

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta stavební

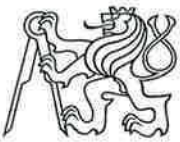
Bakalářská práce



Prohlídka lávky přes Patočkovu ulici

Autor: Lukáš Nálepa

Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. Jakub Dolejš



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Nálepa Jméno: Lukáš Osobní číslo: 410060

Zadávací katedra: K134

Studijní program: SI

Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Prohlídka ocelové lávky v Praze 6

Název bakalářské práce anglicky: Examination of a Steel Footbridge in Prague 6

Pokyny pro vypracování:

Provést prohlídku ocelové lávky, popsat statické chování a stav nosné konstrukce, provést orientační statický výpočet hlavních prvků. Rozsah celkem cca 40 stran textu.

Seznam doporučené literatury:

Předán osobně.

Jméno vedoucího bakalářské práce: J. Dolejš

Datum zadání bakalářské práce: 8.2.2017

Termín odevzdání bakalářské práce: 28.5.2017

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“.

8.2.2017

Datum převzetí zadání


Podpis studenta(ky)

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem předloženou bakalářskou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Lukáš Nálepa

v Praze 18. 5. 2017

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval doc. Dr. Ing. Jakubu Dolejšovi za odborné vedení a vlídný přístup s dávkou vtipu. Poděkovat bych chtěl také za poskytnutí podkladů z prohlídky firmy TopCon s. r. o.

ANOTACE

Náplní bakalářské práce byla prohlídka lávky pro chodce a cyklisty v Praze-Střešovicích přes ulici Patočkova. Z prohlídky byla pořízena fotodokumentace a byla změřena geometrie lávky a dimenze jednotlivých prvků. Dle prohlídky a fotodokumentace byl zhodnocen stavebně technický stav a bylo popsáno statické působení nosných prvků. Nakonec byla konstrukce prověřena orientačním statickým výpočtem.

KLÍČOVÁ SLOVA

ocel, lávka, ocelová konstrukce, příhradová konstrukce, výpočet, prohlídka

ANNOTATION

The bachelor's thesis was an inspection of a footbridge in Prague-Střešovice via Patočkova street. The photo documentation was taken from the inspection and the geometry of the footbridge and the dimensions of the individual elements were measured. According to the examination and photo documentation, the structural-technical condition was evaluated and the static effect of the supporting elements was described. Finally, the design was verified by an orientation static calculation.

KEY WORDS

steel, footbridge, lattice truss, static calculation, examination

Obsah

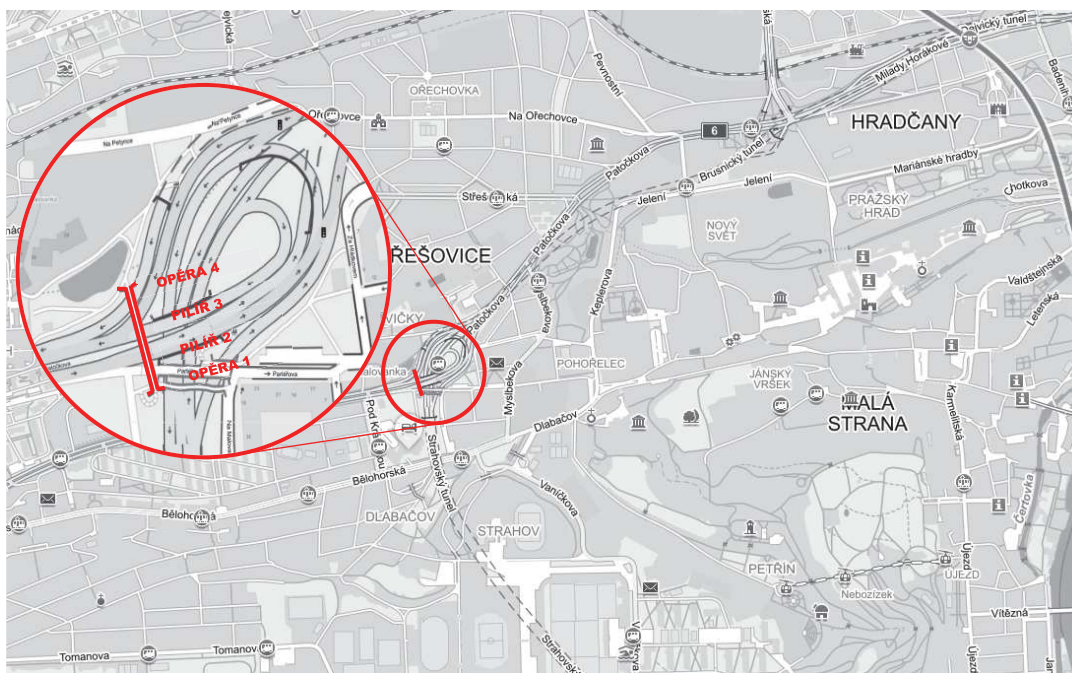
1 Úvod	7
2 Prohlídka mostu	8
2.1 Obecný popis lávky	8
2.2 Hlavní nosná konstrukce	9
2.3 Mostovka	11
2.4 Ztužení mostu	11
2.5 Ložiska	12
2.6 Mostní závěry	13
2.7 Mostní svršek	13
2.8 Mostní vybavení	13
2.9 Technický stav konstrukce	14
2.9.1 Mostní podpěry	14
2.9.2 Nosná konstrukce	15
2.9.3 Ložiska a mostní závěry	16
2.9.4 Odvodnění	16
2.9.5 Svodidla a zábradlí	16
3 Statický výpočet	17
3.1 Předpoklady a zjednodušení	17
3.2 Materiál nosné konstrukce	18
3.3 Ortotropie mostovky	18
3.3.1 Výpočet účinků boulení	19
3.3.2 Smykové ochabnutí a jeho kombinace s boulením	21
3.3.3 Průřezové charakteristiky	25
3.4 Zatížení	25
3.4.1 Zatížení stálé	25
3.4.2 Zatížení proměnné	25
3.5 Výpočet vnitřních sil	26
3.6 Dynamický výpočet	27
3.7 Výpočet průhybu	28

4	Posouzení únosnosti.....	28
4.1	Posouzení horního pásu.....	28
4.2	Posouzení dolního pásu	30
4.3	Posouzení diagonály	31
4.4	Posouzení příčnicku	33
5	Závěr.....	35
	Seznam příloh	36
	Seznam obrázků	37
6	Reference	38

1 Úvod

Tato práce se zabývá ocelovou lávkou přes Patočkovu ulici v místě výjezdů z tunelu Blanka a Strahovského tunelu (viz *Obrázek 1*). Pro chodce a cyklisty je to jediný mimoúrovňový přechod dopravně vytížené ulice v okruhu 1 km.

Záměrem této zprávy je popis aktuálního stavu a současně jeho zhodnocení, dále bude věnována velká pozornost statickému působení hlavní nosné konstrukce a funkcím jednotlivých nosných prvků. Na závěr budou orientačním výpočtem ověřeny dimenze vybraných nosných částí. Jelikož nebylo možné změřit tloušťky stěn trubkových nosníků použil jsem vzorový příčný řez, který mi poskytla firma TopCon s. r. o. Při prohlídce byla pořízena i fotodokumentace.



Obrázek 1: Geografické umístění lávky¹

¹ Zdroj: Mapy.cz

2 Prohlídka mostu

Prohlídku jsem provedl 23. února 2017 po 4 hodině odpoledne. Teplota se pohybovala kolem 10 °C. Záměrem prohlídky bylo změření celkových rozměrů lávky, dimenzí všech nosných prvků a zjištění způsobu uložení. Jako měřicí nástroje jsem používal dvacetimetrové pásmo, svinovací pětimetrové pásmo a metrovou vodorovnou váhu pro změření podélného sklonu. Jedná se o velmi hrubý způsob měření, avšak pro orientační výpočet je dostačující. Protože byly všechny trubkové profily hermeticky uzavřeny, nedokázal jsem s mými měřicími prostředky zjistit tloušťky těchto profilů. Jejich hodnoty jsem převzal ze vzorového příčného řezu.

2.1 Obecný popis lávky

Lávka (viz *Obrázek 2*) je tvořena jedinou konstrukcí trémového typu o třech spojitých polích s dolní mostovkou. Rozpětí polí je 21,0 + 30,0 + 33,0 m, délka přemostění 82,9 m a šířka mostu 5,8 m. Půdorysně je lávka přímá, kolmá. V podélném směru je sklon v 1. a 2. poli stejný, ve 3. poli se sklon mění až je více než dvojnásobný.



Obrázek 2: Celkový pohled na lávku

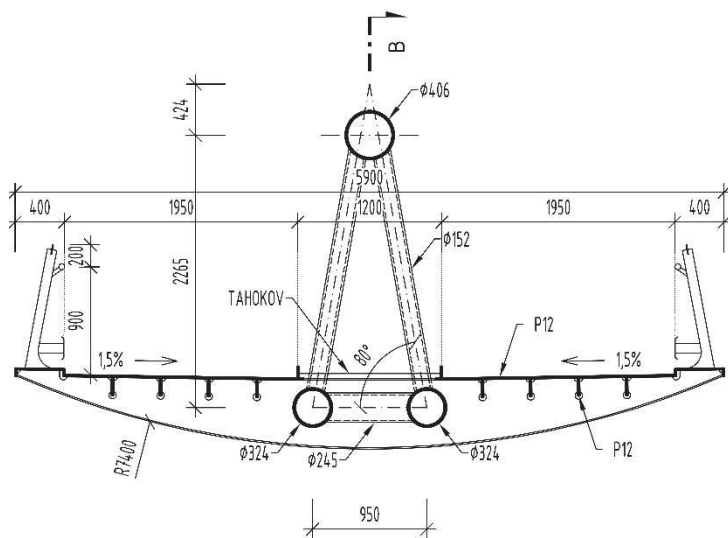
Hlavní nosnou funkci plní příhradový nosník s konstantní výškou. Je zde použito bezsvilicové uspořádání. Nosník tvoří tři ocelové trubky, které jsou v příčném řezu uspořádány do tvaru rovnoramenného trojúhelníku. Všechny nosné spoje jsou svařované. Lávka je s dolní mostovkou umístěnou po obou stranách nosníku. Prostor mezi dvěma spodními pásy nosníku je vyplněn tahokovem, který je zároveň pochozí.

Spodní stavba je tvořena výhradně monolitickým betonem. Křídlo opěry č. 1 volně přechází do stěny podpírající zakřivené schodiště a bezbariérový přístup je zajištěn výtahem. Na opačné straně se nachází přístupové schodiště a rampa. Pilíře jsou zhruba elipsovitého průřezu o největších rozměrech $1,8 \times 0,4$ m a jejich hlavní poloosa je rovnoběžná s osou komunikace, tím je zlepšena odolnost proti nárazu. Jelikož spodní stavba není náplní této práce, dále se jí věnovat nebudu.

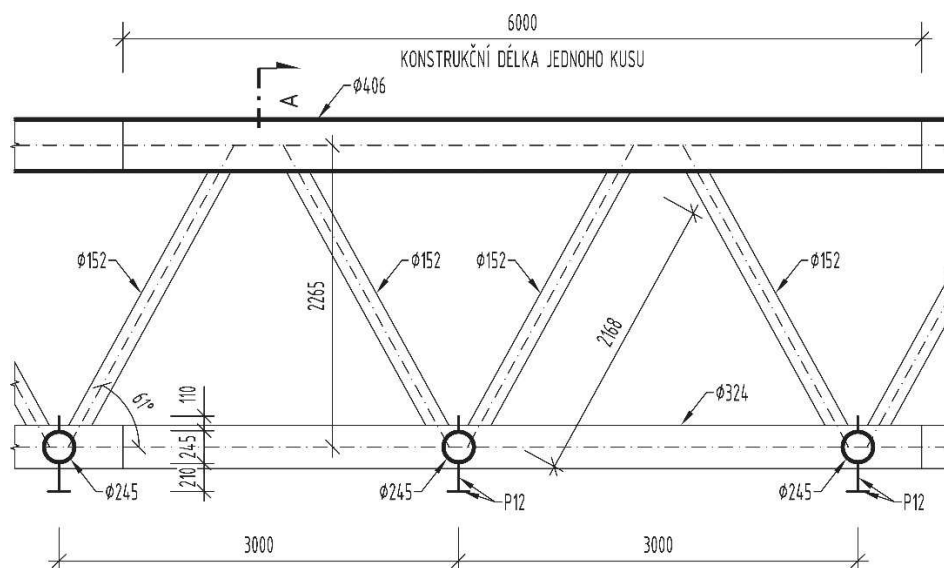
2.2 Hlavní nosná konstrukce

Příhradový nosník je zde hlavní nosnou konstrukcí a jsou na něj soustředěna jak užitná, tak proměnná zatažení. Nosník má konstantní výšku 2265 mm a jeho délka mezi osami vnějších ložisek činí 84,0 m. Jedná se o bezsvilicovou soustavu tvořenou třemi podélnými pruty, mezi kterými se nachází diagonály v úhlu 80° v příčném a 61° v podélném směru (viz *Obrázek 4*). Prostorovou stálost průřezu zajišťují příčné pruty mezi dolními dvěma pásy. Podle těchto příčných prutů lze nosník rozdělit na 28 příhradových polí o délce 3,0 m. Celý nosník je podélně vyspádován tak, že nejvyšší bod se nachází nad opěrou 1 a nejnižší nad opěrou 4. Mezi opěrou 1 a pilířem 3 je podélný sklon 3,0 %, poslední pole se nachází ve výškovém oblouku a podélný sklon zde dosahuje hodnoty 7,0 %. Konstantní výška nosníku je zachována i v zaoblené části.

Horní pás tvoří bezešvá trubka o průměru 406 mm a tloušťce² 16 mm, stejně tak jsou i dva dolní pásy tvořeny bezešvými trubkami o průměru 324 mm a tloušťce² 16 mm. Z konstrukčních důvodů se těžiště horního pásu nenachází ve vrcholu teoretického rovnoramenného trojúhelníku. Diagonály jsou tvořeny trubkami o průměru 152 mm a tloušťce² 12,5 mm. Příčné pruty nosníku jsou vyrobeny z trubek o průměru 245 mm a tloušťce² 16 mm. Bližší představu o tvaru nosníku poskytne *Obrázek 3* a *Obrázek 4*.



Obrázek 3: Příčný řez



Obrázek 4: Podélný řez

² Převzato ze vzorového příčného řezu poskytnutého firmou Top Con s. r. o.

2.3 Mostovka

Na lávce je použita varianta dolní mostovky na obou stranách nosníku a prostor mezi pochozími částmi je vyplněn plechem typu Tahokov. Niveleta³ převáděné komunikace je vedena nejnižším místem pochozí části mostovky (viz *Obrázek 3*).

Ze statického hlediska se jedná o ortotropní mostovku, kde nosnou desku tvoří ocelový plech tloušťky 12 mm, který je vyztužen podélnými výztuhami o rozměrech 150×16 mm v osových vzdálenostech 400 mm. Příčníky jsou ve vzdálenostech 3,0 m a jejich spodní pás je zakřivený, jak je možné vidět v příčném řezu. Příčníky jsou svařované a v podélném řezu mají tvar obráceného písmene T. Stojina i pásnice příčníku jsou z plechu tloušťky 12 mm. Pro zmenšení vrubového účinku svarů jsou v místech, kde svar podélníku prochází příčnickem je v příčnicku vyříznut větší otvor.

2.4 Ztužení mostu

Hlavní nosník poskytuje díky svému trojúhelníkovému průřezu dostatečnou příčnou tuhost, a proto zde ztužidlo není nutné. Mostovku lze uvažovat jako spojitou desku a díky tomu, tak kromě své základní funkce plní i funkci příčného ztužení.

³ Převzato ze vzorového příčného řezu poskytnutého firmou Top Con s. r. o.

2.5 Ložiska

Lávka je na všech podporách uložena kloubově, takže její statické schéma odpovídá spojitě uloženému nosníku. Ložiska jsou všechny hrncového typu a jsou uspořádaná tak, že na opěře 1 a obou pilířích jsou ložiska podélně posuvná a na nejnižší opěře 4 jsou ložiska pevná. Dilatační posuny v příčném směru jsou díky malé šířce lávky minimální a na jejich pokrytí stačí vůle v ložiscích. Proti nadzdvihnutí ať z důvodu nepříznivého nahodilého zatížení nebo z důvodu nárazu vozidla, je lávka v podpěrách kotvena dvěma táhly. Tyto táhla jsou připojena ke stojině příčnicku a následně kotvena do úložného prahu, jak je názorně vidět na *Obrázek 5*.



Obrázek 5: Uložení na opěře 1

2.6 Mostní závěry

Dilatační pohyby lávce umožňují lamelové mostní závěry. Konstrukce mostovky je v místě závěru ukončena svislým plechem (viz *Obrázek 5*), na který přímo navazuje lamela, do níž je vložen gumový profil. Pro pohodlí chodců a cyklistů je spára mostního závěru zaklopena plechem, který je na jedné straně přikotven šrouby.

2.7 Mostní svršek

Povrchová úprava je realizována jako tenkovrstvý epoxidový nátěr, do kterého byla následně zaválcována jemná kamenná drť pro zvýšení drsnosti. Toto souvrství plní obrušnou i izolační funkci. Bylo možné použít obvyklou tloušťku 12 mm pro plech mostovky, jelikož rozměry pochozí části nedovolují vjezd vozidel. Vozidla by skrze tenké vozovkové souvrství působila nepříznivým soustředěným tlakem, který by způsoboval nadměrné deformace mostovky.

2.8 Mostní vybavení

Lávka není osvětlená a k její kontrole není nutná revizní lávka, kontrolu lze v celé délce provést z terénu. Bezpečnost pěšího provozu zajišťuje zábradlí, které se skládá z mřížové výplně a sloupků z páskové oceli. Je doplněno madlem ve výšce 0,9 m a vodící bariérou pro vozíčkáře. Horní hrana zábradlí se nachází ve výšce 1,1 m.

2.9 Technický stav konstrukce

2.9.1 Mostní podpěry

Na opěře 1 nebyla provedena půlkruhová trubka a voda stéká po opěře viz *Obrázek 6*. Stejný problém se nachází i na opěře 4, kde odvodňovací trubka není vytažena před líc dřívku a voda tak stéká po konstrukci viz *Obrázek 7*.



Obrázek 6: Odvodnění opěry 1



Obrázek 7: Odvodnění opěry 4

2.9.2 Nosná konstrukce

Na nosné konstrukci bylo objeveno jen několik míst s narušením ochranného nátěru a počínající korozi. Jednalo se jen o drobné závady, které nenarušují funkci ani estetiku konstrukci. První závada byla objevena na mostním závěru na opěře 1 viz *Obrázek 8*. Druhá závada se nacházela před opěrou 4 na spodní straně trubky tvořící dolní pás příhradového nosníku viz *Obrázek 9*. Kromě těchto závad nebylo na lávce objeveno žádné další porušení nátěru. Protikorozní ochrana byla provedena velmi kvalitně.



Obrázek 8: Mostní závěr na opěře 1



Obrázek 9: Poškození nátěru dolního pásu

2.9.3 Ložiska a mostní závěry

Ložiska jsou vizuálně v pořádku, pro detailní kontrolu jsou nepřístupná.

Mostní závěr je přiklopen ocelovým plechem, proto byla kontrola v celé jeho délce nemožná. Na okrajích mostního závěru bylo vidět mírné zanesení. Gumový profil byl bez viditelných poškození.

2.9.4 Odvodnění

Odvodňovací systém je v bezvadném stavu. Lapače na mostovce byli čisté, případně s malým nánosem posypového písku.

2.9.5 Svodidla a zábradlí

Žádná část zádržného systému nevykazuje poškození, protikorozní ochrana je bez vad. Nevyhovující je pouze výška zábradlí. Protože se na lávce pohybují i cyklisté mělo by madlo být ve výšce 1.35 m. V současnosti je madlo ve výšce 1.1 m.

3 Statický výpočet

Bude zde proveden pouze orientační výpočet, ve kterém se budu zajímat, zda lávka vyhoví v současnosti platným normám. Na mezní stav únosnosti budu posuzovat pouze horní pásu, dolní pás a diagonály příhradového nosníku. Na výpočet vnitřních sil budu využívat program Scia Engineer [1] s volbou 2D příhradového modelu.

3.1 Předpoklady a zjednodušení

Lávka je tvořena prostorovým příhradovým nosníkem a dolní ortotropní mostovkou. Zatížení se bude z mostovky do nosníku přenášet skrze příčníky. Tuhost příčníku ve směru rovnoběžném s osou mostu budu předpokládat dostatečně velkou na to, aby mostovka spolupůsobila s příhradovým nosníkem a podílela se na únosnosti lávky. Přípoje diagonál jsou reálně provedené jako svařované, zde budu modelovat kloubový přípoj.

Celá konstrukce se nachází v podélném sklonu, který v modelu zahrnu jeho pootočením na 3,0 %, což je převažující sklon konstrukce. Horizontální síla způsobená podélným sklonem bude přenesena pevným ložiskem.

Pro zjednodušení výpočtu budu mostovku v příčném směru považovat za vodorovnou. Ortotropní chování mostovky budu v modelu vystihovat smykovým ochabnutím v kombinaci s lokálním boulením.

Model bude tvořen 2D příhradou, přičemž horní trubka a diagonály budou modelované jako skutečné trubky. Dolní dvě trubky a mostovka budou nahrazeny fiktivním průřezem s momentem setrvačnosti k těžišti jejich společného průřezu.

3.2 Materiál nosné konstrukce

Lávka byla vyrobena z oceli S355, údaj o kvalitě oceli jsem zjistil z technické zprávy firmy Top Con s. r. o. Bezpečnostní součinitele a meze kluzu pro tuto ocel jsou dle normy ČSN EN 1993-2 [2] $\gamma_{M0} = 1,00$; $\gamma_{M1} = 1,10$; $\gamma_{M2} = 1,25$. Charakteristiky oceli jsou podle normy ČSN EN 1993-1-1 [3].

$$f_{y,k} = 355 \text{ MPa}$$

$$f_{y,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} = \frac{355}{1,00} = 355 \text{ MPa}$$

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

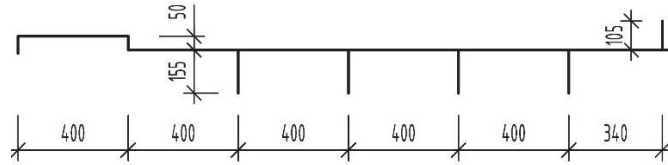
3.3 Ortotropie mostovky

Jak již bylo řečeno v bodu 3.1, mostovka spolupůsobí s hlavním nosným systémem, a proto ji lze považovat za širokou tlačnou/taženou pásnici, na které se budou projevovat jevy spojené se smykovým ochabnutím a boulením mezi podélnými výztuhami. Pro řešení tohoto problému jsem využíval skripta [4] a normu ČSN EN 1993-1-5 [5].

Konstrukci jsem rozdělil na 7 průřezů a to na průřezy v místech uložení a uprostřed polí. U tlačných průřezů 3 a 5 je ve výpočtu počítáno s boulením mezi podélnými výztuhami, ostatní průřezy podléhají pouze smykovému ochabnutí.

3.3.1 Výpočet účinků boulení

Následující postup vychází z ČSN EN 1993-1-5 [5].



Obrázek 10: Schematická geometrie mostovky

Poměr napětí dle Tab. 4.1-Vnitřní tlačené části:

$$\text{konstantní průběh napětí } \psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 1,0$$

Součinitel kritického napětí:

$$k_\sigma = 4,0 \quad \text{viz Tab. 4.1}$$

Poměrná štíhlost $\bar{\lambda}_p$:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\bar{b}/t}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}}$$

$$\text{pro os. vzdálenost 400 mm: } \bar{\lambda}_{p,1} = \frac{400/12}{28,4 \cdot 0,814 \cdot \sqrt{1}} = 0,721$$

$$\text{pro os. vzdálenost 340 mm: } \bar{\lambda}_{p,2} = \frac{340/12}{28,4 \cdot 0,814 \cdot \sqrt{1}} = 0,613$$

Součinitel boulení ρ :

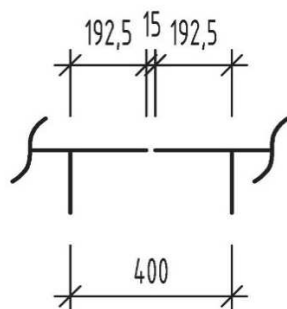
$$0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 \cdot \psi} = 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 \cdot 1} = 0,673$$

$$\bar{\lambda}_{p,1} = 0,721 > 0,673 \rightarrow \rho_1 = \frac{\bar{\lambda}_{p,1} - 0,055 \cdot (3 + \psi)}{\bar{\lambda}_{p,1}^2}$$

$$\rho_1 = \frac{0,721 - 0,055 \cdot (3 + 1)}{0,721^2} = 0,963$$

$$\bar{\lambda}_{p,2} = 0,613 < 0,673 \rightarrow \rho_2 = 1,0$$

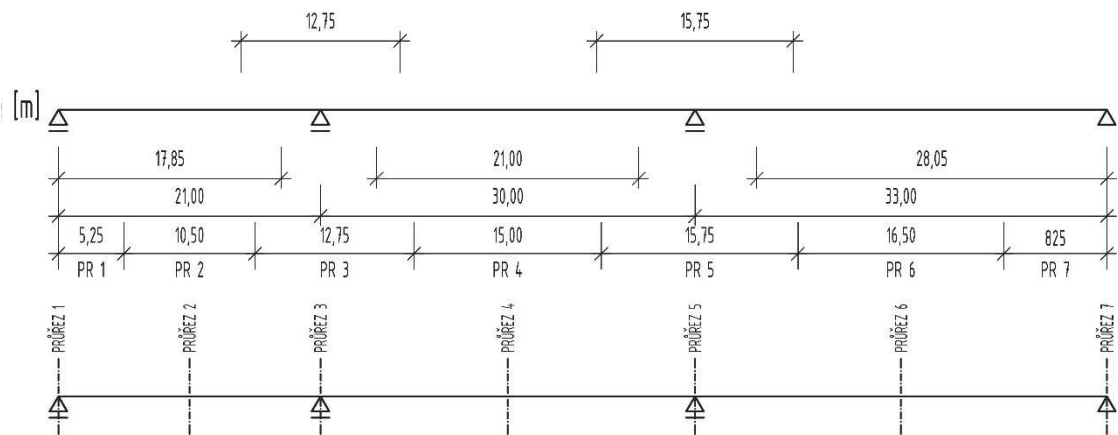
Z předešlého je vidět, že vliv boulení je malý. Procentuálně lze říct, že mezi výztuhami v osové vzdálenosti 400 mm boulí 3,7 % délky, což je přibližně 15 mm. V úseku mezi výztuhami ve vzdálenosti 340 mm k boulení nedochází vůbec. Výsledek jsem graficky znázornil na *Obrázek 11*. Vyboulená část je odebrána, a tedy se nijak nepodílí na únosnosti průřezu.



Obrázek 11: Boulení mostovky

3.3.2 Smykové ochabnutí a jeho kombinace s boulením

Následující postup vychází z ČSN EN 1993-1-5 [5]. Po dohodě s vedoucím bakalářské práce ve výpočtu neuvažují celkové boulení, ale pouze boulení subpanelů. Postup výpočtu se v jednotlivých průřezích opakuje podle namáhání nosníku a polohy řezu. Při výpočtu jsou použity tři postupy, které zde předvedu na třech průřezích a u zbylých průřezů vypíšu součinitel smykového ochabnutí a znázorním je graficky na *Obrázek 13*.



Obrázek 12: Rozdělení účinné délky, rozmístění průřezů a oblast jejich platnosti

Účinnou šířku mostovky získáme přenásobením její skutečné šířky b_0 součinitelem β , který se určí na základě součinitele κ .

$$b_{eff,i} = b_0 \cdot \beta_i$$

Průřez 2: smykové ochabnutí.

Plocha všech výztuh: $A_{sl} = 4 \cdot 150 \cdot 16 + 100 \cdot 12 + 62 \cdot 12 + 68 \cdot 12 = 12\,360 \text{ mm}^2$

$$\alpha_0^s = \sqrt{1 + \frac{A_{sl}}{b_0 \cdot t}} = \sqrt{1 + \frac{12355}{2340 \cdot 12}} = 1,195$$

$$\kappa^s = \frac{\alpha_0^s \cdot b_0}{L_e} = \frac{1,162 \cdot 2340}{17850} = 0,163$$

$$\text{dle Tab. 3.1 } \beta_2 = \frac{1}{1 + 6,4 \cdot \kappa^{s2}} = \frac{1}{1 + 6,4 \cdot 0,163^2} = 0,855$$

Efektivní šířka:

$$b_{eff,2} = b_0 \cdot \beta_2 = 2340 \cdot 0,855 \doteq 2000 \text{ mm}$$

Průřez 1: smykové ochabnutí.

$$\alpha_0^s = \sqrt{1 + \frac{A_{sl}}{b_0 \cdot t}} = \sqrt{1 + \frac{12355}{2340 \cdot 12}} = 1,195$$

$$\kappa^s = \frac{\alpha_0^s \cdot b_0}{L_e} = \frac{1,162 \cdot 2340}{17850} = 0,163$$

$$\text{dle Tab. 3.1 } \beta_1 = \left(0,55 + \frac{0,025}{\kappa^s}\right) \cdot \beta_2 = \left(0,55 + \frac{0,025}{0,163}\right) \cdot 0,855 = 0,601$$

$$\beta_2 = 0,855 > \beta_1 = 0,601 \text{ VYHOVUJE}$$

Efektivní šířka:

$$b_{eff,1} = b_0 \cdot \beta_1 = 2340 \cdot 0,601 \doteq 1405 \text{ mm}$$

Průřez 3: kombinace boulení a smykového ochabnutí.

Efektivní plocha průřezu: $A_{c,eff} = A_{sl} + A_{loc}$,

kde $A_{sl} = 12\,355\text{ mm}^2$ plocha všech výztuh (viz výpočet výše)

$A_{loc} = \sum \rho \cdot b_i \cdot t$ – plocha pásnice s vyloučením vyboulených úseků

$$A_{loc} = 5 \cdot 0,963 \cdot 400 \cdot 12 + 1,0 \cdot 340 \cdot 12 \doteq 27\,190\text{ mm}^2$$

$$A_{c,eff} = 12355 + 27190 = 39\,545\text{ mm}^2$$

$$\alpha_0^p = \sqrt{\frac{A_{c,eff}}{b_0 \cdot t}} = \sqrt{\frac{39545}{2340 \cdot 12}} = 1,186$$

$$\kappa^p = \frac{\alpha_0^p \cdot b_0}{L_e} = \frac{1,186 \cdot 2340}{12750} = 0,217$$

$$\begin{aligned} \text{dle Tab. 3.1 } \beta_3 &= \frac{1}{1 + 6 \left(\kappa^p - \frac{1}{2500 \cdot \kappa^p} \right) + 1,6 \cdot \kappa^{p2}} = \\ &= \frac{1}{1 + 6 \left(0,217 - \frac{1}{2500 \cdot 0,217} \right) + 1,6 \cdot 0,217^2} = 0,417 \end{aligned}$$

Efektivní šířka:

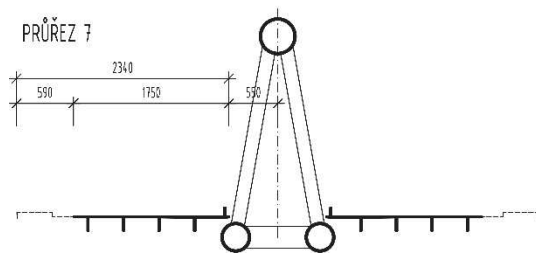
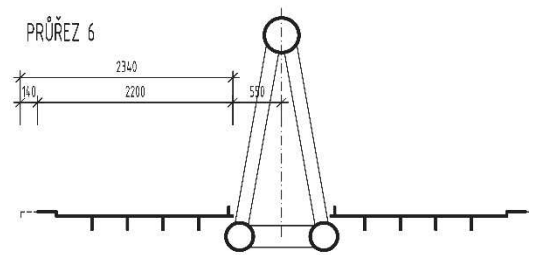
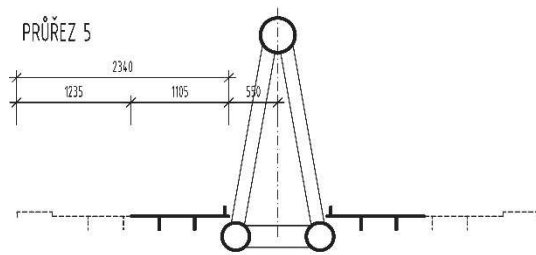
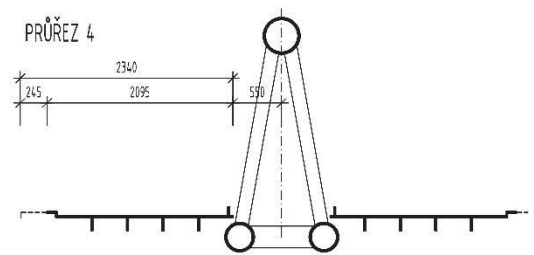
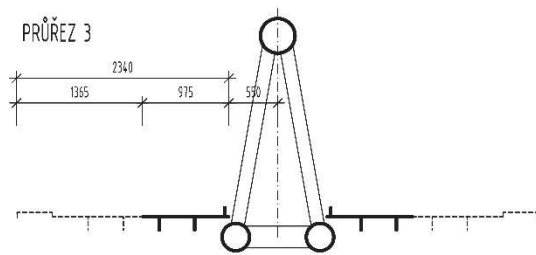
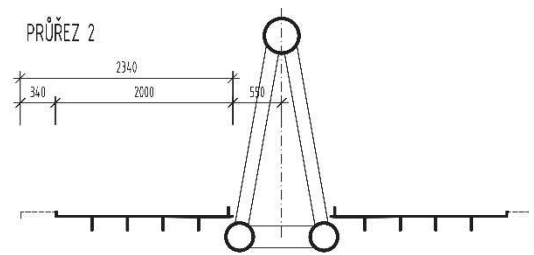
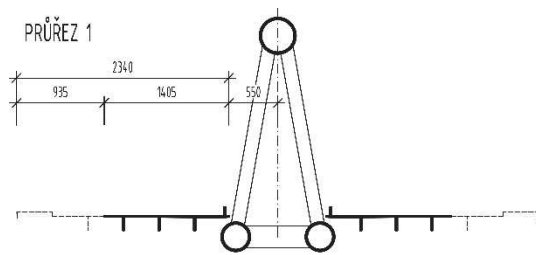
$$b_{eff,3} = b_0 \cdot \beta_3 = 2340 \cdot 0,417 \doteq 975\text{ mm}$$

Průřez 4: $\beta_4 = 0,896, b_{eff,4} \doteq 2095\text{ mm}$

Průřez 5: $\beta_5 = 0,472, b_{eff,5} \doteq 1105\text{ mm}$

Průřez 6: $\beta_6 = 0,939, b_{eff,6} \doteq 2200\text{ mm}$

Průřez 7: $\beta_7 = 0,749, b_{eff,7} \doteq 1750\text{ mm}$



Obrázek 13: Geometrie efektivních průřezů

3.3.3 Průřezové charakteristiky

Pro zjištění momentu setrvačnosti jsem použil automatický výpočet v programu AutoCAD [6]. Zde uvedu už jen výsledky.

$$\text{Průřez 1: } I_y = 0,001315 \text{ m}^4 \quad A = 0,081482 \text{ m}^2$$

$$\text{Průřez 2: } I_y = 0,001463 \text{ m}^4 \quad A = 0,101745 \text{ m}^2$$

$$\text{Průřez 3: } I_y = 0,001183 \text{ m}^4 \quad A = 0,066363 \text{ m}^2$$

$$\text{Průřez 4: } I_y = 0,001503 \text{ m}^4 \quad A = 0,104025 \text{ m}^2$$

$$\text{Průřez 5: } I_y = 0,001223 \text{ m}^4 \quad A = 0,069483 \text{ m}^2$$

$$\text{Průřez 6: } I_y = 0,001545 \text{ m}^4 \quad A = 0,106545 \text{ m}^2$$

$$\text{Průřez 7: } I_y = 0,001400 \text{ m}^4 \quad A = 0,094563 \text{ m}^2$$

3.4 Zatížení

3.4.1 Zatížení stálé

Zatížení stálé bude představovat tíhu konstrukce zvětšenou o bezpečnostní součinitel $\gamma_G = 1,35$ podle ČSN EN 1990/A1 [7]. Zatížení bude do výpočtu vnesenou automaticky výpočetním programem.

3.4.2 Zatížení proměnné

Svislé rovnoměrné zatížení budu uvažovat 5 kNm^{-2} ČSN EN 1991-2 [8] se součinitelem $\gamma_Q = 1,35$ podle ČSN 1990/A1 [7]. Rozložení zatížení budu modelovat

ve třech variantách tak, abych na konstrukci vyvodil největší vnitřní síly. V prvním případě budu zatěžovat pole 1 a pole 3. V následujícím modelu budu zatěžovat pouze prostřední pole. Poslední model bude vystihovat nerovnoměrné rozložení zatížení, pole 2 a pole 3

Proměnné zatížení bude do příhradového nosníku putovat skrze příčníky se zatěžovací šířkou rovnou vzdálenosti mezi příčníky. Jelikož používám 2D model, budu do uzlů umisťovat sílu dvounásobné velikosti.

Zatížení proměnné		char. hodnota q_k [kN]	souč. γ	návrh. hodnota q_d [kN]
šířka chodníku \times vzd. příčníků $\times q_k$	1,95 \times 3,0 \times 5,0	29,25	1,35	34,49
CELKEM		29,25		34,49

3.5 Výpočet vnitřních sil

K výpočtu jsem použil program Scia Engineer [1], ve kterém jsem zatížil dva modely lávky. První model je přímý a druhý ve 3,0 % sklonu, tak aby lépe vystihoval skutečnou konstrukci. Největších vnitřních sil v horním pásu a diagonále jsem dosáhl přímým modelem, největší vnitřní síla v dolním pásu vznikla v nakloněném modelu.

Jednotlivé zatěžovací stavy jsou vidět v příloze *ZATĚŽOVACÍ STAVY*. Kombinace zatížení jsou rozděleny na tři, kdy se v každé nachází vlastní tíha a jeden model proměnného zatížení. Kombinace jsem nakonec spojil do obálky vnitřních sil. Výsledky, které dále používám při posouzení, si můžete prohlédnout na příloze *VNITŘNÍ SÍLY*. V této příloze jsou postupně vykresleny osově síly pro horní

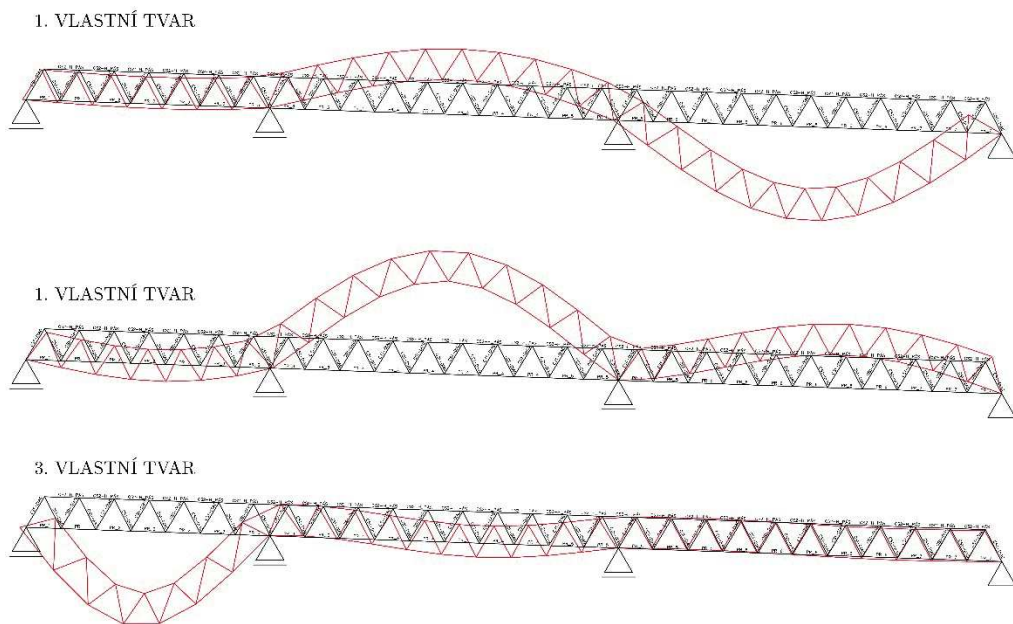
pás, dolní pás a diagonály. Číselně jsou vždy popsány jen největší osově síly pro danou skupinu konstrukčních prvků.

3.6 Dynamický výpočet

Dynamický výpočet zahrnuje zjištění prvních tří vlastních frekvencí a vlastních tvarů kmitání. Tíha konstrukce byla generována automaticky programem podle použitých průřezů. Vyhodnoceny byly oba dva modely lávky. Rozdíly ve výsledcích jsou téměř nepostřehnutelné. Číselné výsledky jsou uvedeny v *Tabulka 1*, grafické znázornění vlastních tvarů se nachází na *Obrázek 14*. Model 1 reprezentuje lávku ve sklonu 2 %, model 2 je přímý. Z výsledků je patrné, že se první vlastní frekvence lávky vyskytuje mimo nebezpečné rozmezí frekvence lidské chůze a díky tomu mezní stav použitelnosti při dynamickém zatížení splňuje.

Tabulka 1: Vlastní frekvence lávky

vlastní frekvence [Hz]	Model 1	Model 2
1.	6,15	6,16
2.	8,22	8,22
3.	12,57	12,59



Obrázek 14: Vlastní tvary kmitání

3.7 Výpočet průhybu

Limitní průhyb lávky, kdy hlavním nosný systém je příhradová konstrukce, je $l \div 700$. Pro nejdelší pole vychází limitní průhyb $33\,000 \div 700 = 47$ mm. Z výpočtu vychází největší průhyb v poli 3 na nakloněném modelu 21,4 mm. Lávka z hlediska průhybu vyhovuje.

4 Posouzení únosnosti

4.1 Posouzení horního pásu

Tlačený prut:

Průřezové hodnoty: **trubka 406×20**

$$A = 24\,253 \text{ mm}^2$$

$$I_y = I_z = 452,92 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$i = 136,7 \text{ mm}$$

Zatřídění průřezu

$$\frac{d}{t} = \frac{406,4}{20} = 20,32 > 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot \left(\sqrt{\frac{235}{355}} \right)^2 = 32,81 \Rightarrow \text{průřez je třídy 1.}$$

Vzpěrná únosnost

Vzpěrná délka: $L_{cr} = 3000 \text{ mm}$

$$\text{Štíhlost při vybočení: } \lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{3\ 000}{136,7} = 21,95$$

Hodnota součinitele vzpěrnosti χ :

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,39$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{21,95}{76,39} = 0,287 \Rightarrow \text{pro křivku } \mathbf{b}: \chi = 0,967$$

$$\text{Návrhová vzpěrná únosnost: } N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,967 \cdot 24\,253 \cdot 355}{1,00} = 8\,208 \text{ kN}$$

$N_{b,Rd} = 8\,208 \text{ kN} > N_{p,Ed} = 1\,526 \text{ kN}$ Prut v tlaku vyhovuje.

Tažený prut:

$$\text{Návrhová únosnost v tahu: } N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{24\,253 \cdot 355}{1,00} = 8\,489 \text{ kN}$$

$N_{pl,Rd} = 8\,489 \text{ kN} > N_{t,Ed} = 1\,454 \text{ kN}$ Prut v tahu vyhovuje.

4.2 Posouzení dolního pásu

Tlačený prut:

Průřezové hodnoty: **trubka 324×16**

$$A = 15\,482 \text{ mm}^2$$

$$I_y = I_z = 184,08 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$i = 109,0 \text{ mm}$$

Zatřídění průřezu

$$\frac{d}{t} = \frac{324}{16} = 20,25 > 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot \left(\sqrt{\frac{235}{355}} \right)^2 = 32,81 \Rightarrow \text{průřez je třídy 1.}$$

Vzpěrná únosnost

Vzpěrná délka: $L_{cr} = 3000 \text{ mm}$

$$\text{Štíhlost při vybočení: } \lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{3000}{109,0} = 27,52$$

Hodnota součinitele vzpěrnosti χ :

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,39$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{20,25}{76,39} = 0,265 \Rightarrow \text{pro křivku } \mathbf{b}: \chi = 0,977$$

$$\text{Návrhová vzpěrná únosnost: } N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,977 \cdot 15\,482 \cdot 350}{1,00} = 5\,294 \text{ kN}$$

$N_{b,Rd} = 5\,294 \text{ kN} > N_{p,Ed} = 1\,135 \text{ kN}$ Prut v tlaku vyhovuje.

Tažený prut:

$$\text{Návrhová únosnost v tahu: } N_{pL,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{15\,482 \cdot 355}{1,00} = 5\,419 \text{ kN}$$

$N_{pL,Rd} = 5\,419 \text{ kN} > N_{t,Ed} = 510 \text{ kN}$ Prut v tahu vyhovuje.

4.3 Posouzení diagonály

Tlačný prut:

Průřezové hodnoty: **trubka 152×12,5**

$$A = 5\,478 \text{ mm}^2$$

$$I_y = I_z = 13,43 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$i = 49,5 \text{ mm}$$

Zatřídění průřezu

$$\frac{d}{t} = \frac{152}{12,5} = 12,16 > 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot \left(\sqrt{\frac{235}{355}} \right)^2 = 32,81 \Rightarrow \text{průřez je třídy 1.}$$

Vzpěrná únosnost

Vzpěrná délka: $L_{cr} = 1\,168\text{ mm}$

$$\text{Štíhlost při vybočení: } \lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{1\,168}{49,5} = 23,60$$

Hodnota součinitele vzpěrnosti χ :

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,39$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{23,60}{76,39} = 0,309 \Rightarrow \text{pro křivku } \mathbf{b}: \chi = 0,961$$

$$\text{Návrhová vzpěrná únosnost: } N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,961 \cdot 5\,478 \cdot 355}{1,00} = 1\,843\text{ kN}$$

$N_{b,Rd} = 1\,843\text{ kN} > N_{p,Ed} = 810\text{ kN}$ Prut v tlaku vyhovuje.

Tažený prut:

$$\text{Návrhová únosnost v tahu: } N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5\,478 \cdot 355}{1,00} = 1\,917\text{ kN}$$

$N_{pl,Rd} = 1\,917\text{ kN} > N_{t,Ed} = 801\text{ kN}$ Prut v tahu vyhovuje.

4.4 Posouzení příčnicku

Příčnick bude modelován jako konzola. Kritický průřez jsem zvolil pod trubkou nosníku. V tomto místě má příčnick nejmenší průřez.

Průřezové hodnoty:

plastická osa: $A_1 = A_2$

$$12 \cdot x = 165 \cdot 12 + 12 \cdot (193 - x)$$

$$x = 179 \text{ mm}$$

plastický modul průřezu W_{pl}

$$W_{pl} = S_{A1} + S_{A2} = 12 \cdot 179 \cdot \frac{179}{2} +$$

$$+ 12 \cdot 165 \cdot \left(\frac{12}{2} + 14 \right) + 12 \cdot 14 \cdot \frac{14}{2} =$$

$$= 233,02 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$e_h = 179 \text{ mm}$$

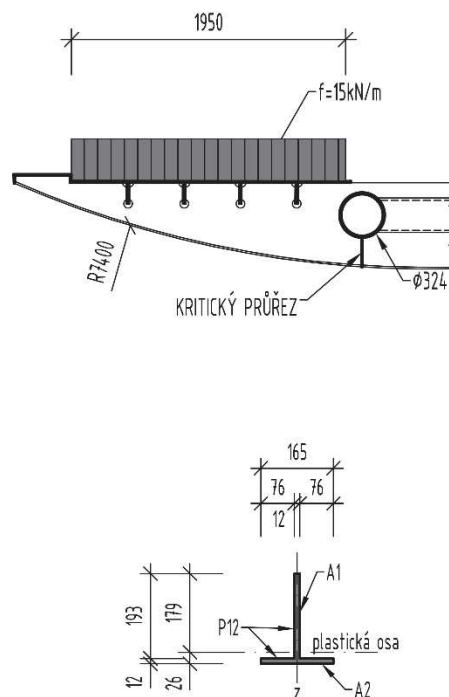
$$e_d = 26 \text{ mm}$$

Zatřídění průřezu

$$\alpha = \frac{e_h}{e_h + e_d} = \frac{179}{179 + 14} = 0,93 > 0,5$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{179}{12} = 14,92 \leq 396 \cdot \frac{\varepsilon}{13\alpha - 1} = 396 \cdot \frac{0,81}{13 \cdot 0,728 - 1} = 37,9$$

Průřez je třídy 1.



Obrázek 15: Geometrie příčnicku

Zatížení

Zatížení stálé		char. hodnota f_k [kN/m]	souč. γ	návrh. hodnota f_d [kN/m]
plech mostovky: tl. \times vzd. příčníků $\times \rho$	0,012 \times 3,0 \times 78,5	2,84	1,35	3,83
výztuhy: výška \times tl. \times vzd. příčniku $\times \rho \times$ počet / délka příčniku	(0,15 \times 0,016 \times 78, 5 \times 3,0 \times 4)/1,95	1,16	1,35	1,57
CELKEM		4,00		5,40

Zatížení proměnné		char. hodnota q_k	souč. γ	návrh. hodnota q_d
zatížení chodci: vzd. příčníků \times $q_{k,ch}$	3,0 \times 5,0	15,00	1,35	20,25
CELKEM		15,00		20,25

Návrhové vnitřní síly

Posouvající síla: $V_{Ed} = (f_d + q_d) \cdot L = (5,4 + 20,25) \cdot 1,95 = 50,0 \text{ kN}$

Moment: $M_{Ed} = V_{Ed} \cdot \frac{L}{2} = 50 \cdot \frac{1,95}{2} = 48,8 \text{ kNm}$

Únosnost ve smyku

Součinitel boulení stojiny uvažují $\chi_w = 1$

$$V_{Rd} = \frac{\chi_w \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{1,0 \cdot 355 \cdot 193 \cdot 12}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 475 \text{ kN}$$

$V_{Rd} = 475 \text{ kN} > V_{Ed} = 50 \text{ kN}$ Průřez ve smyku vyhovuje.

Únosnost v ohybu

Jelikož počítám jen s nejhroženějším průřezem, kdy neuvažuju působení trubky a části plechu příčnicku nad trubkou, budu také předpokládat, že stojina neboulí.

Součinitel boulení stojiny uvažuji $\chi_{LT} = 1$

$$M_{Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1,0 \cdot 233,02 \cdot 10^3 \cdot 355}{1,0} = 83 \text{ kNm}$$

$M_{Rd} = 83 \text{ kNm} > M_{Ed} = 48,8 \text{ kNm}$ Průřez v ohybu vyhovuje.

5 Závěr

Záměrem této práce bylo seznámit se s reálnou konstrukcí a rozpoznat statické působení celku i jednotlivých částí. Na základě prohlídky byly popsány všechny nosné části i navazující konstrukce.

Byla zde také věnována pozornost zhodnocení technického stavu lávky. Na konstrukci se nacházejí pouze drobné závady v podobě poškození antikorozi vrstvy a nedůsledné provedení odvodnění úložných prahů. Dále by současně platným normám nevyhovělo zábradlí z důvodu nevyhovující výšky.

V orientačním výpočtu byla lávka zatížena chodci a vlastní tíhou. Následně bylo provedeno posouzení vybraných nosných prvků. Všechny prvky s velkou rezervou vyhověly. Do posouzení nebylo zahrnuto posouzení detailů, neboť to přesahuje rámec této práce. Z hlediska použitelnosti byla lávka posouzena na průhyb od stálého a proměnného zatížení a byla vypočtena vlastní frekvence konstrukce. Lávka na posouzení MSP bez problému vyhověla. Z jakého důvodu jsou nosné prvky více než 5 krát naddimenzované se z výpočtu nepodařilo zjistit.

Seznam příloh

1. Scia Engineer: ZATĚŽOVACÍ STAVY
2. Scia Engineer: VNITŘNÍ SÍLY
3. PODÉLNÝ ŘEZ A PŮDORYS
4. VZOROVÝ PŘÍČNÝ ŘEZ

Seznam obrázků

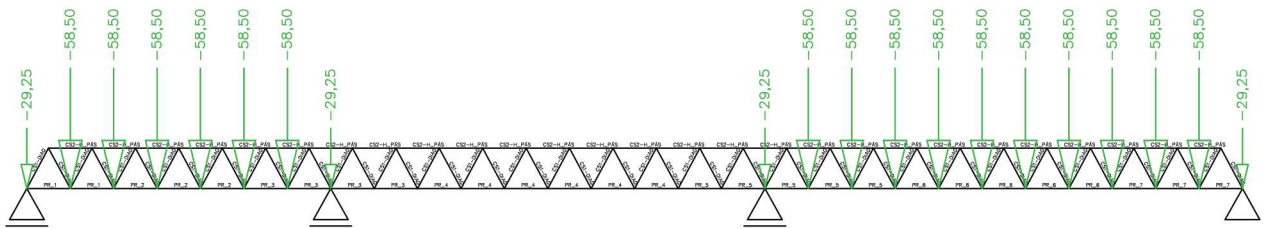
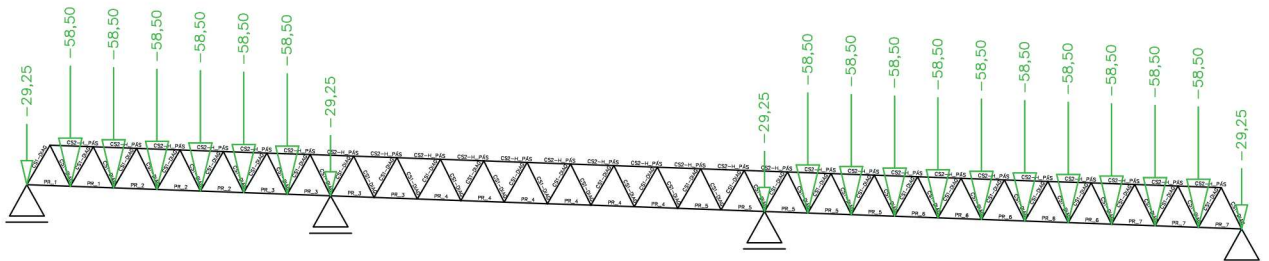
Obrázek 1: Geografické umístění lávky	7
Obrázek 2: Celkový pohled na lávku.....	8
Obrázek 3: Příčný řez.....	10
Obrázek 4: Podélný řez	10
Obrázek 5: Uložení na opěře 1.....	12
Obrázek 6: Odvodnění opěry 1.....	14
Obrázek 7: Odvodnění opěry 4.....	14
Obrázek 8: Mostní závěr na opěře 1	15
Obrázek 9: Poškození nátěru dolního pásu.....	15
Obrázek 10: Schematická geometrie mostovky	19
Obrázek 11: Boulení mostovky	20
Obrázek 12: Rozdělení účinné délky, rozmístění průřezů a oblast jejich platnosti	21
Obrázek 13: Geometrie efektivních průřezů	24
Obrázek 14: Vlastní tvary kmitání.....	28
Obrázek 15: Geometrie příčnicku.....	33

6 Reference

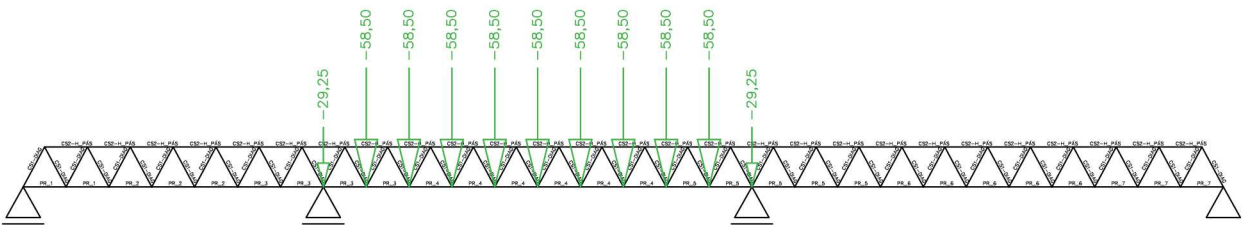
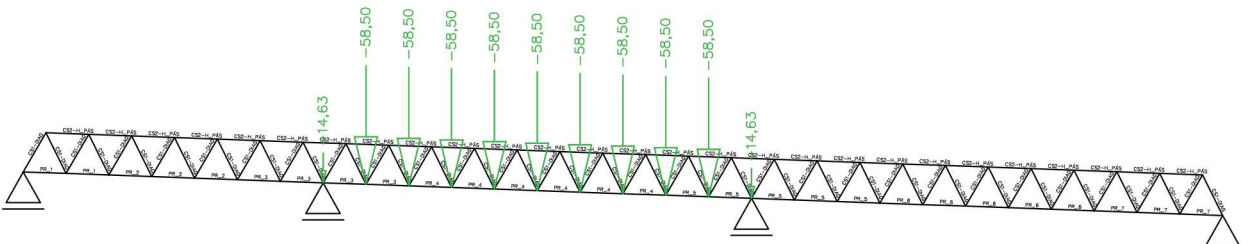
1. **NEMETSCHEK group.** *SCIA engineer.* [počítačový program]. Ver 16. München (Deutschland) 2017 : 2,65 GB. Studentská licence.
2. **ČSN EN 1993-2.** *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 2: Ocelové mosty.* Praha : ČNI, aktuální vydání.
3. **1993-1-1, ČSN EN.** *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.* Praha : ČNI, aktuální vydání.
4. **Rotter, Tomáš a Studnička, Jiří.** *Ocelové konstrukce 30, Ocelové mosty.* Praha : ČVUT, 2001.
5. **ČSN EN 1993-1-5 ed. 2 (73 1401).** *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-5: Boulení stěn.* Praha : ČNI, aktuální vydání.
6. **AUTODESK.** *Autocad 2015.* [počítačový program]. Ver 20. Sant Rafael (USA) 2015 : 3,96 GB, Studentská licence.
7. **ČSN EN 1990 ZMĚNA A1.** *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí.* Praha : ČNI, aktuální vydání.
8. **ČSN EN 1991-2.** *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 2: Zatížení mostů dopravou.* Praha : ČNI, aktuální vydání.
9. **Studnička, Jiří, Holický, Milan a Marková, Jana.** *Ocelové konstrukce 2, Zatížení.* Praha : ČVUT, 2011.
10. **Eliášová, Martina, a další.** *Ocelové konstrukce 3, Příklady.* Praha : ČVUT, 2010.
11. **MICROSOFT.** *Office 365 ProPlus.* [počítačový program]. Ver 16.0.6965.2092. Redmond (USA) 2015 : 3,0 GB. Studentská licence.

ZATĚŽOVACÍ STAVY

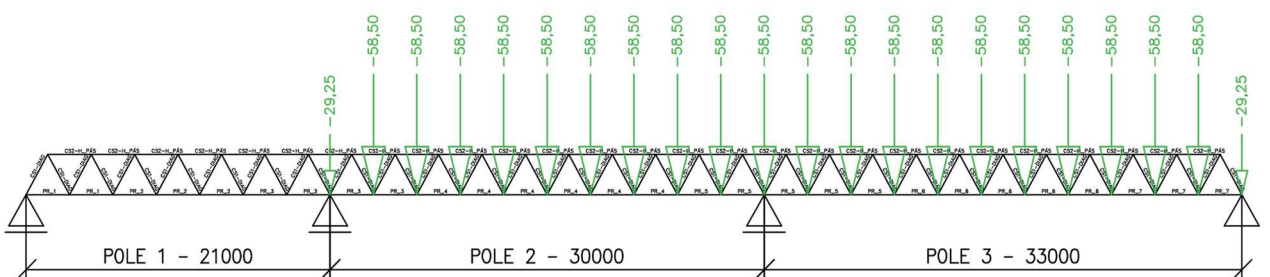
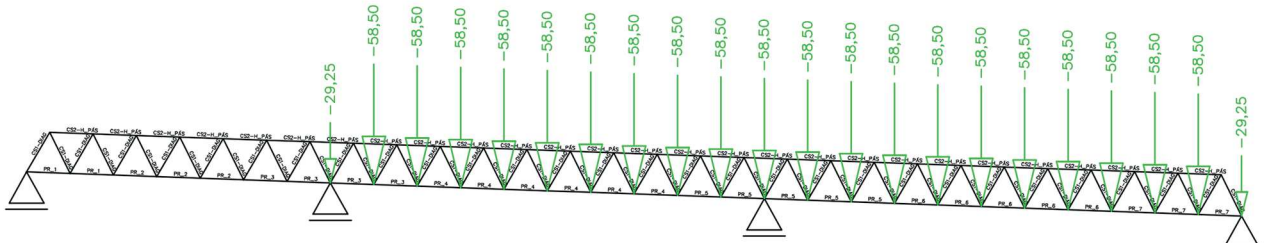
ZS 1



ZS 2



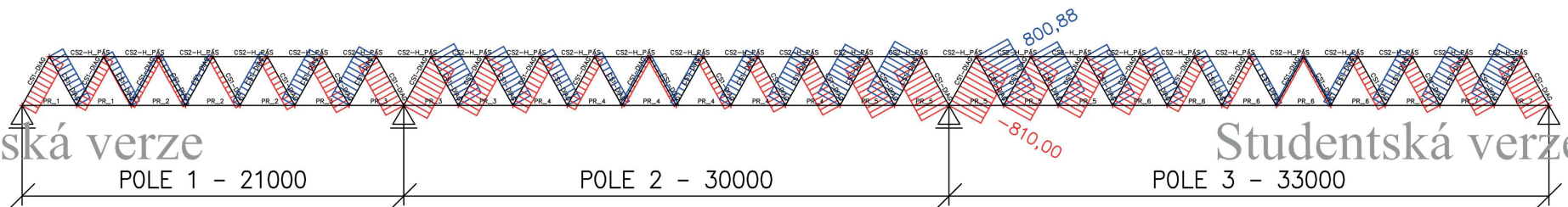
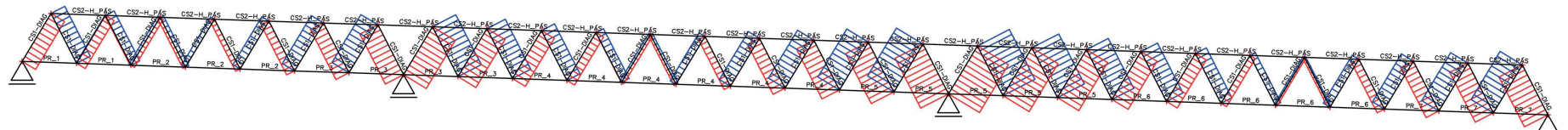
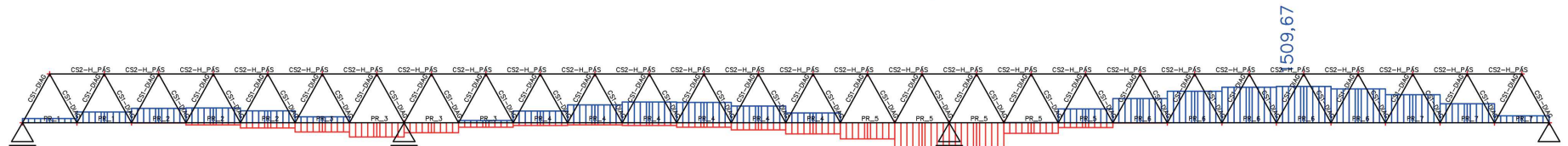
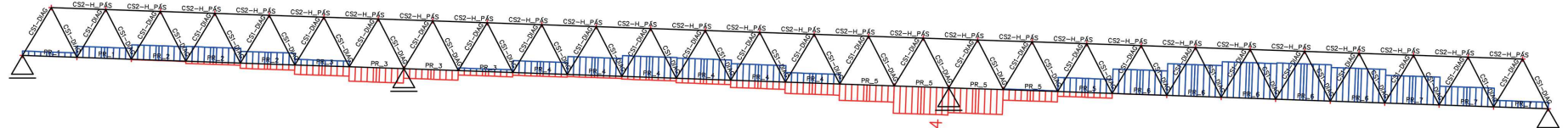
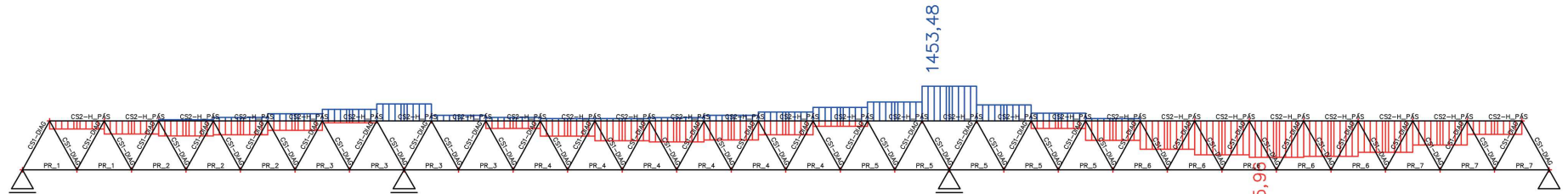
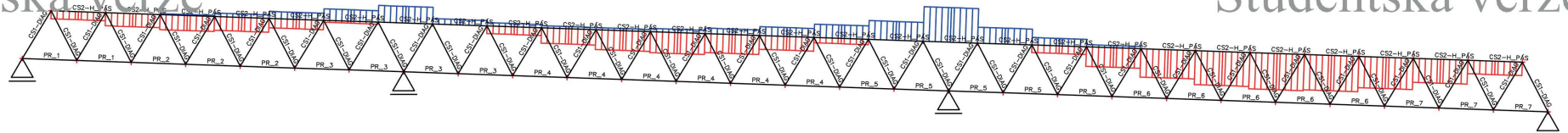
ZS 3



VITŘNÍ SÍLY

Studentská verze

Studentská verze



Studentská verze

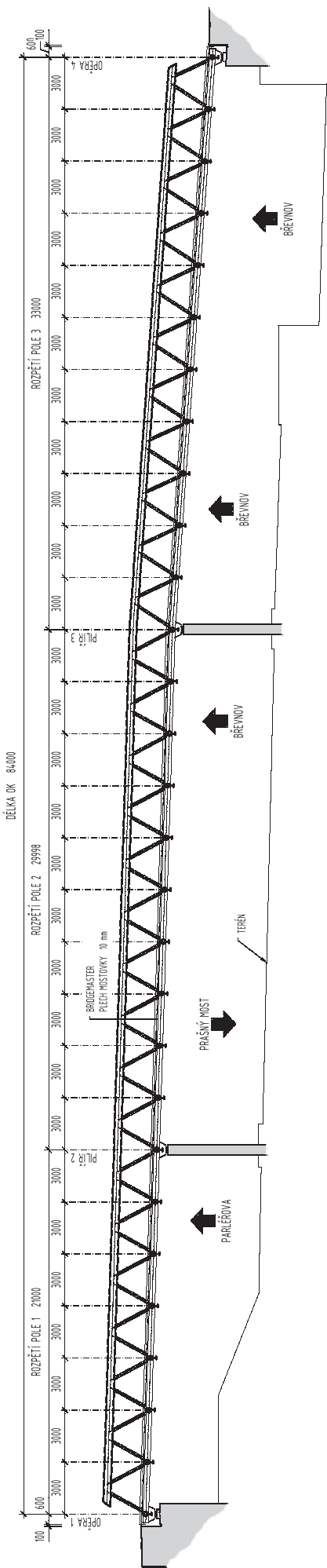
Studentská verze

POLE 1 - 2100

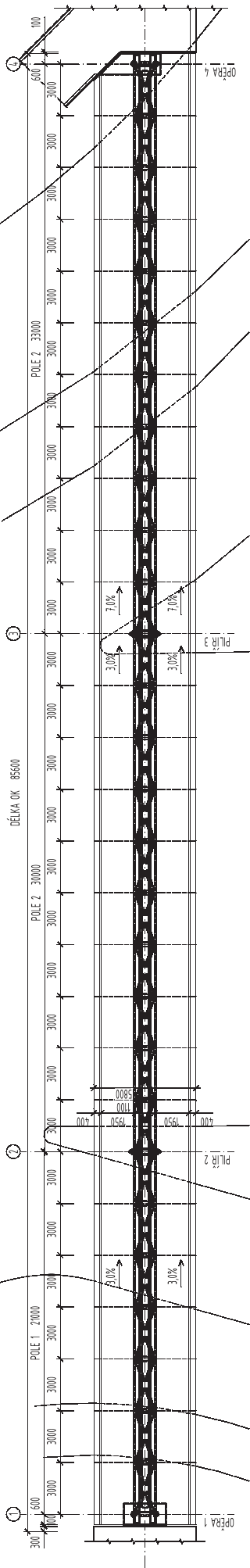
POLE 2 - 3000

POLE 3 - 3300

PODÉLNÝ ŘEZ 1:150



PŮDORYS 1:150



PŘÍČNÝ ŘEZ 1:25

