soustředěného zatížení 10 kN

- výše byl vyobrazen jen výňatek zatěžovacích stavů, do výpočtu byly samozřejmě zavedeny stavy ve všech významných bodech na celé konstrukci



3) Mimořádné zatížení přejezdem od nápravy obslužného vozidla

- silový účinek nápravy je $Q_{SV1} = 20$ kN, tedy uvažujeme 10 kN na každé kolo ve vzdálenosti 1,3m dle schématu zatížení pro tento model
- vzhledem k rozměrům konstrukce a servisního vozidla bylo toto zatížení modelováno pouze mezi podpory č.1 a č.5, jelikož není technicky možné, aby se kolo vozidla pohybovalo po krajní nepodepřené části – konzole



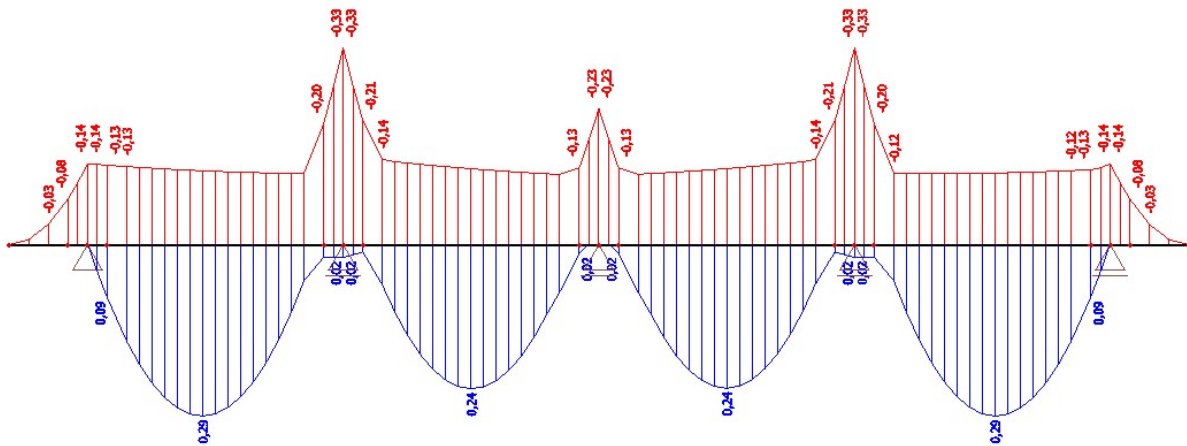
Obr. 13: Zatížení od nápravy vozidla, $Q_{SV1} = 20$ kN



4.1.3 Výsledné vnitřní síly - obálka

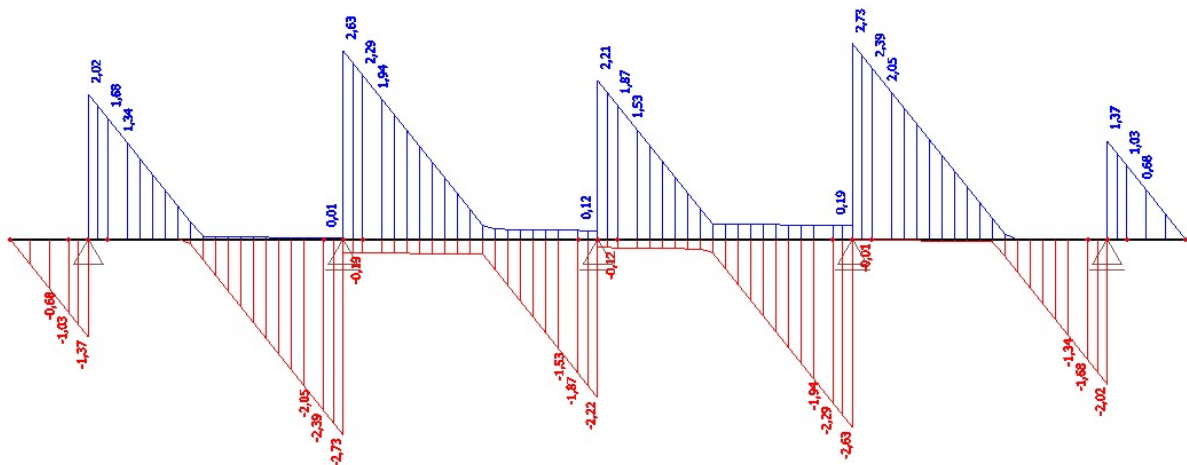
1) Rovnoměrné zatížení chodci a cyklisty, $q_k = 5 \text{ kN/m}^2$

M_d – obálka momentů



Obr. 14: Průběh momentů od zatížení chodci a cyklisty

V_d – obálka posouvajících sil

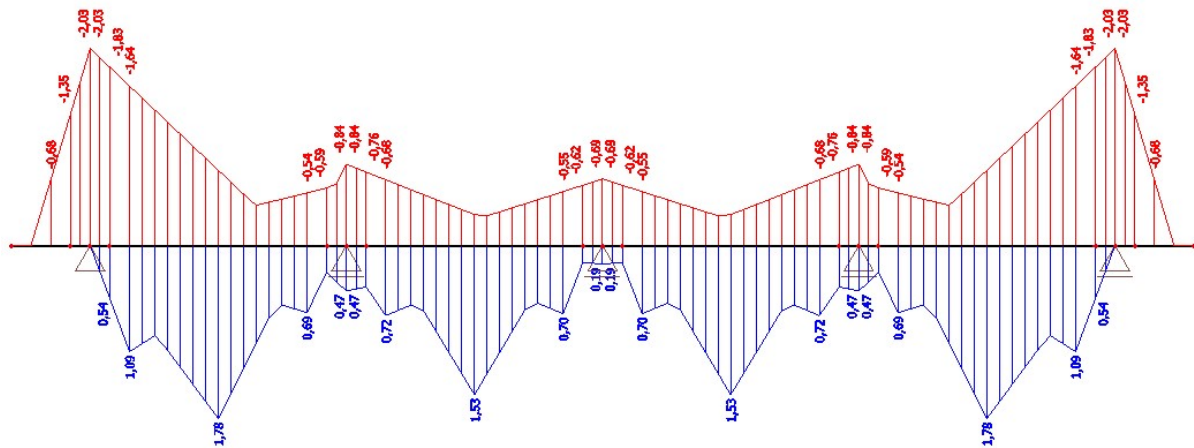


Obr. 15: Průběh posouvajících sil od zatížení chodci a cyklisty



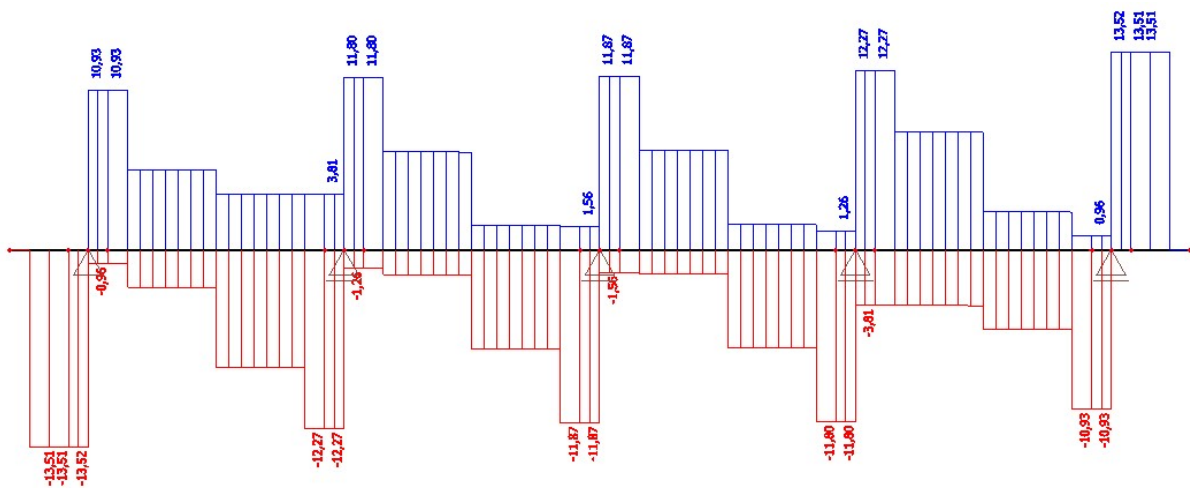
2) Od soustředěného zatížení silou 10 kN na čtverci 0,1 x 0,1m

M_d – obálka momentů



Obr. 16: Průběh momentů od soustředěného zatížení

V_d – obálka posouvajících sil

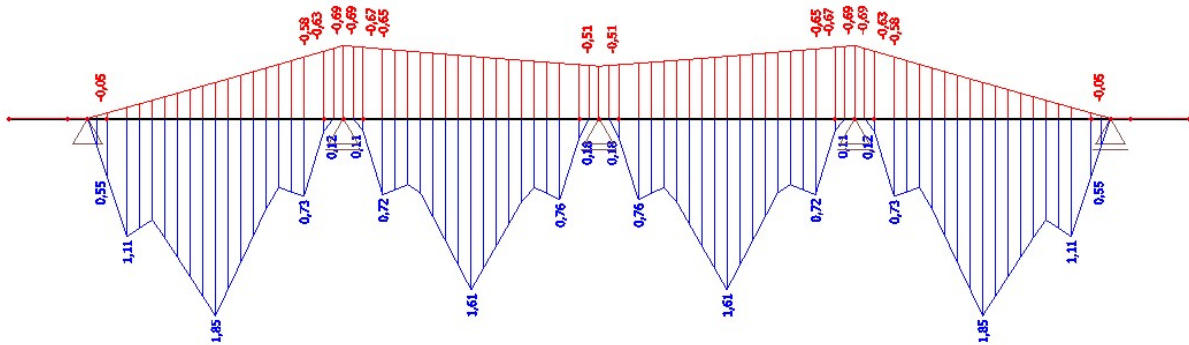


Obr. 17: Průběh posouvajících sil od soustředěného zatížení



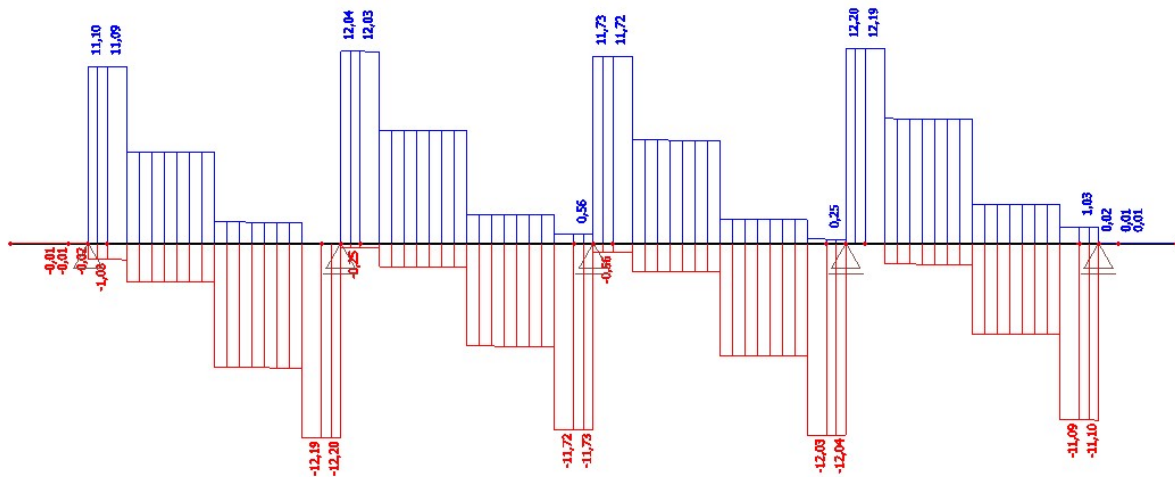
3) Mimořádné zatížení přejezdem od nápravy obslužného vozidla

M_d – obálka momentů



Obr. 18: Průběh momentů od nápravy obslužného vozidla

V_d – obálka posouvajících sil



Obr. 19: Průběh posouvajících sil od nápravy obslužného vozidla

- všechny uvedené hodnoty vnitřních sil jsou již v návrhových hodnotách, přenásobené koeficienty $\gamma_G = 1,35$ pro stálá zatížení a $\gamma_Q = 1,35$ pro proměnná zatížení chodci a silniční dopravou dle Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí, Příloha A2: Použití pro mosty, ČSN EN 1990:2002/A1



4.1.4 Posouzení

- maximální moment i posouvající síla jsou vyvozeny účinkem od soustředěného osamělého zatížení, tj.

$$M_{rd} = 2,03 \text{ kNm} = 2,03 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$V_{rd} = 13,51 \text{ kN} = 13,51 \cdot 10^3 \text{ N}$$

rozměry a materiálové charakteristiky fošny:

$$b = 240 \text{ mm}$$

$$k_{mod} = 0,7$$

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

$$h = 60 \text{ mm}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

$$f_{vk} = 4 \text{ MPa}$$

$$h = 3000 \text{ mm}$$

$$k_{cr} = 0,67$$

$$b_{eff} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 240 = 160,8 \text{ mm}$$

$$W = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 240 \cdot 60^2 = 144\,000 \text{ mm}^3$$

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{mk}}{\gamma_M} = 0,7 \cdot \frac{30}{1,3} = 16,15 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{vk}}{\gamma_M} = 0,7 \cdot \frac{4}{1,3} = 2,15 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{rd}}{W} = \frac{2,03 \cdot 10^6}{144\,000} = 14,10 \text{ MPa}$$

$$\tau_d = \frac{S_y \cdot V_{z,rd}}{b_{eff} \cdot I_y} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{z,rd}}{b_{eff} \cdot h} = \frac{3}{2} \cdot \frac{13,51 \cdot 10^3}{160,8 \cdot 60} = 2,10 \text{ MPa}$$



- posouzení ohybového napětí σ

$$\sigma_{m,d} = 14,10 \text{ MPa} \leq f_{m,d} = 16,15 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

- posouzení smykového napětí τ

$$\tau_d = 2,10 \text{ MPa} \leq f_{v,d} = 2,15 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

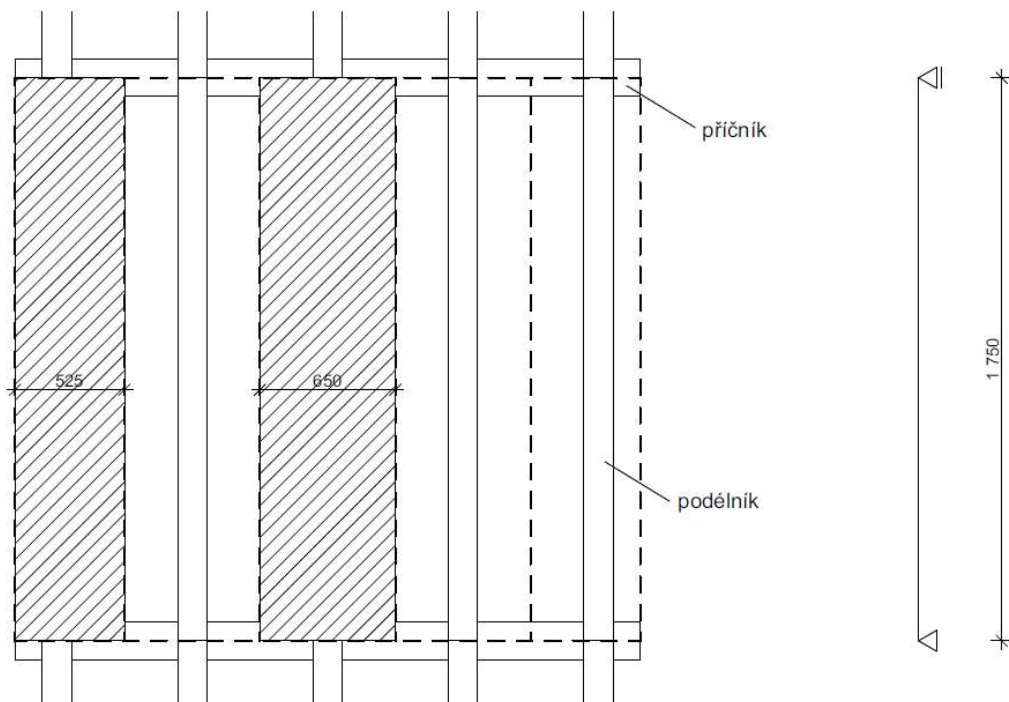


4.2 Podélník:

- podélník je navržen ze smrkového dřeva třídy C24 o rozměrech 140 x 180 x 1750mm, pro posouzení bude uvažován statický model dle Obr. 20
- na schématu níže si můžeme všimnout, že krajní podélník bude méně zatížený než podélník uprostřed, ve výpočtu stanovíme zatížení pro oba, přičemž posouzení provedeme pouze na více zatížený podélník

Schéma pro výpočet zatížení

Statický model



Obr. 20: Schéma a statický model podélníku

4.2.1 Stálé zatížení

- vlastní tíha podélníku bude ve výpočtu uvažována softwarem SCIA Engineer
- ruční výpočet liniové zatížení od vlastní tíhy

$$g_{pod,lin,k} = \rho \cdot g \cdot h \cdot b = 500 \cdot 10 \cdot 0,10 \cdot 0,18 = 0,09 kN/m$$

- liniové zatížení od fošen

- pro střední podélník, zatěžující šířka $b_{střed} = 0,650m$

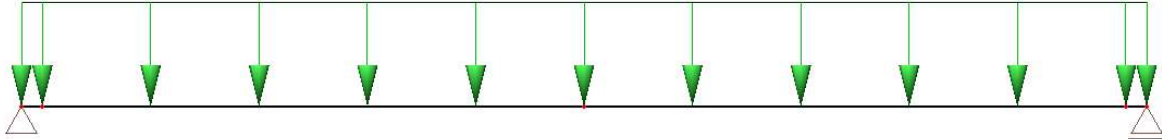
$$g_{foš,lin,k} = \rho \cdot g \cdot h \cdot b = 700 \cdot 10 \cdot 0,06 \cdot 0,650 = 0,28 kN/m$$



- pro krajní podélník, zatěžující šířka $b_{\text{kraj}} = 0,525\text{m}$

$$g_{\text{foš,lin,k}} = \rho \cdot g \cdot h \cdot b = 700 \cdot 10 \cdot 0,06 \cdot 0,525 = 0,23 \text{ kN/m}$$

- charakter působícího zatížení od vlastní tíhy konstrukce



Obr. 21: Zatížení od fošen a vlastní tíhy podélníku

4.2.2 Proměnné zatížení

1) Rovnoměrné zatížení chodci a cyklisty, $q_k = 5 \text{ kN/m}^2$

- výpočet uvažovaného proměnného zatížení chodci a cyklisty pro krajní a prostřední podélník se zatěžující šířkou b , dle schématu Obr. 20

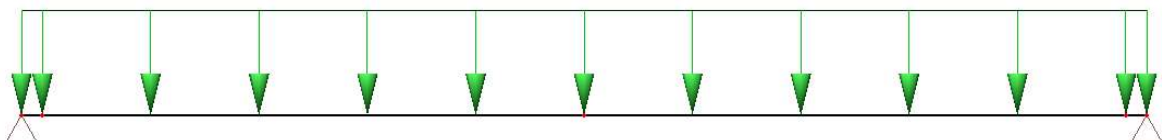
- střední podélník, zatěžující šířka $b_{\text{střed}} = 0,650\text{m}$

$$q_{\text{lin,k}} = q_k \cdot b = 5 \cdot 0,65 = 3,25 \text{ kN/m}$$

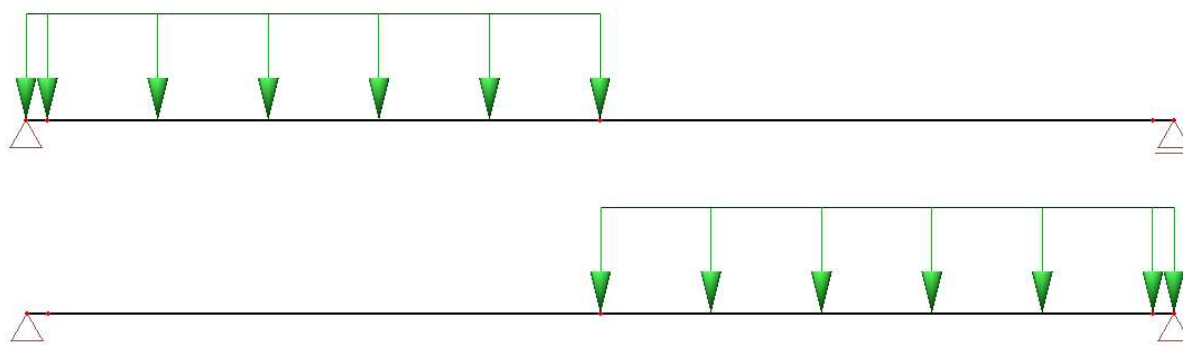
- krajní podélník, zatěžující šířka $b_{\text{kraj}} = 0,525\text{m}$

$$q_{\text{lin,k}} = q_k \cdot b = 5 \cdot 0,525 = 2,63 \text{ kN/m}$$

- jelikož se jedná o statický model prostého nosníku, předpokládáme, že největší namáhání podélníku bude při působení plného zatížení, Obr. 22



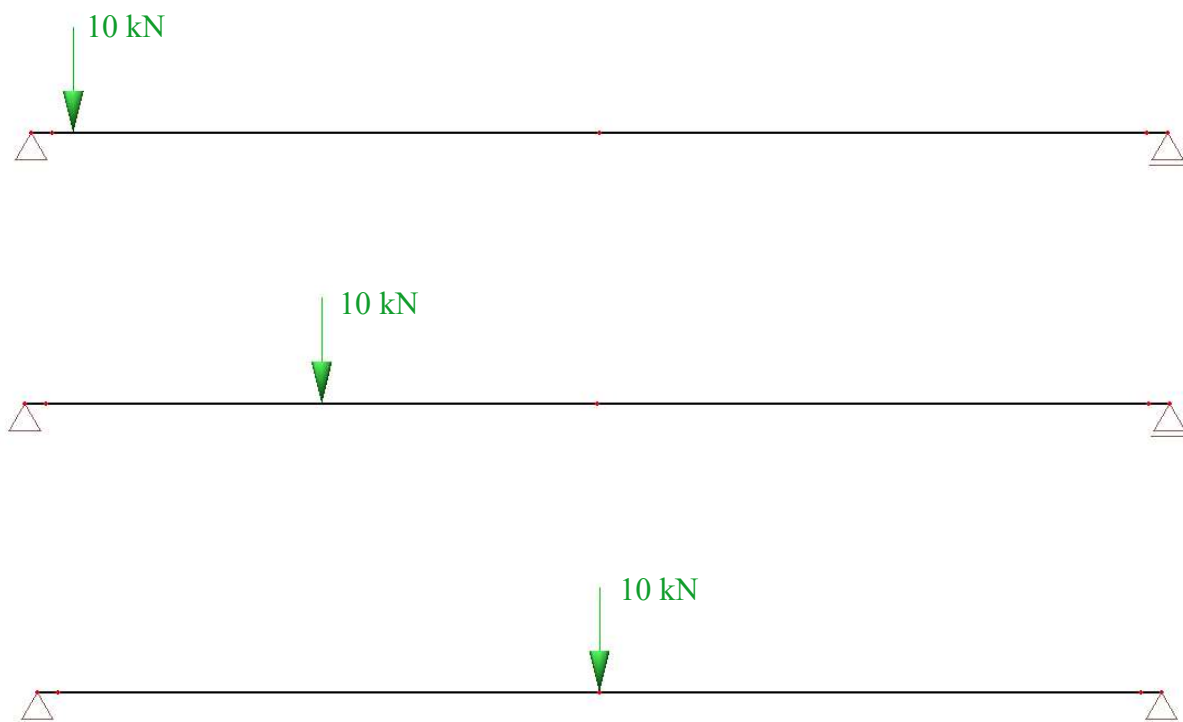
Obr. 22: Plné zatížení podélníku



Obr. 23: Další uvažované zatěžovací stavy podélníku

2) Od soustředěného zatížení silou 10 kN na čtverci 0,1 x 0,1m

- zatížení bylo modelováno především v nejnepriznivějších bodech celé konstrukce, abychom získali extrémní hodnoty zatížení a požadovanou výslednou obálku vnitřních sil



Obr. 24: Vybrané zatěžovací stavy podélníku



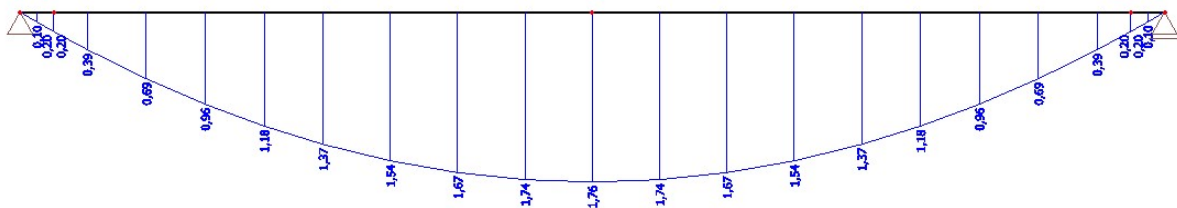
3) Mimořádné zatížení přejezdem od nápravy obslužného vozidla

- jelikož vzdálenost náprav je 3m, což je více než rozpětí podélníku, je silový účinek vyvozen pouze od jednoho kola vozidla
- tento účinek je rovněž 10 kN a proto budou výsledky identické jako pro zatížení soustředěným zatížením silou 10 kN na čtverci 0,1 x 0,1m, viz Obr. 24
- maximální moment i posouvající síla jsou vyvozeny účinkem od soustředěného osamělého zatížení, hodnotu posouvající síly uvažujeme 80mm od kraje podpory, což je místo, kde skutečně končí podpora – hrana příčnicku

4.2.3 Výsledné vnitřní síly - obálka

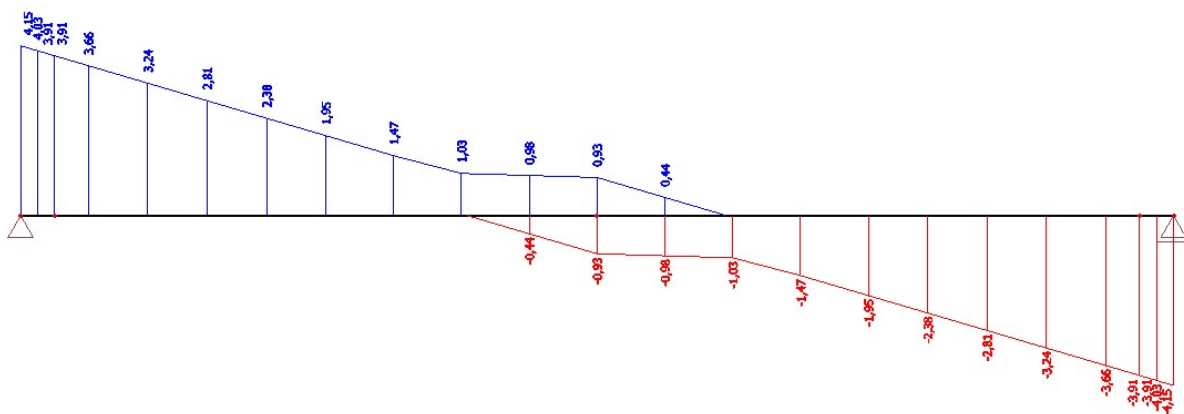
1) Rovnoměrné zatížení chodci a cyklisty, $q_k = 5 \text{ kN/m}^2$

M_d – obálka momentů



Obr. 25: Průběh momentů od zatížení chodci a cyklisty – prostřední podélník

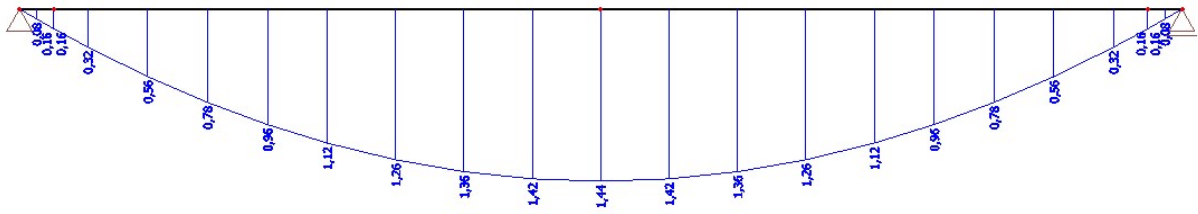
V_d – obálka posouvajících sil



Obr. 26: Průběh posouvajících sil od zatížení chodci a cyklisty – prostřední podélník

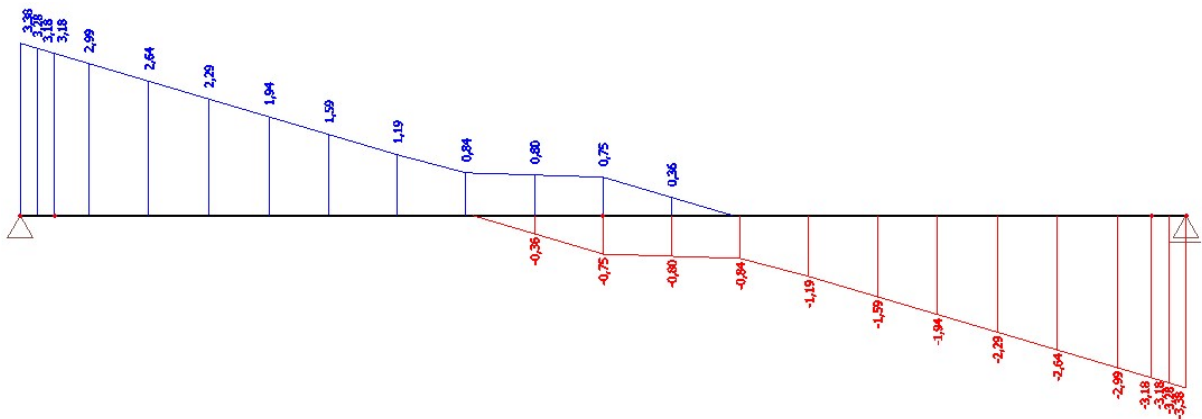


M_d – obálka momentů



Obr. 27: Průběh momentů od zatížení chodci a cyklisty – krajní podélník

V_d – obálka posouvajících sil

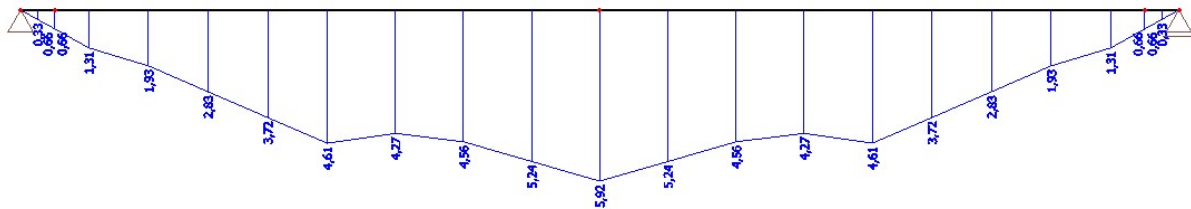


Obr. 28: Průběh posouvajících sil od zatížení chodci a cyklisty – krajní podélník



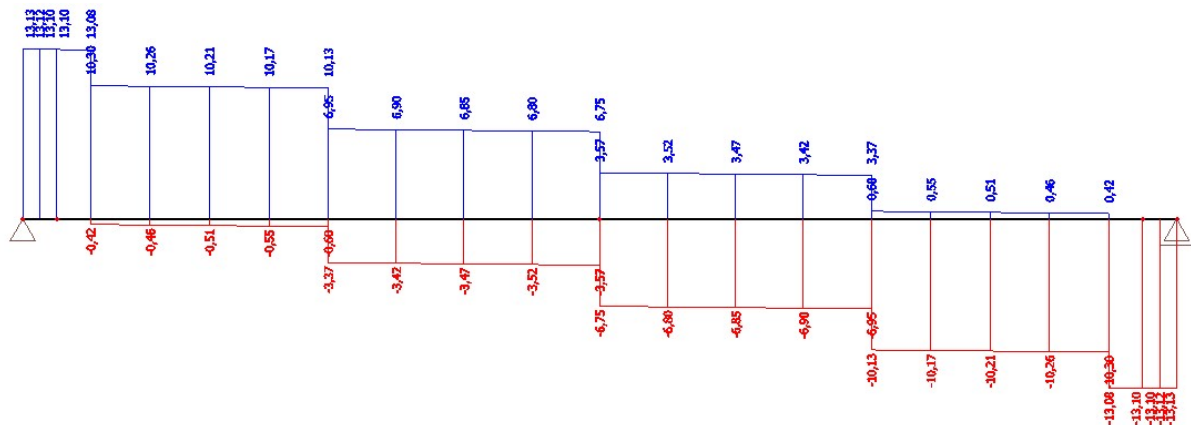
2) Od soustředěného zatížení silou 10 kN na čtverci 0,1 x 0,1m

M_d – obálka momentů



Obr. 29: Průběh momentů od soustředěného zatížení 10kN

V_d – obálka posouvajících sil



Obr. 30: Průběh posouvajících sil od soustředěného zatížení 10kN

3) Mimořádné zatížení přejezdem od nápravy obslužného vozidla

- jelikož je síla od kola obslužného vozidla stejně veliká jako síla od soustředěného zatížení, lze využít výsledky od soustředěného zatížení, viz Obr. 29 a Obr. 30



4.2.4 Posouzení

- maximální účinky zatížení podélníku jsou vyvozeny od soustředěného zatížení silou 10 kN, respektive od mimořádného zatížení přejezdem obslužného vozidla

$$M_{rd} = 5,92 \text{ kNm} = 5,92 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$V_{rd} = 13,10 \text{ kN} = 13,10 \cdot 10^3 \text{ N}$$

podélník:

$$h = 180 \text{ mm}$$

$$k_{mod} = 0,7$$

$$f_{mk} = 24 \text{ MPa}$$

$$b = 140 \text{ mm}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

$$f_{vk} = 4 \text{ MPa}$$

$$l = 1700 \text{ mm}$$

$$k_{cr} = 0,67$$

$$b_{eff} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 100 = 67 \text{ mm}$$

$$W = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 100 \cdot 180^2 = 540\,000 \text{ mm}^3$$

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{mk}}{\gamma_M} = 0,7 \cdot \frac{24}{1,3} = 12,92 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{vk}}{\gamma_M} = 0,7 \cdot \frac{4}{1,3} = 2,15 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{rd}}{W} = \frac{5,92 \cdot 10^6}{540\,000} = 10,97 \text{ MPa}$$

$$\tau_d = \frac{S_y \cdot V_{z,rd}}{b_{eff} \cdot I_y} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{z,rd}}{b_{eff} \cdot h} = \frac{3}{2} \cdot \frac{13,10 \cdot 10^3}{67 \cdot 180} = 1,63 \text{ MPa}$$



- posouzení ohybového napětí σ

$$\sigma_{m,d} = 10,97 \text{ MPa} \leq f_{m,d} = 12,92 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

- posouzení smykového napětí τ

$$\tau_d = 1,63 \text{ MPa} \leq f_{v,d} = 2,15 \text{ MPa}$$

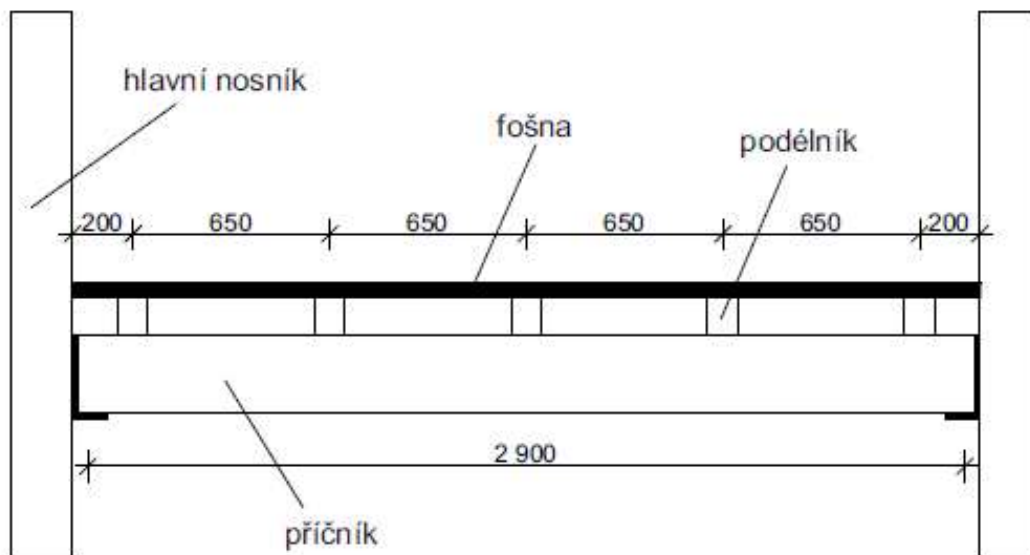
VYHOVUJE



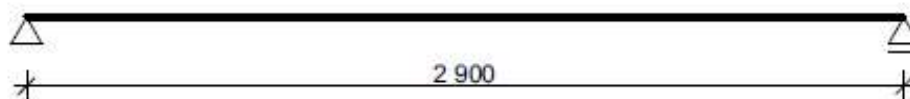
4.3 Příčník:

- příčník je navržen z lepeného lamelového dřeva třídy GL24h o rozměrech 160 x 280 x 3000mm, pro posouzení bude uvažován statický model dle Obr. 31
- na schématu níže si můžeme všimnout, že příčník bude uložen na ocelových úhelnících přišroubovaných k hlavním nosníkům, délka spodního ramene úhelníku je 100mm, ve statickém modelu budeme uvažovat podpory v osách těchto ramen

Řez mostovkou



Statický model uvažovaný pro výpočet



Obr. 31: Příčný řez mostovkou a statické schéma



4.3.1 Stálé zatížení

- vlastní tíha příčnicku bude do výpočtu generována softwarem SCIA Engineer
- ruční výpočet liniového zatížení od vlastní tíhy

$$g_{př,lin,k} = \rho \cdot g \cdot h \cdot b = 500 \cdot 10 \cdot 0,22 \cdot 0,16 = 0,18 \text{ kN/m}$$

- silové zatížení od fošen a podélníku pro prostřední příčník lze vypočítat jako součet zatížení od levého a pravého podélníku

Prostřední příčník

- síla uprostřed

$$G_{střed,k} = \frac{1}{2} \cdot (f_{foš,k} + f_{pod,k}) \cdot l \cdot 2 = \frac{1}{2} \cdot (0,28 + 0,09) \cdot 1,75 \cdot 2 = 0,65 \text{ kN}$$

- krajní síla

$$G_{kraj,k} = \frac{1}{2} \cdot (f_{foš,k} + f_{pod,k}) \cdot l \cdot 2 = \frac{1}{2} \cdot (0,23 + 0,09) \cdot 1,75 \cdot 2 = 0,56 \text{ kN}$$

Krajní příčník

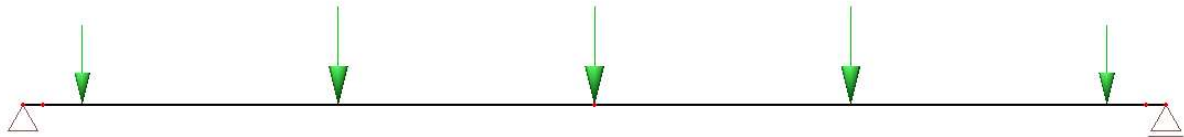
- síla uprostřed

$$G_{střed,k} = \frac{1}{2} \cdot (f_{foš,k} + f_{pod,k}) \cdot l = \frac{1}{2} \cdot (0,28 + 0,09) \cdot 1,75 = 0,33 \text{ kN}$$

- krajní síla

$$G_{kraj,k} = \frac{1}{2} \cdot (f_{foš,k} + f_{pod,k}) \cdot l = \frac{1}{2} \cdot (0,23 + 0,09) \cdot 1,75 = 0,28 \text{ kN}$$

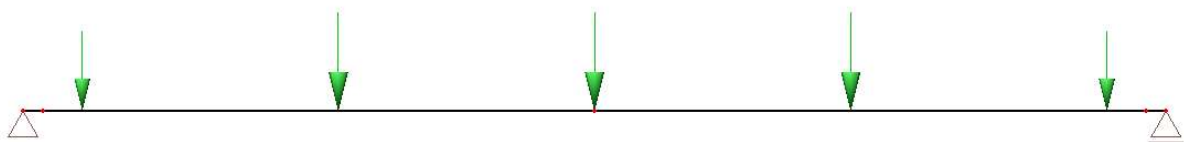
- charakter působícího stálého zatížení



Obr. 32: Zatížení od tíhy fošen a podélníku

4.3.2 Proměnné zatížení

1) Rovnoměrné zatížení chodci a cyklisty, $q_k = 5 \text{ kN/m}^2$



Obr. 33: Plné zatížení chodci a cyklisty

- zatížení chodci a cyklisty má v tomto případě charakter silového účinku působícího v určitých bodech na příčnicku, zjednodušeně uváženo v ose uložení podélníků

Prostřední příčnick

- síla působící na prostřední příčnick je spočítána jako součet reakcí od levého a pravého podélníku

- síla uprostřed

$$(G + Q)_{o,d} = 2 \cdot V_{z,pod,střed} = 2 \cdot 4,15 = 8,30 \text{ kN}$$

- krajní síla

$$(G + Q)_{o,d} = 2 \cdot V_{z,pod,kraj} = 2 \cdot 3,38 = 6,76 \text{ kN}$$



Krajní příčník

- na krajní příčník působí síla vždy pouze od podélníků z jedné strany

- síla uprostřed

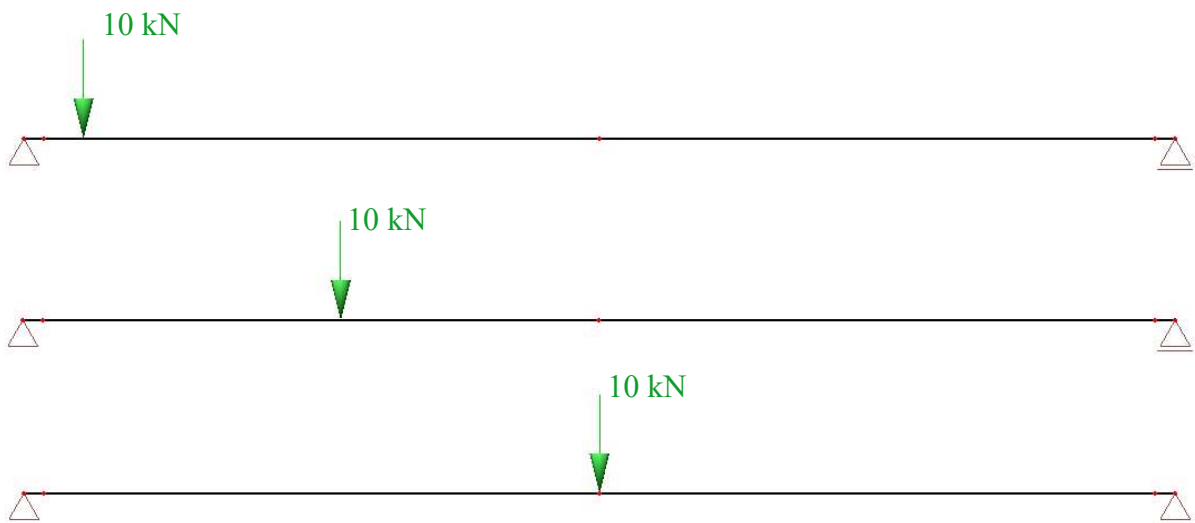
$$(G + Q)_{o,d} = V_{z,pod,střed} = 4,15 = 4,15 \text{ kN}$$

- krajní síla

$$(G + Q)_{o,d} = V_{z,pod,kraj} = 3,38 = 3,38 \text{ kN}$$

- ve výpočtu bude posuzován pouze prostřední příčník, jelikož na krajní příčník působí zatížení o poloviční velikosti

2) Od soustředěného zatížení silou 10 kN na čtverci 0,1 x 0,1m



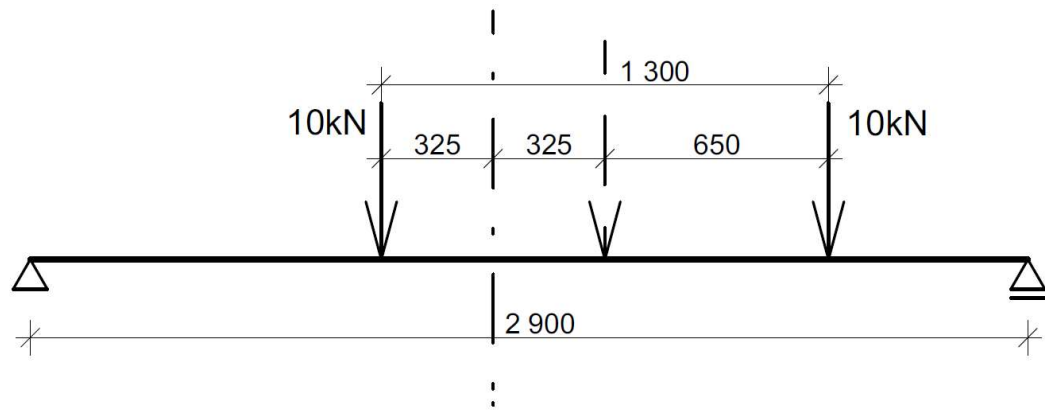
Obr. 34: Vybrané zatěžovací stavy od soustředěného zatížení

3) Mimořádné zatížení přejezdem od nápravy obslužného vozidla

- pro stanovení maximálního momentového účinku od postavení více zatížené nápravy obslužného vozidla bylo využito příčinkové čáry pro kritérium max max M

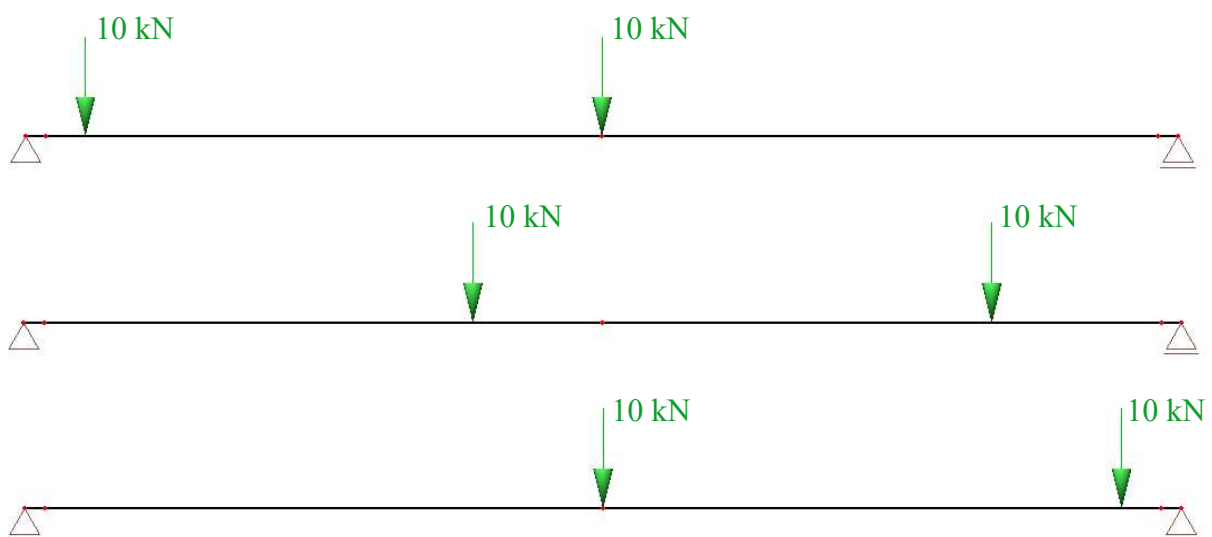


Kriterium max max M



Obr. 35: Kriterium max max M pro příčník

- postavení nápravy budeme uvažovat dle kritéria max max M, výsledné síly by působily v místě uložení podélníků na příčník, ale bylo by obtížné stanovit velikosti těchto sil a účinek by byl menší, my budeme konzervativně počítat s nejhorsím účinkem dle Obr. 35



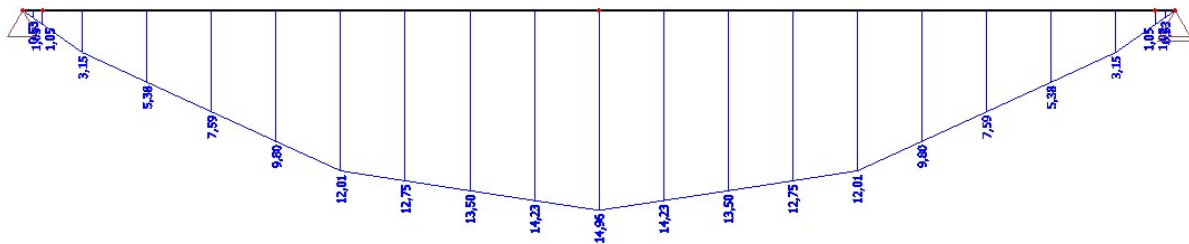
Obr. 36: Zatížení od nápravy, $Q_{SVI} = 20kN$



4.3.3 Výsledné vnitřní síly – obálka

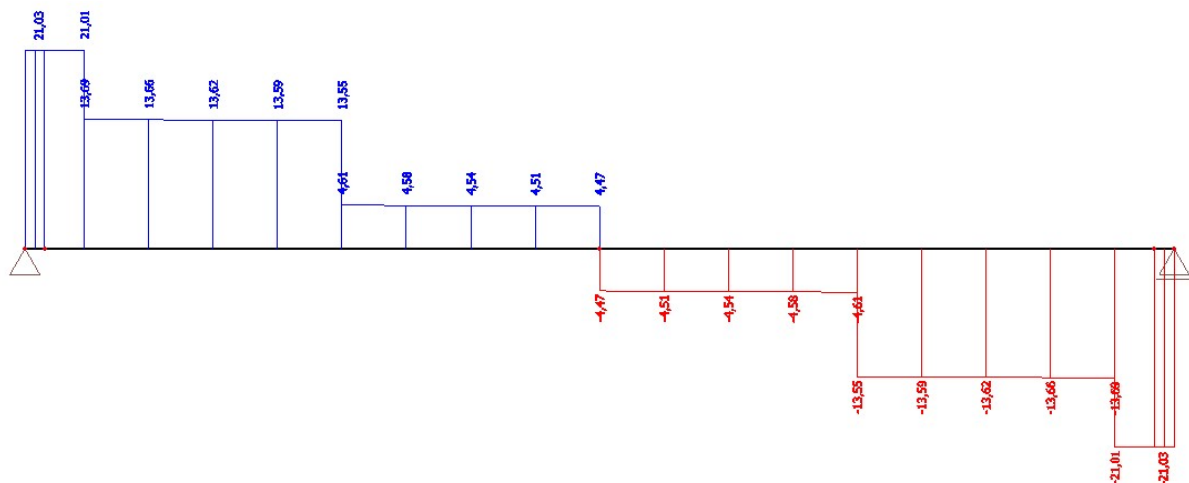
1) Rovnoměrné zatížení chodci a cyklisty, $q_k = 5 \text{ kN/m}^2$

M_d – obálka momentů



Obr. 37: Průběh momentů od zatížení chodci a cyklisty – prostřední příčník

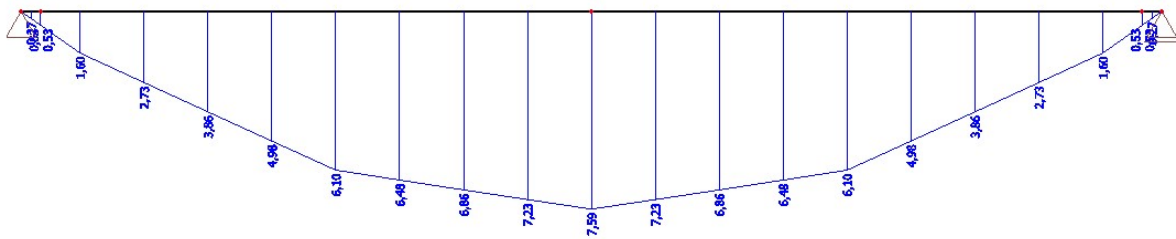
V_d – obálka posouvajících sil



Obr. 38: Průběh posouvajících sil od zatížení chodci a cyklisty – prostřední příčník

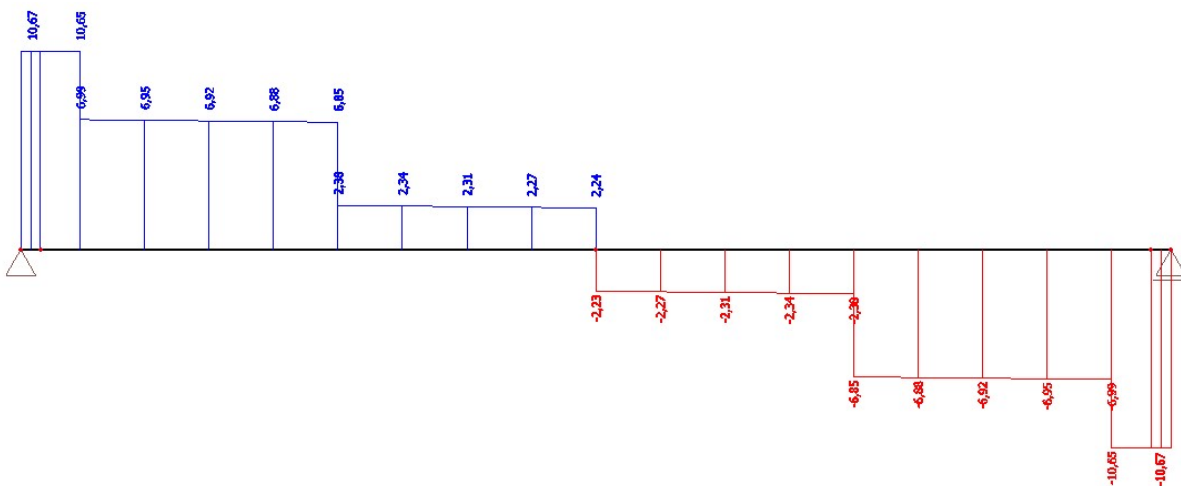


M_d – obálka momentů



Obr. 39: Průběh momentů od zatížení chodci a cyklisty – krajní příčník

V_d – obálka posouvajících sil



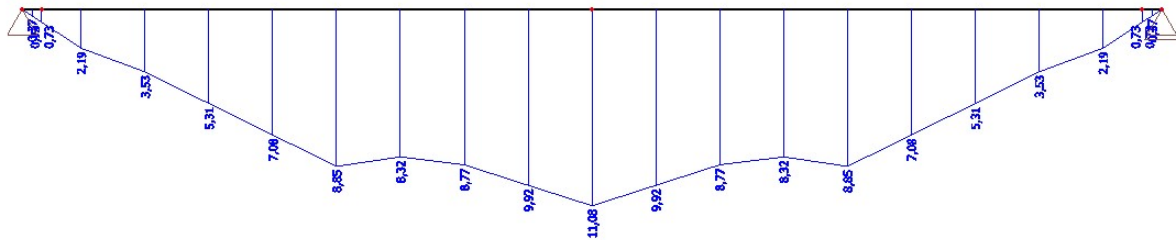
Obr. 40: Průběh posouvajících sil od zatížení chodci a cyklisty – krajní příčník

- průběhy vnitřních sil jsou na obou prvcích stejné, rozdílné jsou pouze výsledné hodnoty, které budeme dále potřebovat pro výpočet a posouzení dalších nosných prvků



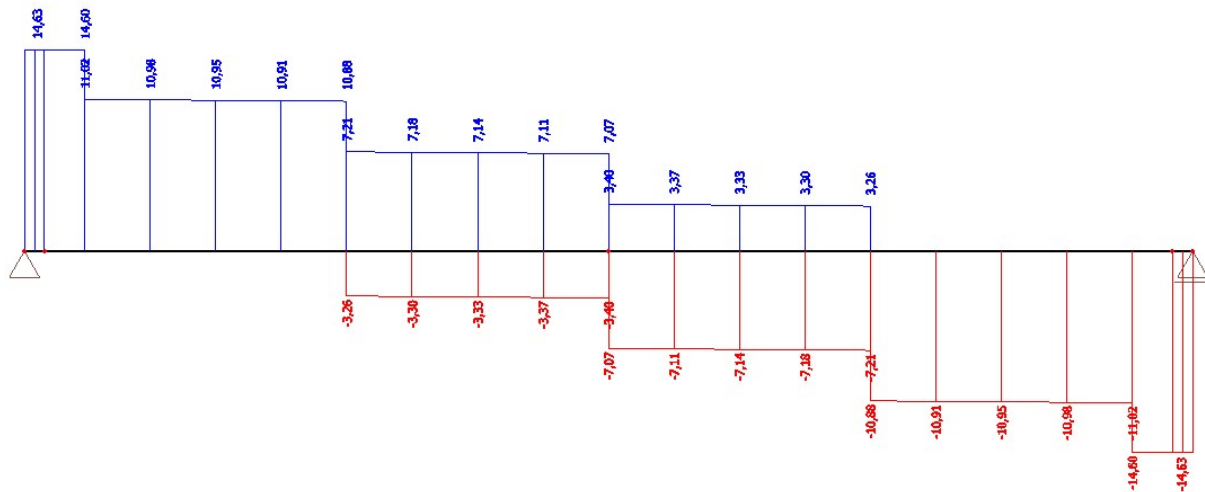
2) Od soustředěného zatížení silou 10 kN na čtverci 0,1 x 0,1m

M_d – obálka momentů



Obr. 41: Průběh momentů od soustředěného zatížení 10kN

V_d – obálka posouvajících sil

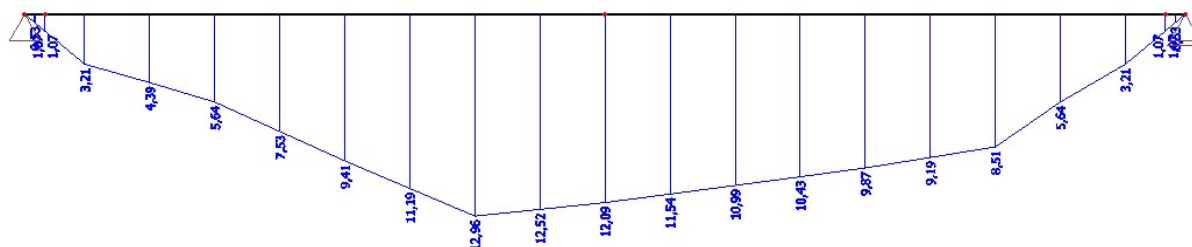


Obr. 42: Průběh posouvajících sil od soustředěného zatížení 10kN



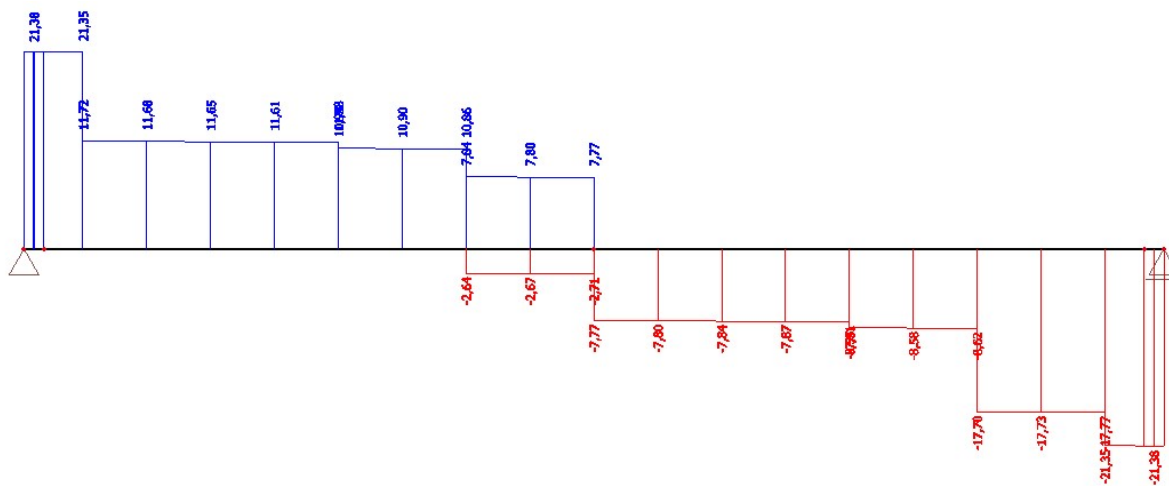
3) Mimořádné zatížení přejezdem od nápravy obslužného vozidla

M_d – obálka momentů



Obr. 43: Průběh momentů od nápravy obslužného vozidla

V_d – obálka posouvajících sil



Obr. 44: Průběh posouvajících sil od nápravy obslužného vozidla



4.3.4 Posouzení

- maximální posouvající síla je vyvozena od nápravy mimořádného vozidla, maximální moment je vyvozen od zatížení chodce a cyklisty

$$M_{rd} = 14,96 \text{ kNm} = 14,96 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$V_{rd} = 21,38 \text{ kN} = 21,38 \cdot 10^3 \text{ N}$$

příčnick:

$$h = 280 \text{ mm}$$

$$k_{mod} = 0,7$$

$$f_{mk} = 24 \text{ MPa}$$

$$b = 160 \text{ mm}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

$$f_{vk} = 4 \text{ MPa}$$

$$l = 3000 \text{ mm}$$

$$k_{cr} = 0,67$$

$$b_{eff} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 160 = 107,2 \text{ mm}$$

$$W = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 160 \cdot 280^2 = 2\,090\,667 \text{ mm}^3$$

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{mk}}{\gamma_M} = 0,7 \cdot \frac{24}{1,25} = 13,44 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{vk}}{\gamma_M} = 0,7 \cdot \frac{2,2}{1,25} = 1,23 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{rd}}{W} = \frac{14,96 \cdot 10^6}{2\,090\,667} = 7,16 \text{ MPa}$$

$$\tau_d = \frac{S_y \cdot V_{z,rd}}{b_{eff} \cdot I_y} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{z,rd}}{b_{eff} \cdot h} = \frac{3}{2} \cdot \frac{21,38 \cdot 10^3}{107,2 \cdot 280} = 1,07 \text{ MPa}$$



- posouzení ohybového napětí σ

$$\sigma_{m,d} = 7,16 \text{ MPa} \leq f_{m,d} = 13,44 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

- posouzení smykového napětí τ

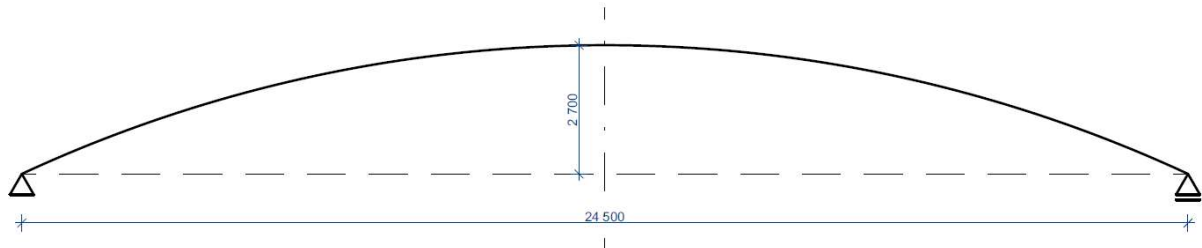
$$\tau_d = 1,07 \text{ MPa} \leq f_{v,d} = 1,23 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE



4.4 Hlavní nosník:

- hlavní nosník je navržen z lepeného lamelového dřeva třídy GL28h o celkových rozměrech prvku 200 x 1800 x 26000mm, pro posouzení bude uvažován statický model dle Obr. 45



Obr. 45: Statické schéma hlavního nosníku

4.4.1 Stálé zatížení

- vlastní tíha nosníku generována programem SCIA Engineer
- ostatní stálé zatížení 1kN/m na nosník (zábradlí, úhelníky, spojovací prostředky, atd...)
- silové zatížení od fošen, podélníků a příčníků

- síla uprostřed

$$G_{s,f,k} = \frac{1}{2} \cdot g_{foš,k} \cdot š \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 0,42 \cdot 3 \cdot 1,75 = 1,07 \text{ kN}$$

$$G_{s,pod,k} = \frac{1}{2} \cdot g_{pod,k} \cdot n \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 0,09 \cdot 5 \cdot 1,75 = 0,39 \text{ kN}$$

$$G_{s,př,k} = \frac{1}{2} \cdot g_{př,k} \cdot š = \frac{1}{2} \cdot 0,18 \cdot 3 = 0,27 \text{ kN}$$

$$G_{s,ost,k} = g_{ost,k} \cdot l = 1,0 \cdot 1,75 = 1,75 \text{ kN}$$

$$G_{střed,k} = \Sigma G_{s,k} = 3,48 \text{ kN}$$



- krajní síla

$$G_{k,f,k} = \frac{1}{2} \cdot g_{foš,k} \cdot š \cdot \frac{1}{2} \cdot l = \frac{1}{4} \cdot 0,42 \cdot 3 \cdot 1,7 = 0,54 \text{ kN}$$

$$G_{k,pod,k} = \frac{1}{2} \cdot g_{pod,k} \cdot n \cdot \frac{1}{2} \cdot l = \frac{1}{4} \cdot 0,09 \cdot 5 \cdot 1,7 = 0,20 \text{ kN}$$

$$G_{k,př,k} = \frac{1}{2} \cdot g_{př,k} \cdot š = \frac{1}{2} \cdot 0,18 \cdot 3 = 0,27 \text{ kN}$$

$$G_{k,ost,k} = \frac{1}{2} \cdot g_{ost,k} \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 1,0 \cdot 1,75 = 0,88 \text{ kN}$$

$$G_{kraj,k} = \Sigma G_{k,k} = 1,89 \text{ kN}$$

4.4.2 Proměnné zatížení

1) Rovnoměrné zatížení chodci a cyklisty, $q_k = 5 \text{ kN/m}^2$

- charakteristická síla od zatížení chodci a cyklisty v místě uložení příčnicku lze spočítat jako

- síla uprostřed

$$Q_{s,k} = \frac{1}{2} \cdot š \cdot l \cdot q_k = \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 1,75 \cdot 5 = 13,13 \text{ kN}$$

- krajní síla

$$Q_{k,k} = \frac{1}{2} \cdot š \cdot \frac{1}{2} \cdot l \cdot q_k = \frac{1}{4} \cdot 3 \cdot 1,75 \cdot 5 = 8,86 \text{ kN}$$

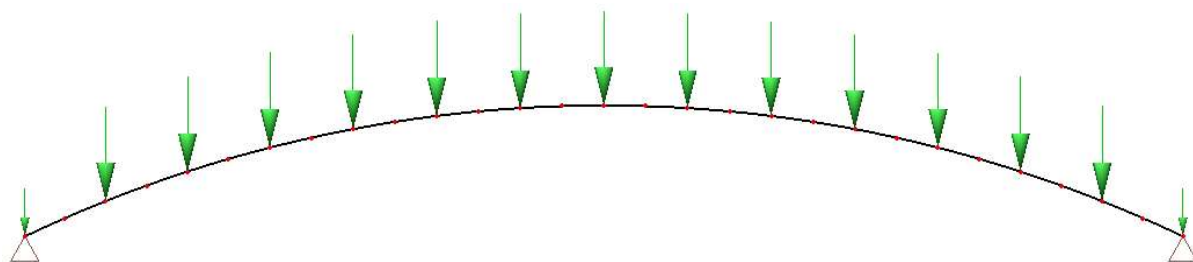
- působící zatížení uvažujeme jako výsledné reakce od zatížení příčnicků, ke kterým přičteme doposud nezapočítané ostatní stálé zatížení

- síla uprostřed

$$(G + Q)_d = G_{s,ost,k} \cdot 1,35 + V_{z,př,střed} = 1,75 \cdot 1,35 + 21,03 = 23,39 \text{ kN}$$

- krajní síla

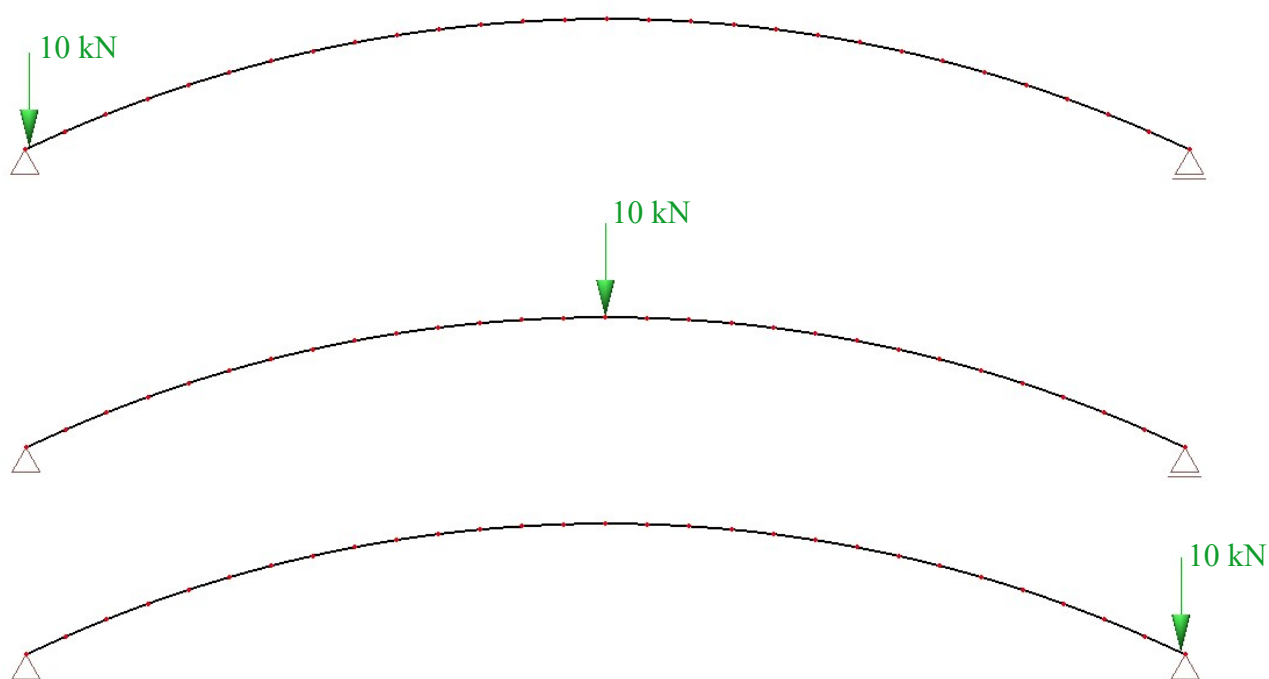
$$(G + Q)_d = G_{k,ost,k} \cdot 1,35 + V_{z,př,kraj} = 0,88 \cdot 1,35 + 10,67 = 11,86 \text{ kN}$$



Obr. 46: Charakter zatížení $(G+Q)_d$

2) Od soustředěného zatížení silou 10 kN na čtverci 0,1 x 0,1m

-byly uvažovány pouze nejnepříznivější zatěžovací stavy pro moment a posouvající sílu, jelikož vzhledem k velikosti tohoto zatížení, tyto stavy rozhodně nebudou rozhodující



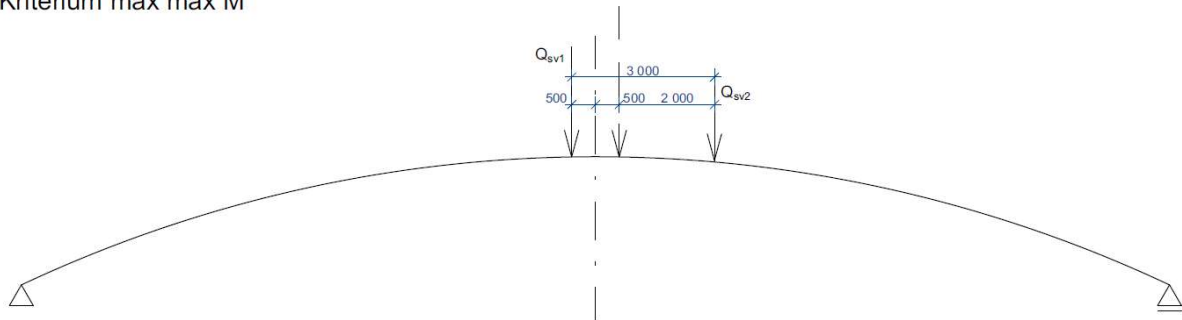
Obr. 47: Zatěžující stavy od soustředěného zatížení 10kN



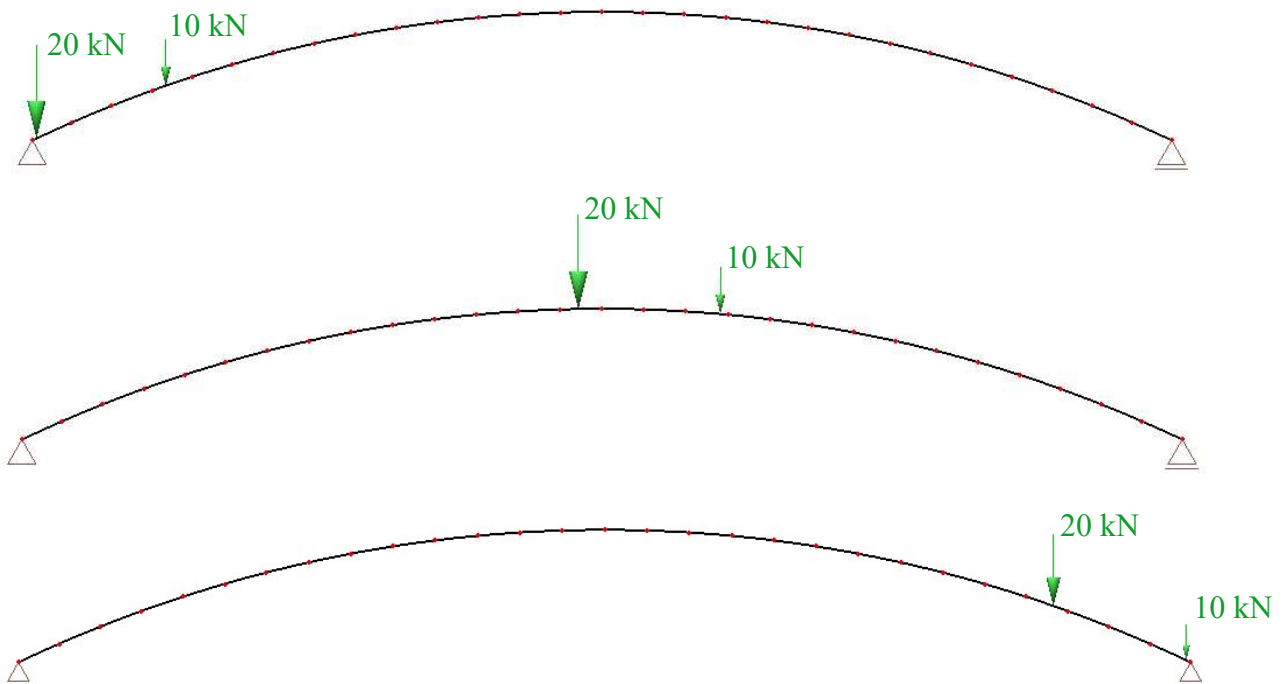
3) Mimořádné zatížení přejezdem od nápravy obslužného vozidla

- pro stanovení maximálního momentového účinku od postavení náprav obslužného vozidla bylo využito příčinkové čáry pro kritérium max max M

Kritérium max max M



Obr. 48: Poloha dvounápravy pro max max M



Obr. 49: Zatěžovací stavy od náprav obslužného vozidla

- nápravy jsou modelovány v nejnepříznivějším postavení pro konstrukci, avšak ve skutečnosti by tyto síly od náprav bylo nutné rozložit do bodu styku příčnicku a hlavního nosníku

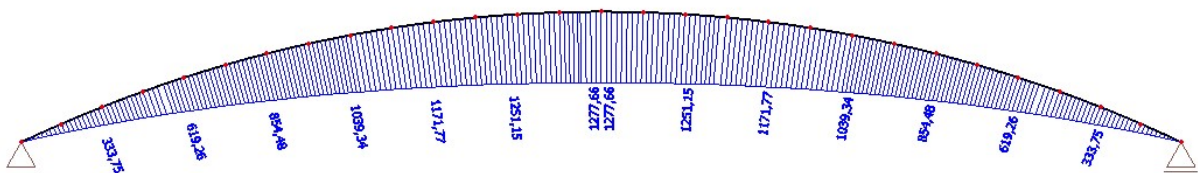


- jelikož konstrukce rozhodně není dokonale tuhá a chová se pružně, bylo by obtížné ručně stanovit velikosti těchto sil, proto tuto skutečnost konzervativně zanedbáme a posoudíme na modelový stav dle Obr. 49

4.4.3 Výsledné vnitřní síly – obálka

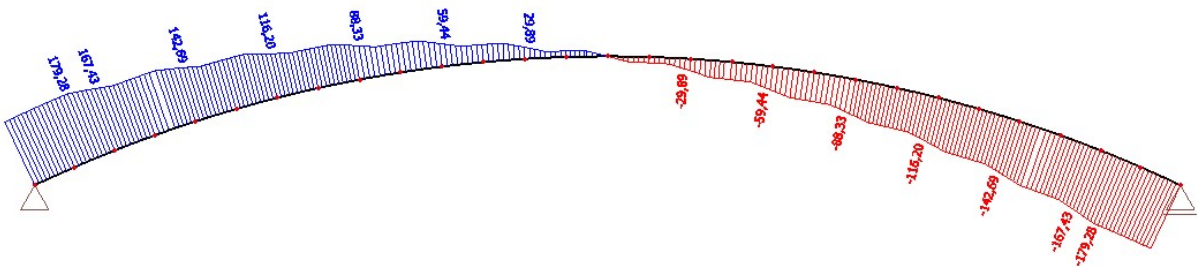
1) Rovnoměrné zatížení chodci a cyklisty, $q_k = 5 \text{ kN/m}^2$

M_d – obálka momentů



Obr. 50: Průběh momentů od zatížení chodci a cyklisty

V_d – obálka posouvajících sil

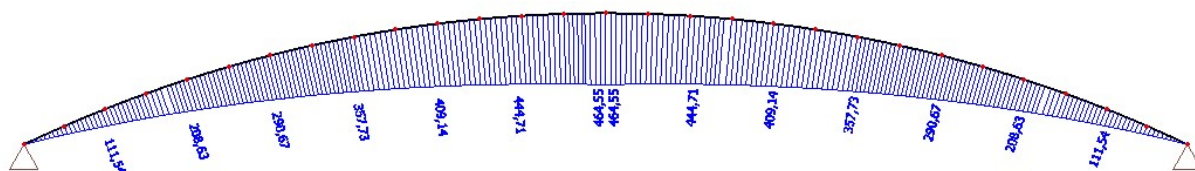


Obr. 51: Průběh posouvajících sil od zatížení chodci a cyklisty



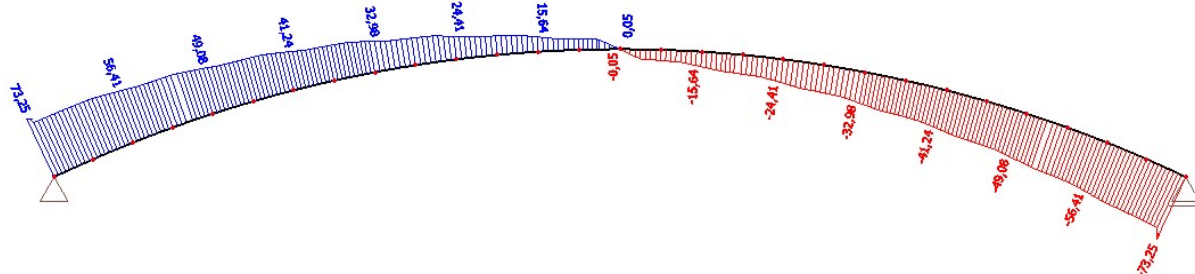
2) Od soustředěného zatížení silou 10 kN na čtverci 0,1 x 0,1m

M_d – obálka momentů



Obr. 52: Průběh momentů od soustředěného zatížení 10kN

V_d – obálka posouvajících sil

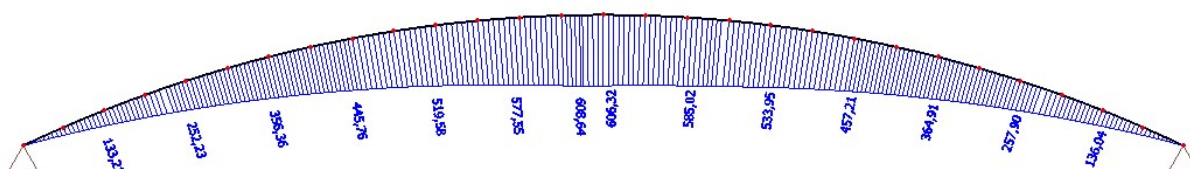


Obr. 53: Průběh posouvajících sil od soustředěného zatížení 10kN



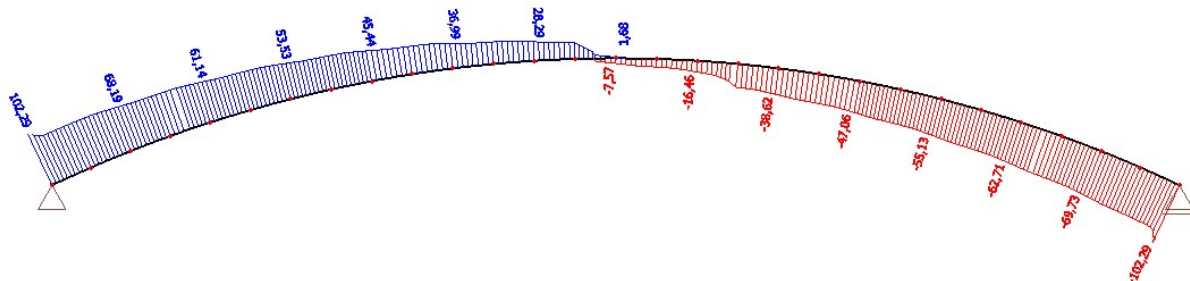
3) Mimořádné zatížení přejezdem od nápravy obslužného vozidla

M_d – obálka momentů



Obr. 54: Průběh momentů od dvounápravy obslužného vozidla

V_d – obálka posouvajících sil



Obr. 55: Průběh posouvajících sil od dvounápravy obslužného vozidla



4.4.4 Posouzení

- maximální moment i posouvající síla je vyvozen účinkem od proměnného zatížení chodci a cyklisty

$$M_{rd} = 1277,66 \text{ kNm} = 1277,66 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$V_{rd} = 179,28 \text{ kN} = 179,28 \cdot 10^3 \text{ N}$$

nosník:

$$h = h_{ap} = 1800 \text{ mm}$$

$$k_{mod} = 0,7$$

$$f_{mk} = 28 \text{ MPa}$$

$$b = 200 \text{ mm}$$

$$\gamma_M = 1,25$$

$$f_{vk} = 2,7 \text{ MPa}$$

$$l = 26000 \text{ mm}$$

$$k_{cr} = 0,67$$

$$f_{t,90,k} = 0,4 \text{ MPa}$$

$$r = 28300 \text{ mm}$$

$$\alpha_{ap} = 0^\circ$$

$$t = 40 \text{ mm (tl. lamely)}$$

$$b_{eff} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 200 = 134 \text{ mm}$$

$$W = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 200 \cdot 1800^2 = 108\,000\,000 \text{ mm}^3$$

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{mk}}{\gamma_M} = 0,7 \cdot \frac{28}{1,25} = 15,68 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{vk}}{\gamma_M} = 0,7 \cdot \frac{2,7}{1,25} = 1,51 \text{ MPa}$$

$$f_{t,90,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,90,k}}{\gamma_M} = 0,7 \cdot \frac{0,4}{1,25} = 0,224 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{rd}}{W} = \frac{1277,66 \cdot 10^6}{108\,000\,000} = 11,83 \text{ MPa}$$



$$\tau_d = \frac{S_y \cdot V_{z,rd}}{b_{eff} \cdot I_y} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{z,rd}}{b_{eff} \cdot h} = \frac{3}{2} \cdot \frac{179,28 \cdot 10^3}{134 \cdot 1800} = 1,12 \text{ MPa}$$

$$k_1 = 1 + 1,4 \cdot \operatorname{tg}(\alpha_{ap}) + 5,4 \cdot \operatorname{tg}^2(\alpha_{ap}) = 1 + 1,4 \cdot \operatorname{tg}(0) + 5,4 \cdot \operatorname{tg}^2(0) = 1,0$$

$$k_2 = 0,35 - 8 \cdot \operatorname{tg}(\alpha_{ap}) = 0,35 - 8 \cdot \operatorname{tg}(0) = 0,35$$

$$k_3 = 0,6 + 8,3 \cdot \operatorname{tg}(\alpha_{ap}) - 7,8 \cdot \operatorname{tg}^2(\alpha_{ap}) = 0,6 + 8,3 \cdot \operatorname{tg}(0) - 7,8 \cdot \operatorname{tg}^2(0) = 0,6$$

$$k_4 = 6 \cdot \operatorname{tg}^2(\alpha_{ap}) = 6 \cdot \operatorname{tg}^2(0) = 0$$

$$\begin{aligned} k_l &= k_1 + k_2 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_3 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2 + k_4 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^3 \\ &= 1 + 0,35 \cdot \left(\frac{1800}{28300}\right) + 0,6 \cdot \left(\frac{1800}{28300}\right)^2 + 0 \cdot \left(\frac{1800}{28300}\right)^3 = 1,025 \end{aligned}$$

$$\sigma_{m,ap,d} = k_l \cdot \sigma = 1,025 \cdot 11,83 = 12,13 \text{ MPa}$$

$$r_{in} = r - 0,5 \cdot h_{ap} = 28\,300 - 0,5 \cdot 1800 = 27\,400 \text{ mm}$$

$$\frac{r_{in}}{t} = \frac{27400}{40} = 685 > 240 \dots \dots \dots k_r = 1,0$$

$$k_5 = 0,2 \cdot \operatorname{tg}(\alpha_{ap}) = 0,2 \cdot \operatorname{tg}(0) = 0$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5 \cdot \operatorname{tg}(\alpha_{ap}) + 2,6 \cdot \operatorname{tg}^2(\alpha_{ap}) = 0,25 - 1,5 \cdot \operatorname{tg}(0) + 2,6 \cdot \operatorname{tg}^2(0) = 0,25$$

$$k_7 = 2,1 \cdot \operatorname{tg}(\alpha_{ap}) - 4 \cdot \operatorname{tg}^2(\alpha_{ap}) = 2,1 \cdot \operatorname{tg}(0) - 4 \cdot \operatorname{tg}^2(0) = 0$$

$$k_p = k_5 + k_6 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_7 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2 = 0 + 0,25 \cdot \left(\frac{1800}{28300}\right) + 0 \cdot \left(\frac{1800}{28300}\right)^2 = 0,016$$

$$\sigma_{t,90,ap,d} = k_p \cdot \sigma = 0,016 \cdot 11,83 = 0,188 \text{ MPa}$$

$$V_0 = 0,01 \text{ m}^3 \dots \dots \dots \text{referenční objem}$$

$$V = \frac{2}{3} \cdot b \cdot h \cdot l = \frac{2}{3} \cdot 0,2 \cdot 1,8 \cdot 26 = 6,24 \text{ m}^3$$



$$k_{vol} = \left(\frac{V_0}{V}\right)^{0,2} = \left(\frac{0,01}{6,24}\right)^{0,2} = 0,276$$

$k_{dis} = 1,7 \dots \dots \dots$ pro vyklenuté nosníky

- posouzení smykového napětí τ

$$\tau = 1,12 \text{ MPa} \leq f_{v,d} = 1,51 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

- posouzení ohybového napětí $\sigma_{m,ap,d}$

$$\sigma_{m,ap,d} = 12,13 \text{ MPa} \leq k_r \cdot f_{m,d} = 15,68 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

- posouzení na tah kolmo k vláknům $\sigma_{t,90,ap,d}$

$$\sigma_{t,90,ap,d} = 0,188 \text{ MPa} \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d} = 0,105 \text{ MPa}$$

NEVYHOVUJE

- jelikož nosník nevyhověl na tah kolmo k vláknům bude nutné provést následující opatření vedoucí ke zvýšení pevnosti v daném směru

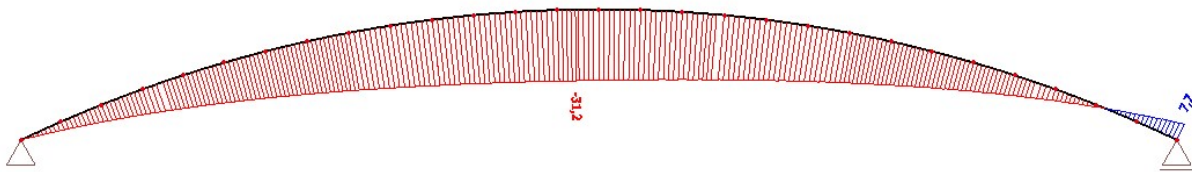
- v celé výšce nosníku je navrženo použití chemicky a požárně odolné výztužné rohože ze skelných vláken s pevností v tahu 320MPa, jedná se o skelnou tkaninu 163g/m² - kepr 2/2, která bude nalepena na vnější povrch nosníků



5. POSOUZENÍ HLAVNÍCH NOSNÝCH PRVKŮ V MSP

5.1 Průhyb

- maximální průhyb je vyvozen od zatížení chodci a cyklisty, pro výpočet průhybu byly použity charakteristické hodnoty proměnného zatížení



Obr. 56: Průhyb od charakteristického rovnoměrného zatížení chodci a cyklisty

5.1.1 Posouzení

$$\delta_{max} = 31,2 \text{ mm}$$

$$\delta_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{24\,500}{250} = 98 \text{ mm}; L - \text{rozpětí pole}$$

$$\delta_{max} = 31,2 \text{ mm} \leq \delta_{lim} = 98 \text{ mm}$$

VYHOVUJE

5.2 Kmitání

- pro výpočet vlastních frekvencí a tvarů bylo ve výpočtu uvažováno pouze kmitání vlastní hmoty nosné konstrukce a zábradlí

- vlastní tíha nosníku byla modelována programem, tíha ostatních prvků nosné konstrukce a zábradlí byla do výpočtu zavedena jako hmota působící ve styčnicku příčnicku a hlavního nosníku na prutu uprostřed o hmotnosti 349kg a na kraji 189kg



5.2.1 Vlastní frekvence

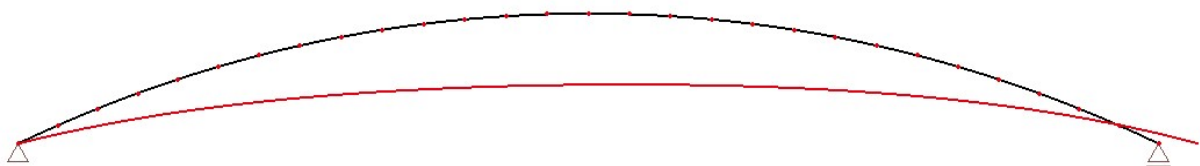
- hodnoty vypočítané modální analýzou v softwaru SCIA Engineer za použití Lanczosovy metody řešení vlastních čísel

| N Kombinace hmot: CM1 | f [Hz] | ω [1/s] | ω^2 [1/s²] | T [s] |
|--|-------------------------|--|--|------------------------|
| 1 | 4,10 | 25,76 | 663,63 | 0,244 |
| 2 | 14,72 | 92,49 | 8554,12 | 0,068 |
| 3 | 30,16 | 189,50 | 35910,58 | 0,033 |
| 4 | 37,90 | 238,13 | 56707,19 | 0,026 |
| 5 | 47,59 | 299,02 | 89411,04 | 0,021 |

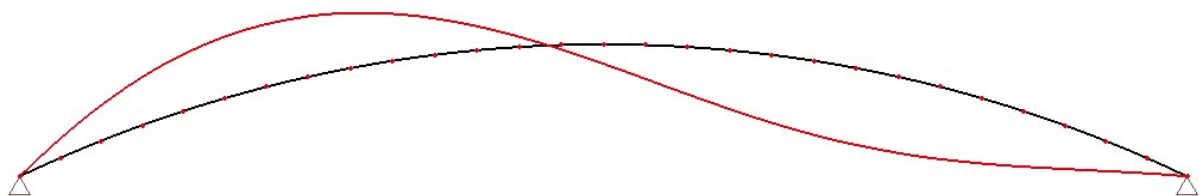
Tab.2.: Vlastní frekvence konstrukce

5.2.2 Vlastní tvary

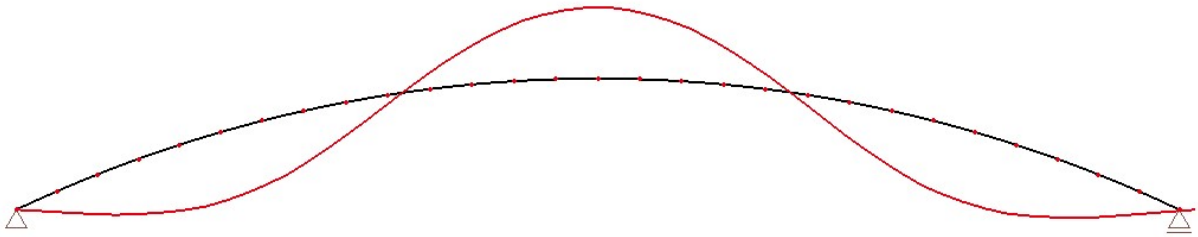
- charakteristické tvary vlastního kmitání ve svislém směru pro dané vlastní frekvence konstrukce



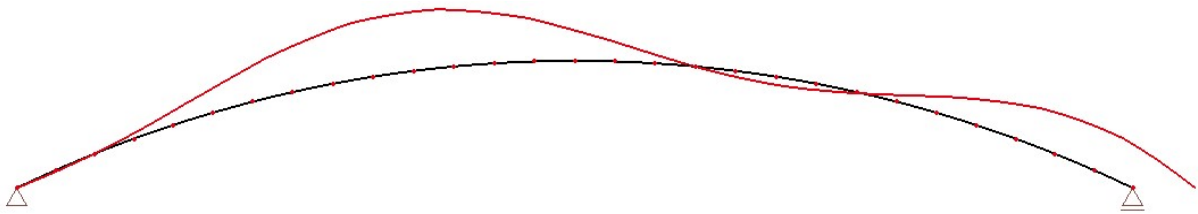
Obr. 57: Vlastní tvar č.1 - 4,10 [Hz]



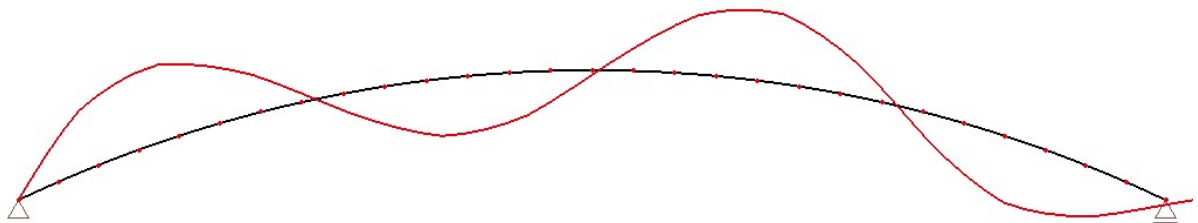
Obr. 58: Vlastní tvar č.2 - 14,72 [Hz]



Obr. 59: Vlastní tvar č.3 – 30,16 [Hz]



Obr. 60: Vlastní tvar č.4 – 37,90 [Hz]



Obr. 61: Vlastní tvar č.5 – 47,159 [Hz]

5.2.3 Posouzení

- frekvence lidského kroku chodce se pohybuje v rozmezí 1,5 – 3,5 Hz, což je kritická oblast, na kterou budeme posuzovat kmitání konstrukce
- z tabulky vlastních frekvencí vygenerované softwarem vyplývá, že hodnota rozhodující vlastní frekvence pro kmitání ve svislém směru je 4,10 Hz

$$f_1 = 4,10 \text{ Hz} \notin (1,5; 3,5) \text{ Hz}$$

VYHOVUJE



6. LOŽISKA

6.1 Silové účinky

- ložiska jsou vystavena silovým účinkům od vlastní tíhy, proměnného zatížení od chodců, cyklistů, rozjezdovým a brzdovým silám, třecím silám na povrchu ložisek a také silovým účinkům od povětrnostních vlivů

6.1.1 Svislé zatížení

- reakce na 1 ložisko

$$R_{z,d} = 179,28 \text{ kN}$$

6.1.2 Vodorovné zatížení

- podélné zatížení od chodců na 1 ložisko

$$R_{x,d} = \frac{\gamma_Q \cdot Q_{v,k}}{n} = \frac{1,35 \cdot 39}{4} = 13,2 \text{ kN}$$

- příčné zatížení od působení tlaku větru na 1 ložisko, plocha konstrukce vystavená větru A

$$A = 26 \cdot 1,8 = 46,8 \text{ m}^2$$

$$R_{x,d} = \frac{f_w \cdot A}{n} = \frac{0,49 \cdot 46,8}{4} = 5,74 \text{ kN}$$

6.2 Prodloužení konstrukce

- potřebná šířka dilatační spáry pro umožnění dilatačního pohybu konstrukce vlivem působení účinků od teploty pro konstrukci zabudované při 15°C, maximální teplotní rozdíl budeme uvažovat jako $\Delta T = 50^\circ\text{C}$

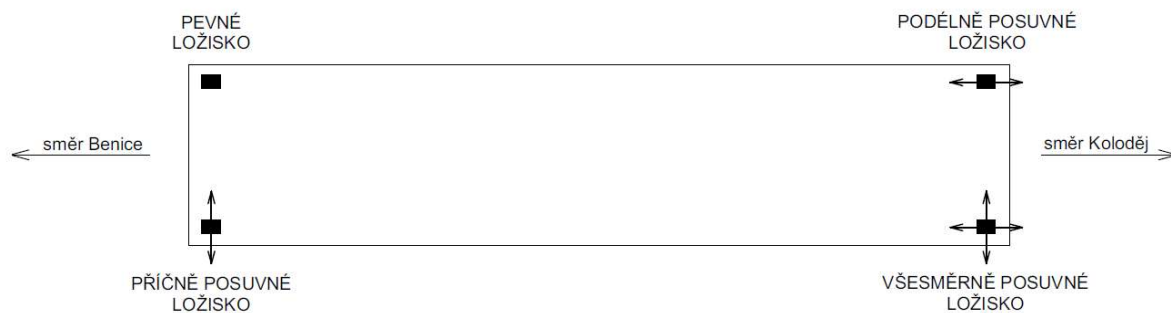
$$\Delta l = l \cdot \alpha \cdot \Delta T = 26\,000 \cdot 5 \cdot 10^{-6} \cdot 50 = 6,5 \text{ mm}$$

6.3 Návrh

- na každé straně budou navržena 2 elastomerová ložiska od společnosti Freyssinet Typu C 150x200 mm se svislou únosností 408 kN a maximálním dovoleným posunem 16 mm



6.4 Uspořádání ložisek



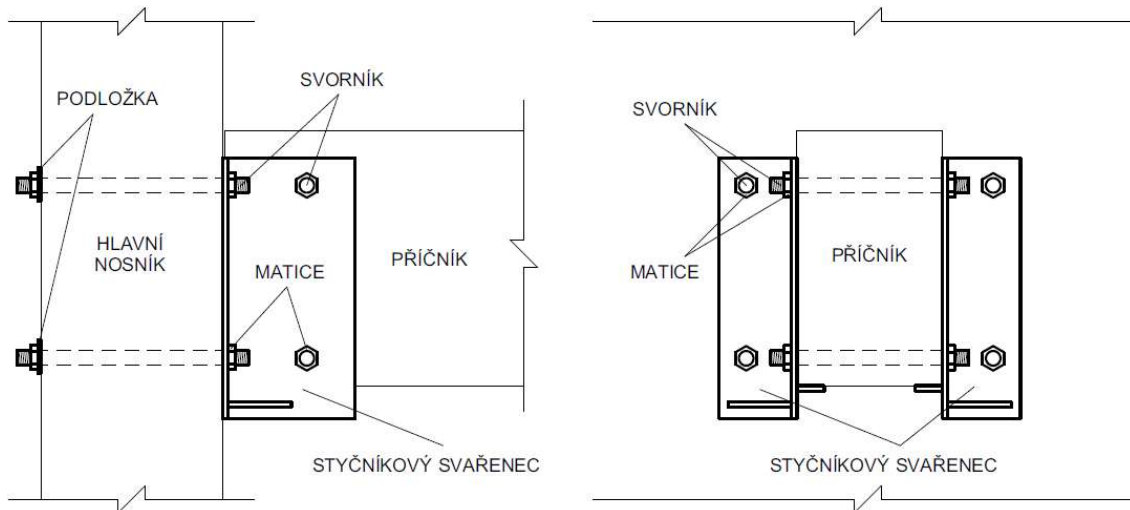
Obr. 62: Schéma uspořádání ložisek



7. NÁVRH A POSOUZENÍ PŘÍPOJE

7.1 Návrh

- přípoj příčnicku a hlavního nosníku bude proveden šroubovým spojem pomocí styčnickového plechu tl. 6 mm z oceli S355 a svorníků 4xM16 6.8



Obr. 63: Přípoj příčnicku k hlavnímu nosníku

7.1.1 Únosnost spoje kolíkového typu

- únosnost spojovacího prostředku pro spoj ocel-dřevo je stanovena Johansenovými vzorci pro danou tloušťku ocelové desky $< 0,5d$ takto:

$$F_{v,Rk,1} = \min \left\{ 0,4 \cdot f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d \right. \\ \left. 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d + \frac{F_{ax,Rk}}{4}} \right\}$$

kde:

$F_{v,Rk}$ – charakteristická únosnost jednoho stříhu jednoho spoj. prostředku [N]

$f_{h,k}$ – charakteristická pevnost v otlacení v dřevěném prvku [N/mm^2]

t_1 – tloušťka dřeva nebo desky nebo hlubka vniku [mm]

d – průměr spojovacího prostředku [mm]

$M_{y,Rk}$ – charakteristický plastický moment únosnosti spoj. prostředku [Nm]

$F_{ax,Rk}$ – charakteristická osová únosnost na vytažení spojovacího prostředku [N]



$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 600 \cdot 16^{2,6} = 243\,211,7 \text{ Nmm}$$

kde:

$f_{u,k}$ – charakteristická pevnost v tahu [N/mm^2]

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16) \cdot 380 = 26,17 \text{ MPa}$$

kde:

$f_{h,0,k}$ – charakteristická pevnost v otláčení rovnoběžně s vlákny [N/mm^2]

ρ_k – charakteristická hustota dřeva [kg/m^3]

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

kde:

$f_{h,\alpha,k}$ – charakteristická pevnost v otláčení v daném směru [N/mm^2]

k_{90} – součinitel dle tabulky pro LVL [kg/m^3]

α – úhel zatížení vzhledem k vláknům [$^\circ$]

$$k_{90} = 1,3 + 0,015 \cdot d = 1,3 + 0,015 \cdot 16 = 1,54$$

$$f_{h,k} = f_{h,90,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 90 + \cos^2 90} = \frac{26,17}{1,54 \cdot \sin^2 90 + \cos^2 90} = 17,0 \text{ MPa}$$

- jelikož neznáme osovou únosnost na vytažení spoj. prvku $F_{ax,Rk}$, tento příspěvek k únosnosti ve výpočtu na straně bezpečnosti zanedbáme a budeme jej uvažovat roven nule

$$F_{v,Rk,1} = \min \left\{ \frac{0,4 \cdot 17 \cdot 206 \cdot 16}{1,15 \cdot \sqrt{243\,211,7 \cdot 17 \cdot 16} + \frac{0}{4}} \right\} = \min \left\{ \begin{matrix} 22\,408 \\ 13\,226 \end{matrix} \right\} = 13\,226 \text{ N} = 13,23 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd,1} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk,1}}{\gamma_M} = 0,7 \cdot \frac{13,23}{1,25} = 7,41 \text{ kN}$$

- celková únosnost čtveřice svorníků

$$F_{v,Rd} = n \cdot F_{v,Rd,1} = 4 \cdot 7,41 = 29,6 \text{ kN}$$



7.2 Posouzení

$$F_{Ed} = (Q + G)_d = (13,13 + 3,48) \cdot 1,35 = 22,43 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = 29,6 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = 29,6 \text{ kN} \geq F_{Ed} = 22,43 \text{ kN}$$

VYHOVUJE



8. ZÁVĚR

Cílem této práce bylo navrhnout a posoudit nové kapacitnější řešení umožňující přepravu pěší a cyklistické dopravy.

Navržená konstrukce vyhovuje při splnění výše uvedených předpokladů, tj. užití prvků s materiálovými a geometrickými parametry, na které byl proveden tento výpočet. Vlastní kruhové frekvence konstrukce se nacházejí mimo nebezpečné oblasti.

Miroslav Čáp



Použitá literatura:

- [1] KUKLÍK, Petr a kolektiv; *Příručka 1 – Dřevěné konstrukce*, První vydání 2008
- [2] KUKLÍK, Petr a kolektiv; *Příručka 2 – Navrhování dřevěných konstrukcí podle Eurokódu5*, První vydání 2008
- [3] DOLEJŠ, Jakub; *Přednášky k předmětu Dřevěné konstrukce*
- [4] STUDNIČKA, Jiří; HOLICKÝ, Milan. *Ocelové konstrukce 20, Zatížení staveb podle Eurokódu*. Vydavatelství ČVUT, 2003
- [5] VRANÝ, Tomáš; WALD, František. *Ocelové konstrukce, Tabulky*. Vydavatelství ČVUT, 2005

Normy:

- [1] ČSN EN 1995-2: *Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 2: Mosty*. Praha: ČNI, 2006

VÝKRESOVÁ ČÁST

Seznam výkresů:

- Půdorys a podélný řez lávky 1:100
- Příčný řez 1:20
- Čelní a boční pohled lávky 1:100/50
- Konstrukční detaily 1:5
- Situace stavby 1:500