

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta stavební

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Brno, 2018

Bc. Michal Okánik



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV STAVEBNÍ MECHANIKY

INSTITUTE OF STRUCTURAL MECHANICS

**STATICKÁ ANALÝZA MOSTNÍ KONSTRUKCE:
ČERNÝ MOST V HODONÍNĚ**

STATIC ANALYSIS OF BRIDGE CONSTRUCTION: ČERNÝ MOST IN HODONÍN

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

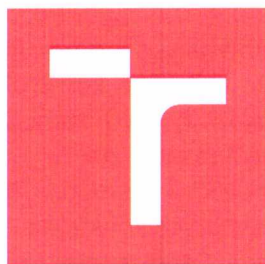
Bc. Michal Okánik

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAKUB SOBEK, Ph.D.

BRNO 2018



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav stavební mechaniky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Michal Okánik
Název	Statická analýza mostní konstrukce: Černý most v Hodoníně
Vedoucí práce	Ing. Jakub Sobek, Ph.D.
Vedoucí-specialista	Ing. Josef Martinásek, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2017
Datum odevzdání	12. 1. 2018

V Brně dne 31. 3. 2017


prof. Ing. Drahomír Novák, DrSc.
Vedoucí ústavu


prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT



PODKLADY A LITERATURA

ANSYS Documentation. Swanson Analysis System, Inc. Houston, Pennsylvania. 2017.
ČSN EN 1991-2 (736203) Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 2: Zatížení mostů dopravou. 2005.
ČSN EN 1992-2 (736208) Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 2: Betonové mosty – Navrhování a konstrukční zásady. 2007.
ČSN 73 1201: Navrhování betonových konstrukcí. 1986.
KADLČÁK, J., KYTÝR, J. Statika stavebních konstrukcí II. 2. vyd. Brno: VUTUM, 431 s., 2004.
MASOPUŠT, J. Vrtané piloty. Praha: Čeněk a Ježek, 263 s., 1994.
VANĚK, T. Rekonstrukce staveb. Praha: SNTL, 264 s., 1985.
Dokumentace samotného mostu.

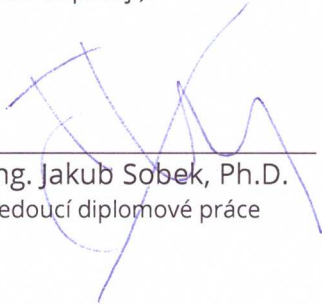
ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

V diplomové práci se bude student držet tématu numerické analýzy nosné konstrukce mostu (IV.Č. 12-HO-011) přes železniční trať Břeclav–Přerov, včetně jejího založení (piloty). Nastudování potřebných znalostí prostřednictvím literatury a podkladů z webových zdrojů. Práce v prostředí výpočtového systému ANSYS – vytvoření prostorového modelu mostní konstrukce, včetně pilot. Statická analýza. Vyhodnocení výsledků. Posouzení.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



Ing. Jakub Sobek, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce



Ing. Josef Martinásek, Ph.D.
Vedoucí-specialista

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá statickou analýzou Černého mostu ve městě Hodonín. Je zde popsána tvorba výpočtového modelu v systému ANSYS dle stávající projektové dokumentace, následně aplikace zatížení a okrajových podmínek (včetně řešení základové konstrukce umístěné na pilotách). Dále je zde uveden výběr zatížení, která jsou v práci použita pro ověření nosných částí konstrukce, zda-li vyhovuje platným normám ČSN EN. Přílohou práce je ověření deformací pilot modelovaných v systému ANSYS s pilotami řešenými pomocí Obecné deformační metody vypočítané v programu MS Excel. Další přílohou práce je ověření únosnosti konstrukce na současné dopravní omezení hmotnosti vozidla na konstrukci.

KLÍČOVÁ SLOVA

Černý most, Hodonín, MKP, obecná deformační metoda, ANSYS, AUTOCAD, TS, UDL, solid model, piloty, základová půda

ABSTRACT

The diploma thesis deals with static analysis of the Black bridge in Hodonín city. The creation of the numerical model in ANSYS sw. is described according to the existing project documentation, followed by the application of loading and boundary conditions (including the solution of foundation soil placed on the piles). The selection of the loading is used according to ČSN EN standards for analysis and verification of the main construction parts. This work also includes verification of the piles deformations calculated both in ANSYS sw. and by the direct stiffness method (MS Excel is used) and their comparison is done. Amongst other attachments, the verification of the load carrying capacity of the structure (respecting the current traffic limitation allowing only one vehicle to be on the bridge structure) is also provided.

KEYWORDS

Black bridge, Hodonín, FEM, direct stiffness method, ANSYS, AUTOCAD, TS, UDL, solid model, piles, foundation soil

OKÁNIK, Michal. *Statická analýza mostní konstrukce: Černý most v Hodoníně*. Brno, 2018, 149 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební mechaniky. Vedoucí práce: Ing. Jakub Sobek, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 8. 1. 2018

Bc. Michal Okánik
autor práce

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 8. 1. 2018

Bc. Michal Okánik
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval svému vedoucímu diplomové práce panu Ing. Jakubu Sobkovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci. Dále bych rád poděkoval Ing. Josefu Martináskovi, Ph.D. a všem dalším dotázaným během tvorby diplomové práce za odborné rady, návrhy a korekturu textu.

V Brně dne:

Bc. Michal Okánik
autor práce

OBSAH

1	Úvod	13
1.1	Cíle práce	13
1.2	Základní údaje o mostní konstrukci	13
1.3	Konstrukční údaje současného stavu mostu	15
1.4	Základová konstrukce mostu	16
1.5	Současný stavební stav mostu	21
2	Použité metody řešení	25
2.1	Metoda konečných prvků	25
2.2	Obecná deformační metoda	26
2.3	Použité postupy v ANSYS	27
2.3.1	Extrude	27
2.3.2	Boolean operation	28
2.3.3	Glue	28
2.3.4	Total force summation	28
3	Zatížení a zatěžovací stavy	31
3.1	Model zatížení 1 (LM 1)	31
3.1.1	Tandem system (TS)	31
3.1.2	Uniformly distributed load (UDL)	32
3.2	Zatížení vozovkou a římsami	34
3.2.1	Zatížení vozovkou	34
3.2.2	Zatížení římsami	34
3.2.3	Záchytná zařízení	35
3.3	Zatěžovací stavy	35
3.3.1	ZS 1	35
3.3.2	ZS 2	35
3.3.3	ZS 3	35
3.3.4	ZS 4	35
3.3.5	ZS 5	36
4	Modelování konstrukce	37
4.1	Modelování AUTOCAD	37
4.2	Materiálové parametry	40
4.3	Použité typy prvků (ANSYS) a jejich využití v modelu	41
4.3.1	SOLID 185	42
4.3.2	BEAM 188/189	42

4.3.3	COMBIN 14	43
4.3.4	COMBIN 39	43
4.3.5	MPC 184 – RIGID BEAM	44
4.4	Modelování ANSYS	44
4.4.1	Preprocesoring	45
4.4.2	Usazení modelu na síť pilot	46
4.4.3	Pokrytí modelu sítí konečných prvků (<i>meshing</i>)	47
4.4.4	Solution	50
5	STATICKÁ ANALÝZA	53
5.1	Základní údaje I 600 a U 600	53
5.2	Železobetonová deska	53
5.3	Posouzení nosné konstrukce	55
5.3.1	Zatížení	55
5.3.2	Posudek na ohyb, dle ČSN EN (nejnepříznivější výsledný účinek)	58
5.3.3	Posudek na smyk, dle ČSN EN (nejnepříznivější výsledný účinek)	58
5.3.4	Posudek na ohyb, dle ČSN EN (nejnepříznivější výsledný účinek, vozidlo 24 t)	58
5.3.5	Posudek na smyk, dle ČSN EN (nejnepříznivější výsledný účinek, vozidlo 24 t)	59
6	ZÁVĚR	61
	Literatura	62
	Seznam symbolů, veličin a zkratek	71
	Seznam příloh	73
A	Základová půda	75
B	Piloty	77
B.1	Rozmístění pilot	77
B.2	Statický model piloty	78
B.2.1	Vodorovná únosnost piloty	78
B.2.2	Tuhost vodorovných pružin	78
B.2.3	Tuhost svislé pružiny	79
B.2.4	Tělo piloty	80
B.2.5	Vodorovné pružiny	80
B.2.6	Svislé pružiny	81

B.3	Modelování pilot v ANSYS	83
B.3.1	Modelování pilot v ANSYS pro porovnání výsledných deformací s ODM	84
B.4	Řešení pilot obecnou deformační metodou	85
B.4.1	Obecné použití	85
B.4.2	Statický model pilot	86
B.4.3	Globální matice tuhosti a primárních vektorů prutů	86
B.4.4	Celková matice tuhosti	87
B.4.5	Inverzní matice, vektor uzlového zatížení, výpočet deformací	87
B.4.6	Závěr	87
C	Statický výpočet	123
C.1	Posouzení plně spřažených ocelových nosníků	123
C.1.1	Zatížení	124
C.1.2	Ověření únosnosti	124
D	Statický výpočet, případ porušeného spřažení	129
D.1	Posouzení železobetonové desky	129
D.1.1	Zatížení	130
D.1.2	Ověření únosnosti	130
D.2	Posouzení nosníků na ohyb	135
D.3	Závěr	135
E	Posouzení jediného vozidla	137
E.1	Zatěžovací stav	137
E.2	Zatížení	138
E.3	Posouzení	140
E.3.1	Posudek na ohyb	140
E.3.2	Posudek na smyk	140
E.4	Závěr	140
F	Schémata v plném rozlišení	141

1 ÚVOD

1.1 Cíle práce

Tato diplomová práce se zabývá statickou analýzou nosné konstrukce stávajícího Černého mostu ve městě Hodonín. Cílem práce je provést ověření únosnosti mostu a zjistit zda-li stávající stav vyhovuje platným normám ČSN EN [7], [6] a to včetně redukce únosnosti uvedené v mostní prohlídce provedené v roce 2015 [17].

V první části práce bude čtenář seznámen se stručnou historií mostu, proběhlými rekonstrukcemi a současným stavem, kterým se tato práce zabývá. Následně bude uvedeno použité zatížení, které bylo zvoleno dle [5] a jeho hodnoty aplikované později ve výpočtovém modelu. Další částí práce je tvorba modelu podle stávající projektové dokumentace v programu AUTOCAD [3] a jeho následné převedení na výpočtový model v systému ANSYS [1], ve kterém proběhne stanovení okrajových podmínek, výpočet a následné vyhodnocení výsledků.

V závěru práce bude provedeno posouzení nosných částí konstrukce mostu a jejich ověření zda-li vyhovují současným normám [7] [6]. Současně s ověřením únosnosti dle norem, proběhne taktéž ověření únosnosti na současné dopravní omezení platící pro konstrukci (24 t jediné vozidlo).

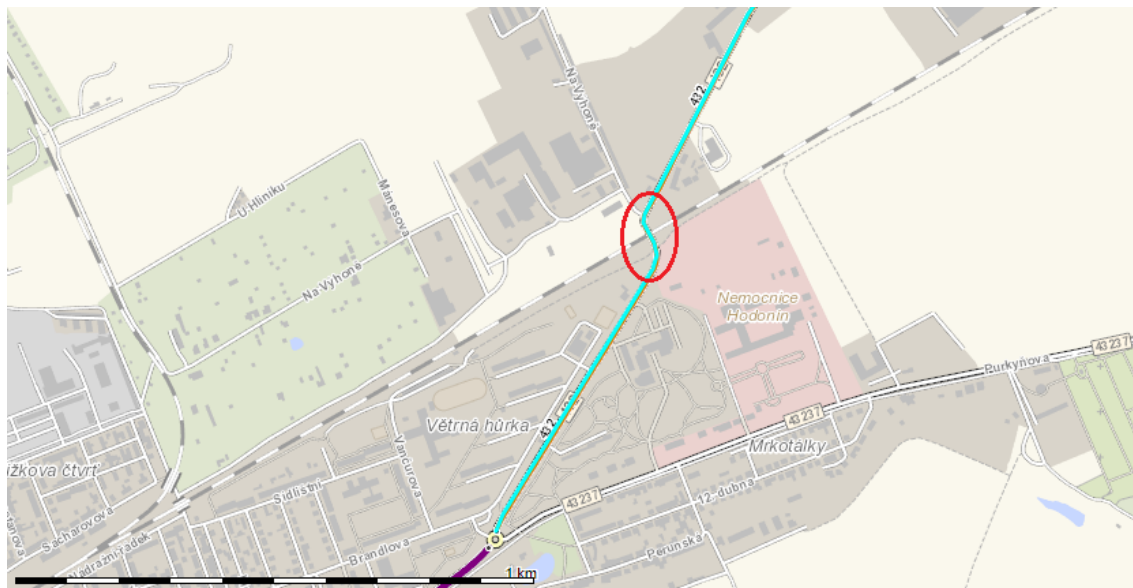
Součástí práce je dále příloha zabývající se kontrolou výsledků deformací piloty vypočítané v systému ANSYS s výpočtem deformací pomocí *Obecné deformační metody* v programu MS Excel [16].

1.2 Základní údaje o mostní konstrukci

Současný most je navržen jako náhrada původní dřevěné konstrukce mostu vedoucí přes železniční trať Břeclav – Přerov. Kdy původní konstrukce mostu byla nevyhovující z důvodu šířkového uspořádání dřevěné mostovky, dále nízké únosnosti opěr ze smíšeného zdiva, ale především kvůli nevyhovujícímu stavu dřevěných pilot. Proto byla v roce 1961 provedena generální oprava na současný stav.

Stávající konstrukcí mostu vede Silnice II/432 (Obr.1.1). Je to silnice II. třídy propojující okresy Hodonín a Kroměříž, konkrétně města Hodonín, Kyjov, Koryčany, Kroměříž, Hulín a Holešov, dlouhá 79 km. Je to jedna z hlavních komunikací ve-

doucích Středomoravskými Karpaty. V úseku mezi Kroměříží a Hulínem plní funkci objízdné trasy pro případ uzavření dálnice D1.

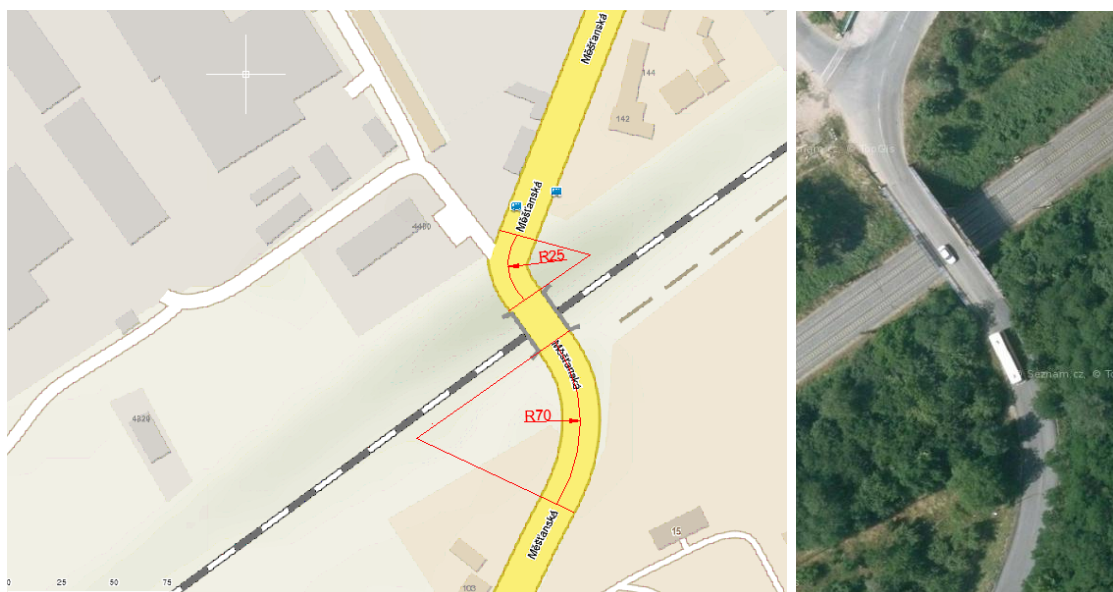


Obr. 1.1: Umístění mostu na silnici II/432 (převzato z [19])

Silnice II/432 neslouží pro poježdění speciálních vozidel či nadměrných nákladů, z toho důvodu a také z důvodů malých poloměrů zakružovacích oblouků komunikace (Obr. 1.3) před a za mostem se neuvažuje zatížení speciálními vozidly (LM3). K tomuto účelu slouží Silnice I/55 nacházející se v těsné blízkosti této komunikace.

Sčítání dopravy 2016 (sč.úsek: 6-2651)														... význam zkratk			
Roční průměr denních intenzit dopravy		LN	SN	SNP	TN	TNP	NSN	A	AK	TR	TRP	TV	O	M	SV		
RPDI - všechny dny	voz/den	294	92	5	23	13	41	52	0	2	5	527	4 023	38	4 588		
		LN	SN	SNP	TN	TNP	NSN	A	AK	TR	TRP	TV	O	M	SV		
RPDI - pracovní den (Po-Pá)	voz/den	364	114	6	28	17	52	60	0	2	6	649	4 366	35	5 050		
RPDI - volné dny (mimo svátky)	voz/den	119	37	2	9	4	13	32	0	1	2	219	3 165	44	3 428		
Hodinová intenzita dopravy												TV	SV				
Padesátirázová intenzita dopravy	voz/h												64	560			
Špičková hodinová intenzita dopravy	voz/h												58	509			
Těžká nákladní vozidla - TNV														TNV			
Hodnota TNV	voz/den													317			
Intenzita dopravy pro hlukové a emisní výpočty												OA	NA	NS	Celkem		
Roční průměr intenzit, den (06-18)	voz/den												3 239	401	47	3 687	
Roční průměr intenzit, večer (18-22)	voz/den												552	26	6	584	
Roční průměr intenzit, noc (22-06)	voz/den												270	41	6	317	
Emise										OA	LNA	TNA	NS	BUS	Celkem		
Roční špičková hodinová intenzita dopravy	voz/h											581	42	17	8	7	655
Koeficienty nerovnoměrnosti dopravy												alfa	beta	gama	PS		
Koeficient nerovnoměrnosti dopravy	-												0.69	0.00	0.00	64:36	
Intenzita cyklistické dopravy														C			
Cyklistická doprava	cyklo/den													75			

Obr. 1.2: Sčítání dopravy rok 2016, Silnice II/43 (převzato z [19])



Obr. 1.3: Vpravo poloměry zakružovacích oblouků [m] Silnice II/43 (převzato z [19]), vlevo letecký snímek Černého mostu (převzato z [14])

Pro most budeme tedy uvažovat model zatížení definovaný pro návrh mostů pozemních komunikací se zatěžovací délkou kratší než 200 m a to je *model zatížení 1* (dále jen LM 1), který je určen pro celková i lokální ověření konstrukce mostu.

1.3 Konstrukční údaje současného stavu mostu

Současná konstrukce Černého mostu ([21], Obr. 1.4) je navržena jako přestavba původní ocelovo–dřevěné mostovky o třech polích, která byla v roce 1958 shledána jako nevyhovující. Mezi hlavní důvody přestavby patřilo: nevhodné šířkové uspořádání pro požadavky veřejné dopravy, nosná konstrukce podpěr ze smíšeného zdiva a založení na degradujících dřevěných pilotách.

Přestavba proběhla v roce 1961, kdy nová konstrukce Černého mostu je navržena jako spřažený ocelo–betonový spojitý nosník o třech polích. Nosnou konstrukci tvoří pět nosníků U 600 Škoda–Faltus ponechaných z původní konstrukce, osazených ve vzdálenostech 1,0 m od sebe. Nad podporami jsou nosníky osazeny s přesahem. Délka jednotlivých nosníků v jednom poli činí 14,25 m. Příčně jsou nosníky spojeny pomocí profilů U 200.

Dále je konstrukce rozšířena osazením nosníků I 600 ve vzdálenosti 1,50 m od krajního nosníku. Tato krajní pole jsou vyztužena taktéž příčnými profily U 200. Na tyto

příčné profily je v krajním poli osazen v polovině rozpětí nosník I 100.

Příčné profily U 200 jsou na současnou konstrukci připojeny k profilům I 600 a U 600 pomocí svarů, stejně jako je připojen podélný nosník I 100 k příčným profilům U 200.

Dále jsou na konstrukci osazeny železobetonové prefabrikované desky s ozuby, které jsou vzhledem k nesymetrii středních profilů dvojí délky. Spojení desek je potom realizováno pomocí betonové zálivky B 10.

Na deskách je proveden vyrovnávací beton ve střeovitém sklonu 2 %, na kterém je osazena současná konstrukce vozovky (složení vrstev uvedené v původní projektové dokumentaci již není platné, kromě vyrovnávacího betonu, který slouží zároveň jako ochranná vrstva pro železobetonové desky). Okraje vozovky v příčném řezu jsou tvořeny chodníkovou obrubou a římsou z betonu B 12,5.

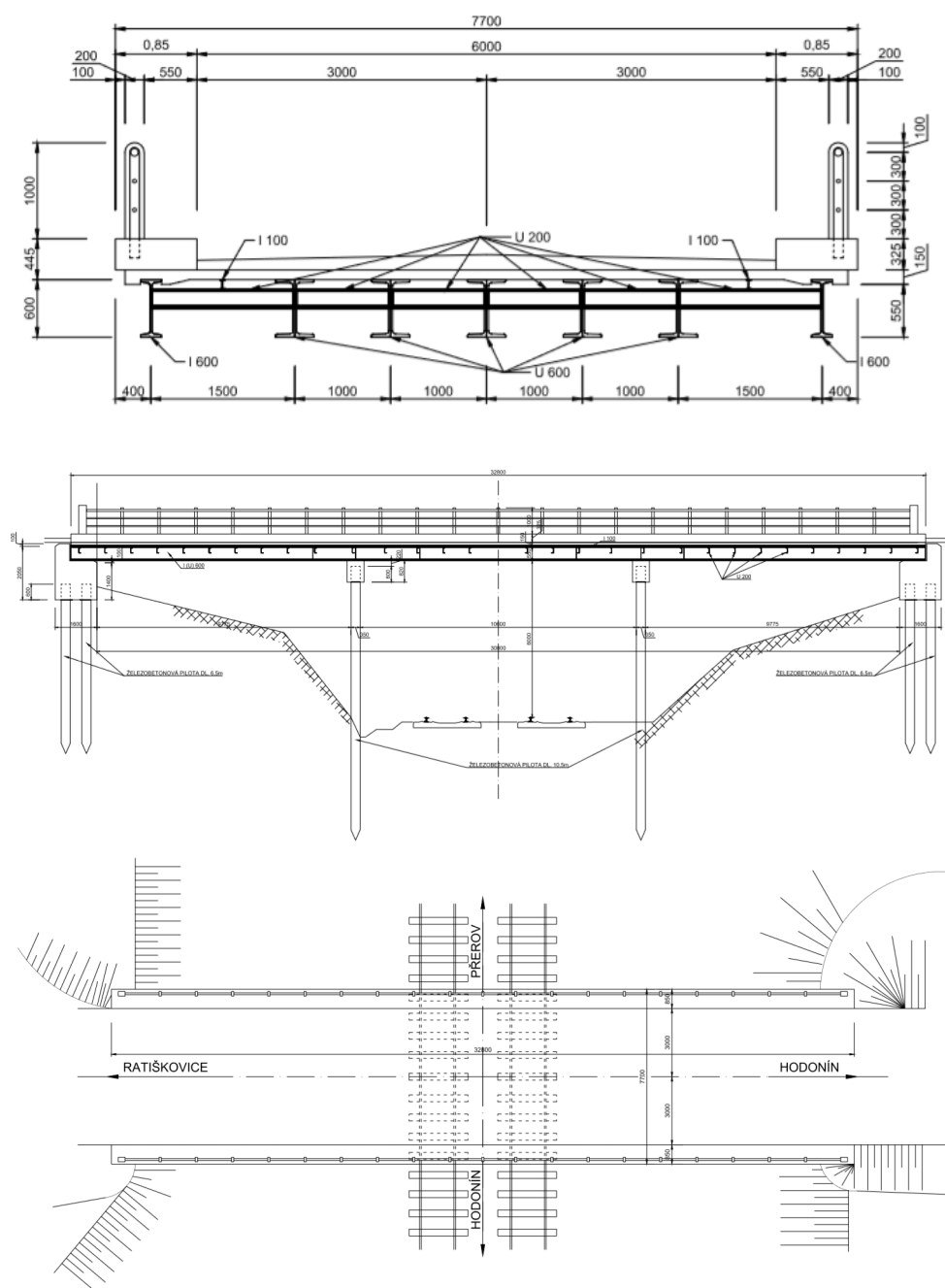
Záchytná zařízení jsou tvořena zábradlím a svodidly. Zábradlí je ocelové, výšky 0,9 m z trubkového materiálu a jeho ukončení na mostě je provedeno betonovými sloupky. Svodidla jsou vyvedena průběžně v různých vzdálenostech před i za mostem.

- šikmost 90° – kolmý most
- délka přemostění 30,8 m
- výška přemostění 6 m
- délka mostu 32,8 m
- volná šířka 6 m
- šířka mostu 7,7 m
- stavební výška 0,915 m

1.4 Základová konstrukce mostu

Celkové založení mostu bylo vzhledem k provedení zvoleno na pilotách [21]. Pro krajní opěry byly zvoleny dvě řady pilot po osmi, délky 6,50 m (dále jen 6,5). Hlavy pilot jsou ztuženy betonovým prahem výšky 0,50 m z betonu B 10. Pod tímto prahem je osazen dřík opěry z betonu B 12,5, který je pod ložiskem vyztužen až po závěrnou zídku z betonu B 12,5 tl. 0,50 m. V příčném řezu je opěra 1,60 m široká. Opěry jsou provedeny bez mostních křídel.

Střední piloty jsou voleny v jedné řadě po osmi, délky 10,50 m (dále jen 10,5). Tyto piloty plní zároveň i funkci sloupu, jehož spodní část délky 4,751 m přechází volně



Obr. 1.4: Schéma příčného řezu, podélného řezu, půdorysu mostu (schéma v plném rozlišení je součástí Přílohy F)

pod terén a stává se pilotou. Hlavy pilot jsou sepnuty s průvlakem, plně vyztuženým, který je současně úložným prahem.

Nové nosníky jsou uloženy na ložiska desková. Pevné ložisko je provedeno s ozubem pro zachycení nosníků. Kluzná ložiska jsou tvořena ocelovým plechem. Původní

nosníky jsou uloženy na kombinaci starých a nových ložisek, kdy stará ložiska jsou na celou výšku plechu zabetonována do úložného prahu.

Pilotové základy byly voleny na základě vrtů č. 1, 5, 9 [21](viz Tab.1.1, Tab.1.2, Tab.1.3) provedených *Geologickým ústavem n. p. Brno*. Hroty pilot sahají až do jílových tmavomodrých písčitých vrstev. Únosnost pilot je dána třením jejich povrchu o okolní zeminu. Únosnost zeminy v současnosti odpovídá hodnotám stanovených na Obr. 1.5.

Tab. 1.1: Vrt č. 1

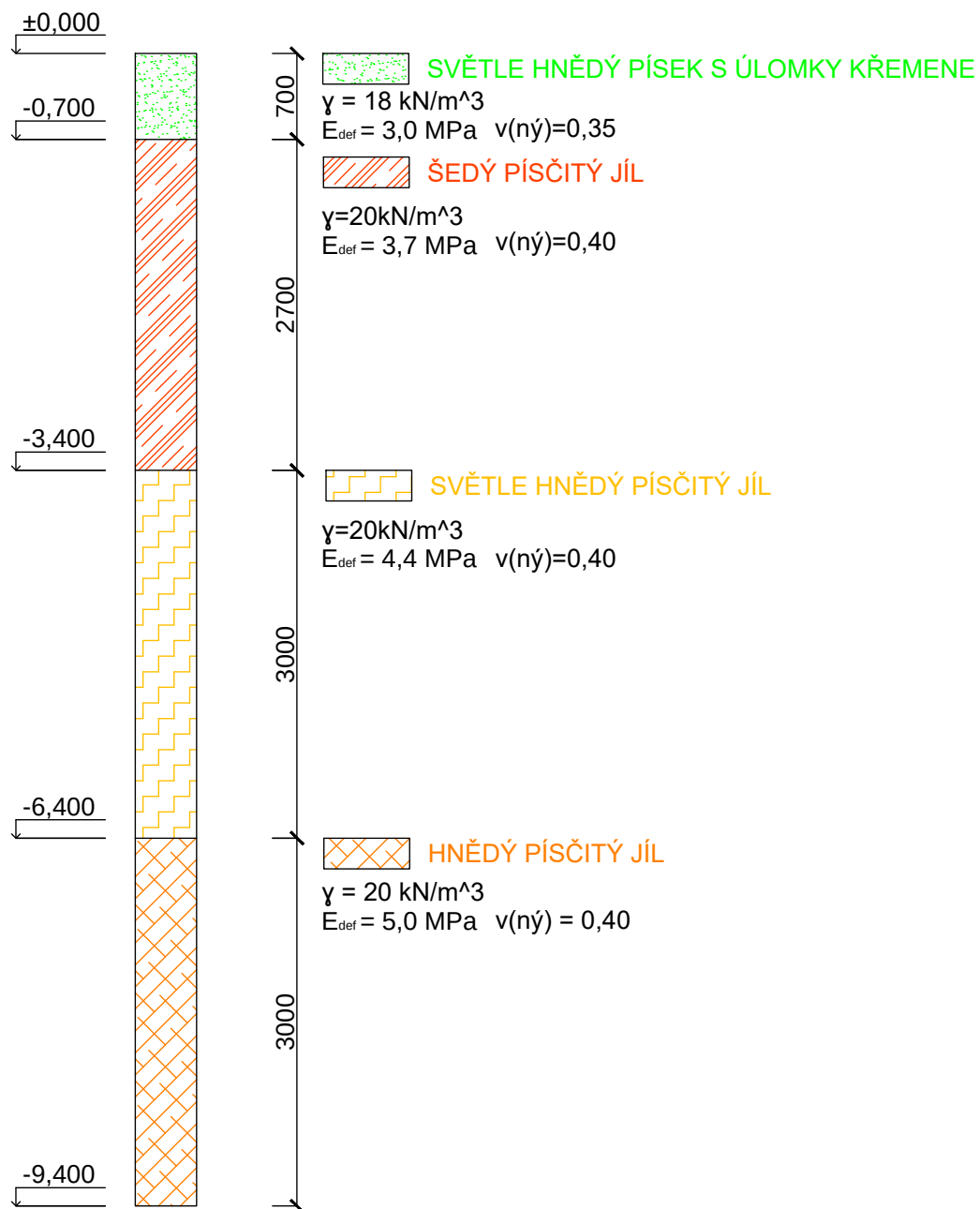
0,00 – 0,40	tmavě hnědý, humosní písek jemě až středně zrnitý, slídnatý s valouny křemene do ϕ 5 mm
0,40 – 0,90	světle hnědý slídnatý písek, stř. zrnitý s valouny křemene do ϕ 8 mm a úlomky zvětralých metamorfitů
0,90 – 1,60	světle hnědý písek, místy železem zbarven do rezava, stř. zrnitý s úlomky valounů hornin do ϕ 5 mm a valouny křemene, slídnatý
1,60 – 4,30	šedý, silně rezavě a žlutavě šmouhovaný jíl, mírně písčitý a slídnatý, vápnitý
4,30 – 7,30	světle modrý, písčitý jíl, silně slídnatý s úlomky schránek živočichů, vápnitý
7,30 – 10,30	dtto. tmavší
10,30 – 13,30	dtto. tmavší
13,30 – 16,30	dtto. tmavší
16,30 – 19,30	dtto. tmavší

Tab. 1.2: Vrt č. 5

0,00 – 0,80	černohnědý, humosní písek, jemně až středně zrnitý, velmi jemně slídnatý s valouny křemene
0,80 – 4,00	zelenošedý, rezivě skvrnitý, velmi silně písčitý jíl, až jílovitý písek, slídnatý s větším počtem bílých vápnitých konkrací do ϕ 10 mm, velmi silně vápnitý
4,00 – 6,80	šedozelený, místy rezivě šmouhovaný jíl slídnatý, písčitý s výkvěty tmavohnědého Mn, vápnitý
6,80 – 9,80	šedý jíl s červeným odstínem, středně písčitý, vápnitý
9,80 – 12,80	tmavší šedý jíl slídnatý, slabě prachově písčitý
12,80 – 15,80	tmavší šedý, černě nabíhající jíl, slídnatý, slabě prachově písčitý s ojedinělými vápnitými konkracemi a povlaky
15,80 – 18,80	šedý, černě nabíhající jíl, slídnatý s ojedinělými CaCO_3 povlaky
18,80 – 21,80	tmavší šedý, jemně slídnatý, slabě prachově písčitý jíl s velkým množstvím bílých vápnitých konkrací a drobnými úlomky schránek živočichů, vápnitý

Tab. 1.3: Vrt č. 9

0,00 – 0,50	tmavě hnědý humosní písek, jemně až středně zrnitý, slídnatý s valouny křemene
0,50 – 1,00	žlutohnědý rezivý, železem zbarvený písek s menší jílovitou příměsí s valounky křemene do ϕ 5 mm
1,00 – 3,50	zelenošedý, rezavě šmouhovaný, Fe zbarvený písčitý jíl, s velkým obsahem vápnitých konkrací do 10 mm a Mn výkvěty, vápnitý
3,50 – 6,50	žlutošedozelený jíl, rezavě šmouhovaný slídnatý, jemně písčitý s Mn výkvěty
6,50 – 9,50	tmavošedý, nazelenalý, slídnatý jíl, až jílovitý písek s ojedinělými výkvěty CaCO_3
9,50 – 12,50	dtto.
12,50 – 15,50	šedomodrý tmavý jíl nebo jemně písčitý, slídnatý s ojedinělými úlomky schránek živočichů, vápnitý
15,50 – 18,50	dtto.
18,50 – 21,50	šedomodrý jíl, slídnatý a písčitý s větším počtem vápnitých povlaků a konkrací, tmavší
21,50 – 24,50	dtto., méně konkrací



Obr. 1.5: Únosnost zeminy stanovená dle zkušebních vrtů

1.5 Současný stavební stav mostu

Současný stavební stav mostu je popsán v mostní prohlídce, která proběhla v roce 2015 [17]. Zde uvedeme jen část týkající se analýzy mostu a výpočtu únosnosti konstrukce mostu.

- **Mostní podpěry**

Opěry mostu plošně povrchově degradované do hloubky max. 15 mm. Na úložném prahu opěr nečistoty a materiál závěrné zídky koroduje. Lokálně zastiženy drobné známky zatékání. Koncové plenty a sloupky zábradlí, které jsou součástí opěr, postiženy zatékáním, s degradovaným betonem a obnaženou betonářskou výztuží. Pilíře mostu lokálně s odprýsknutou krycí vrstvou a obnaženou betonářskou výztuží, zejména na krajních tělech obou pilířů. Stavivo na krajích postiženo zatékáním přes římsy, beton degradovaný, nosná výztuž obnažena a koroduje.

- **Nosná konstrukce**

Ocelová nosná konstrukce s degradovanou pozemní komunikací (dále jen PKO) a plošnou povrchovou korozi, zejména na krajních nosnících, na které zatéká přes římsy mostu, na spodním líci desky mostovky lokálně zastiženo zatékání a výluhy, zejména pod římsami. Lokálně obnažená korodující nosná výztuž.

- **Ložiska, klouby, mostní závěry**

Ložiska mostu korodují, na úložných prazích okolo ložisek nečistoty. V místech mostních závěrů vozovka poškozena trhlinami šířky až 2 mm.

- **Vozovka, chodníky, římsy**

Vozovka na mostě a předpolích poškozena sítí trhlin šířky až 2 mm, na předpolích mostu lokálně vozovka deformovaná. V místech mostních závěrů vozovka poškozena příčnými trhlinami. Podél obrubníků uchycena vegetace. Beton říms plošně degradovaný do hloubky až 30 mm, na horním povrchu oddělené kusy betonu hrozící pádem na trať. Přes římsy zatéká na nosnou konstrukci a spodní stavbu mostu. Na vnější hraně lokálně obnažena korodující výztuž říms. Vnější líc říms lokálně silně degradován, kotvení sloupků zábradlí lokálně obnaženo a poškozeno. Vlevo před mostem chybí cca 4 m obrubníku, na konci římsy vlevo svislá podélná trhlina šířky až 12 mm. Na konci římsy vpravo na opěře č. 1 chybí 1 ks kamenného obrubníku, rovněž tak na opěře č. 2 vpravo.

Tento výčet nedostatků na konstrukci vede k rozhodnutí o změně zatížitelnosti a klasifikačního stupně stavu nosné konstrukce. Koeficient stavebního stavu byl tedy stanoven jako $\alpha = 0,8$, který se projeví snížením výsledné únosnosti konstrukce v ohybu (M_{Rd}) a ve smyku (V_{Rd}).



Obr. 1.6: Dopravní omezení v důsledku mostní prohlídky z roku 2015 (fotografie pořízena v létě 2017)

Dále je před i za mostem umístěna značka omezující dopravu těžkých vozidel na jedno samostatné vozidlo o maximální hmotnosti 24 t. Tato skutečnost bude brána taktéž v potaz a posouzení konstrukce na tuto zátěž je vypočítáno v příloze.



Obr. 1.7: Současný stav mostu (fotografie pořízeny v létě 2017)

2 POUŽITÉ METODY ŘEŠENÍ

Při řešení této diplomové práce byly použity dvě metody řešení. A to metoda konečných prvků (dále jen MKP) a obecná deformační metoda (dále jen ODM). MKP byla použita pro řešení prostorového modelu konstrukce mostu v systému ANSYS a dále v příloze pro řešení deformací u samostatných modelů pilot 6,5 a 10,5. ODM byla použita pro kontrolu výsledků deformací pilot, vypočítaných v systému ANSYS.

2.1 Metoda konečných prvků

MKP lze řešit většinu typů konstrukcí. Je to univerzální numerická metoda, která slouží pro nepřímé řešení diferenciálních rovnic. Díky MKP se dnes řeší statické a dynamické úlohy, lineární či nelineární. Využívá se v technice, průmyslu a také je spjata s výpočetní technikou. Další její uplatnění najdeme v biomechanice, kde se s její pomocí může např. řešit proudění krve v komorách srdce.

MKP vychází z Ritz-Galerkinových variačních principů, kdy jsou používány báze funkce aproximující určitá pole. Klasické variační principy převádějí řešení diferenciálních rovnic na algebraické řešení rovnic. Toto zjednodušení umožňuje pracovat se skalárními veličinami (energie, potenciál, atd.) namísto vektorových (síly, posunutí, atd.). Do báze funkcí se rozkládají hledané funkce F . Tento rozklad je spjat s rozdělením řešené oblasti W na podoblasti W_e (konečné prvky). Existují tři varianty řešení: deformační, silová a smíšená. V praxi se ve většině případů používá deformační metoda a jedná se o energetické pojetí úlohy, kdy se hledá extrém určitého funkcionálu. Jeho hodnota pro celou oblast je rovna součtu hodnot v částech (konečných prvků). U deformační metody reprezentují funkce F posuny a funkcionál je potenciální energií soustavy. Funkce F plynou z podmínek minima funkcionálu. Deformační metoda je charakterizována použitím Lagrangeova principu minimální potenciální energie:

$$\pi = \pi_i + \pi_e = \min, \quad (2.1)$$

kde π_e je potenciální energie vnějších sil

π_i je potenciální energie vnitřních sil

Vztah popisujeme tak, že: ze všech přípustných funkcí posunutí, tj. funkcí splňujících dané okrajové podmínky a neporušující spojitost tělesa, se realizují ty funkce, které udělují celkové potenciální energii π minimální hodnotu.[15] [22]

2.2 Obecná deformační metoda

Tato metoda je určena především pro řešení prutových konstrukcí. Vzhledem k povaze její složitosti je výhodnější ji řešit spíše výpočetní technikou (MS Excel). V diplomové práci budou k této metodě vysvětleny jen podmínky nutné pro sestavení modelu pilot.

ODM se zabývá řešením prutových soustav. Tyto soustavy jsou tvořeny pruty o dané tuhosti vzájemně spojeny styčníky a vytvářející tak staticky určitou či neurčitou soustavu, jejíž celková schopnost odolávat vnějším či vnitřním vlivům jde vyjádřit pomocí matice tuhosti. Staticky určitá soustava jde řešit pomocí podmínek rovnováhy sil. Nicméně pro řešení staticky neurčitých konstrukcí je vhodné využít ODM, která se dá řešit tabulkovými programy jako je MS Excel.

Pro správné řešení konstrukce je důležité zvolit vhodnou prutovou náhradu. Dále musíme určit počet neznámých n v podobě lineárních rovnic, sestavených ze statických podmínek rovnováhy. Toho dosáhneme dosazením do rovnice:

$$n_p = 3 \cdot t + 2 \cdot k + p - p_v, \quad (2.2)$$

kde t je počet tuhých styčníků

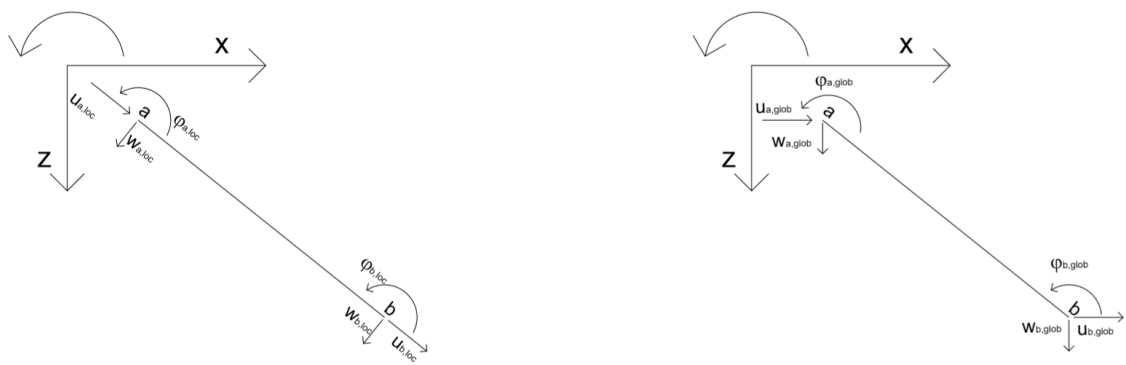
k je počet kloubových styčníků

p je počet jednoduchých posuvných podepření

p_v je počet vnějších vazeb umístěných u styčníků přepočtených na jednonásobné vazby

n_p je počet neznámých parametrů deformace (tj. posunutí u , w a pootočení φ).

Poté určíme souřadný systém. Globální souřadný systém (GSS) je určen pro celou konstrukci, při dosazování do globální matice tuhosti. Lokální souřadný systém (LSS) je systém jednoho určitého prutu v konstrukci. Využívá se pro zjištění vnitřních sil na daném prutu a sestavení lokální matice tuhosti prutu. Využijeme ho např. při určování sil na vybraném prutu (soustavě prutů), tvorbu lokálních matic tuhosti apod. Převody mezi LSS a GSS se řeší pomocí transformačních matic.[11][12]

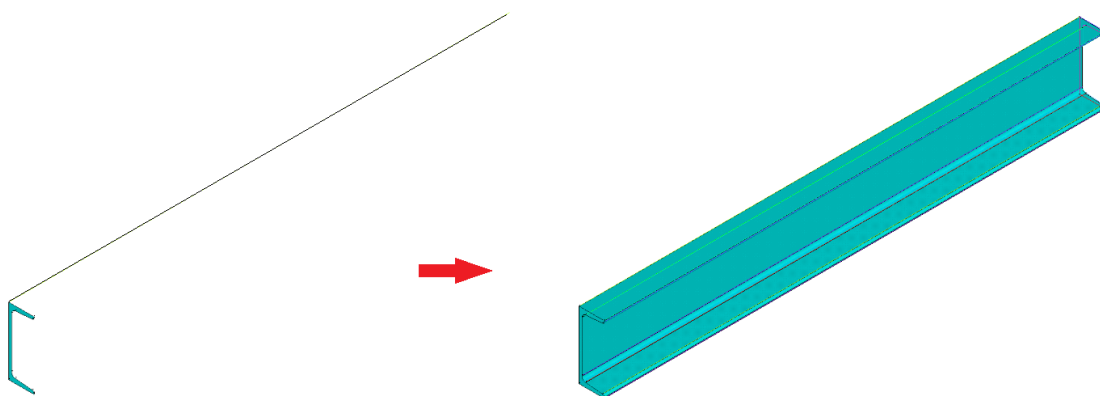


Obr. 2.1: vlevo: prut v LSS (lokálním souřadném systému), vpravo: prut v GSS (globálním souřadném systému)(převzato z [11])

2.3 Použité postupy v ANSYS

2.3.1 Extrude

Příkaz při kterém jsou *keypoints*, *lines*, *areas* (tj. geometrické entity v systému ANSYS) taženy/vysunuty podél čar (případně dané normály souřadného systému) a vytvářejí tak nové čáry, plochy nebo objemy dané jejich původním příčným řezem (Obr. 2.2).[2]



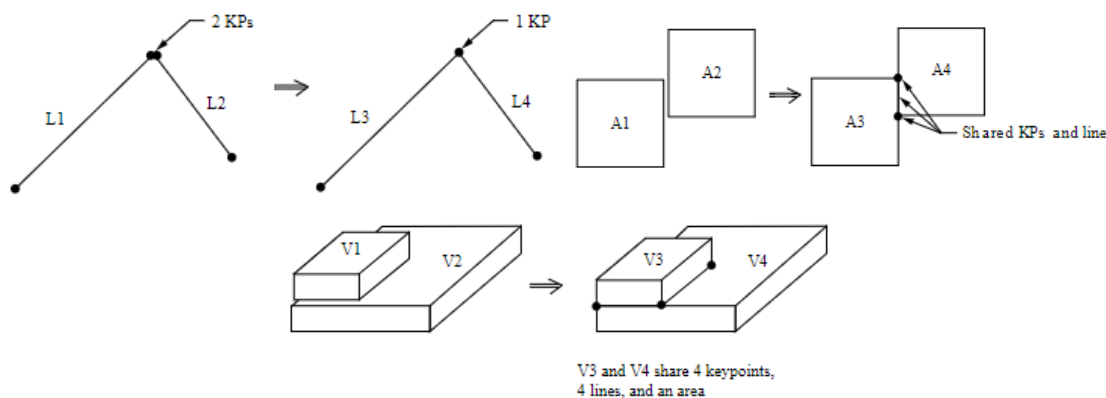
Obr. 2.2: Postup příkazu extrude (vysunutí pomocí *lines*)

2.3.2 Boolean operation

Boolean operation vytvářejí možnosti pro kombinaci dat (částí modelu) pomocí logických operací jako je protnutí, sjednocení, odečtení apod. Tyto operace byly v našem případě využity pro vytvoření spojitého modelu mostu, pomocí příkazu *Glue* a vytvoření funkčního celku, se kterým byl možný výpočet při zapojení každé části konstrukce do její únosnosti.[2]

2.3.3 Glue

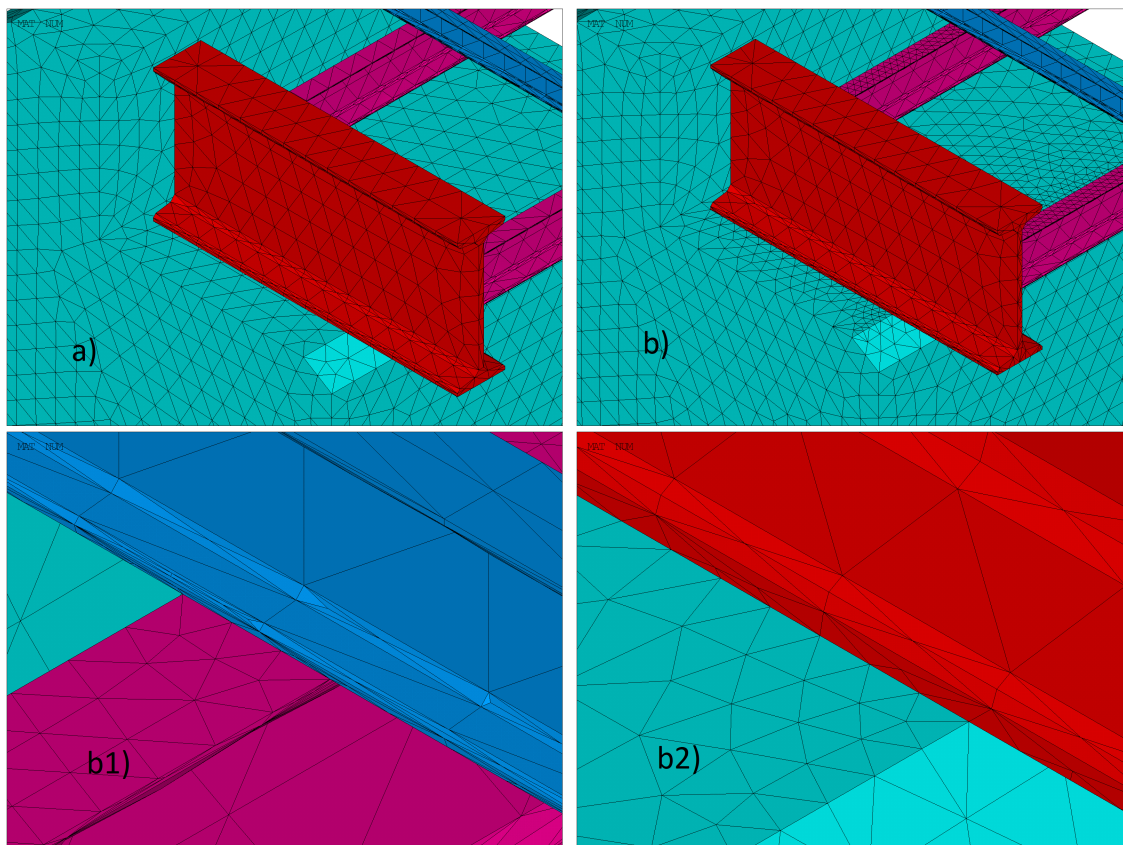
Příkaz, při kterém se překrývající tělesa připojí ke dvěma nebo více entitám a vytvoří tak tři nebo více nových entit, které budou zahrnovat všechny části originálů. Konečný výsledek je podobný operaci *Add*, s tím rozdílem, že si každá z entit zachová svou individualitu (nejsou spojeny v jednu) a navzájem spolu komunikují v místě jejich vzájemného dotyku (při vytvoření sítě konečných prvků mají stejné uzly (*nodes*)) jak je vidět na Obr. 2.4.[2]



Obr. 2.3: Princip příkazu Glue – teorie [2]

2.3.4 Total force summation

Slouží k zjištění maximálních momentů a posouvajících sil v definovaném řezu konstrukce, přes vybrané uzly (částečně i elementy).[2]



Obr. 2.4: Princip příkazu *Glue* – a) objemy nespojené příkazem *Glue*, b) objemy spojené příkazem *Glue*, b1 – b2) objemy spojené příkazem *Glue* – detail

3 ZATÍŽENÍ A ZATĚŽOVACÍ STAVY

Stálá zatížení byla volena na základě geometrie a objemových vlastností jednotlivých částí mostu. Vlastní tíha od nosných prvků bude součástí vždy a to v takové hodnotě, jaká vychází z jejich konstrukčních parametrů. Nahodilé zatížení je uvedeno dle normy ČSN EN 73 0035 1991-2, která přejímá evropskou normu EN 1991-2:2003 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí, Část 2: Zatížení mostů dopravou, včetně jejích příloh A až H. Nahradí předběžnou normu ČSN P ENV 1991-3:1997 Zásady navrhování a zatížení konstrukcí, Část 3: Zatížení konstrukcí – Zatížení mostů dopravou, včetně jejího národního aplikačního dokumentu, která byla zrušena po zavedení příslušného souboru Eurokódů, nejpozději do března 2010.

Součástí ČSN EN 1991-2 je národní příloha, která určuje národně stanovené parametry (NSP) platné pro území České republiky [5]. Dále bude konstrukce zatížena železobetonovou římsou, záchytným zařízením a vozovkou.

3.1 Model zatížení 1 (LM 1)

Model zatížení LM 1 je složen ze dvou dílčích soustav, které zahrnují většinu účinků dopravy osobními a nákladními vozidly. Je rozdělen do dvou zatěžovacích stavů *tandem system* a *uniformly distributed load*.

3.1.1 Tandem system (TS)

Soustředěné zatížení od dvojnápravy, každá náprava o tíze:

$$\alpha_Q \cdot Q_k, \quad (3.1)$$

kde α_Q jsou regulační součinitele

Q_k je zatížení od jedné nápravy uvedené v Tab. 3.1.

V jednom zatěžovacím pruhu se uvažuje pouze jedna. Má se uvažovat pouze kompletní dvojnáprava. Pro hodnocení celkového účinku se má předpokládat, že každá dvojnáprava se pohybuje v ose zatěžovacích pruhů. V našem případě budeme uvažovat, že se dvojnáprava pohybuje v těsné blízkosti obrubníku tak, aby bylo dosaženo co nejnepříznivějších účinků namáhání konstrukce. Zatížení od TS bude aplikováno na model jako síla roznesená na plochu železobetonové desky pod úhlem 45° , jak je vidět názorně v Obr. 3.2.

Každá náprava dvojnápravy se má uvažovat se dvěma identickými koly, z nichž

každé vyvozuje zatížení rovné $0,5 \cdot \alpha_Q \cdot Q_k$. Kontaktní plocha každého kola se uvažuje jako čtverec o straně 0,4 m Obr. 3.1.

3.1.2 Uniformly distributed load (UDL)

Rovnoměrné zatížení o tíze na čtvereční metr zatěžovacího pruhu:

$$\alpha_q \cdot q_k, \quad (3.2)$$

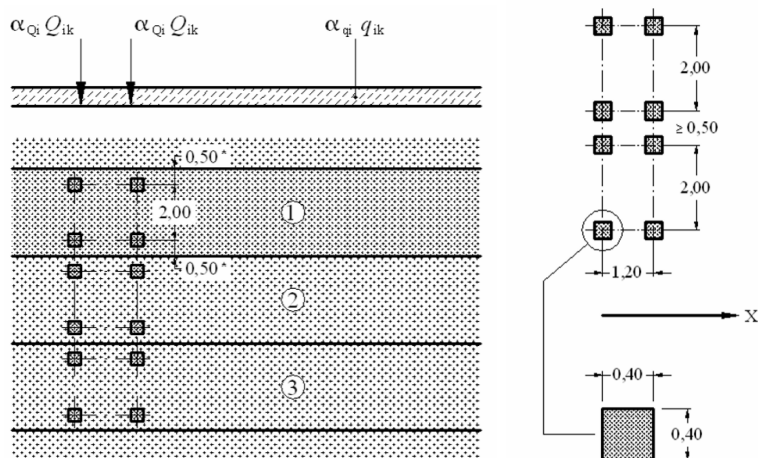
kde α_q jsou regulační součinitele.

q_k je zatížení aplikované pro daný zatěžovací pruh uvedené v Tab. 3.1.

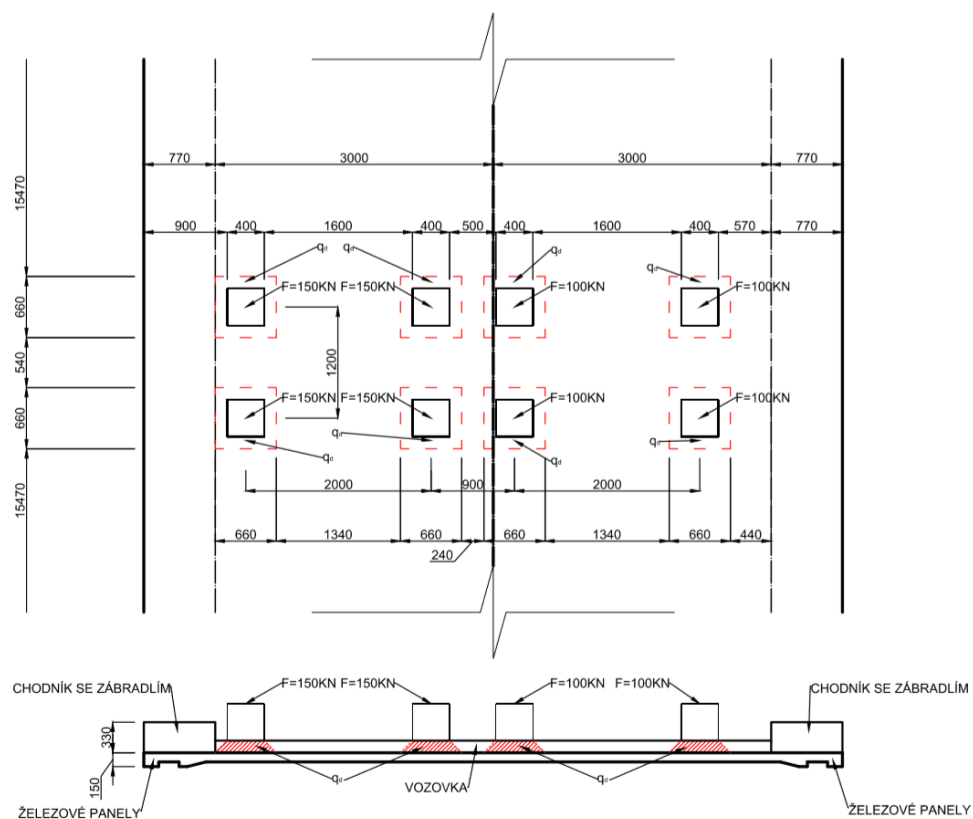
Tato rovnoměrná zatížení se mají použít pouze v nepříznivých částech příčinkových ploch, podélně a příčně [5], Obr. 3.1. Umístění na modelu je vidět na Obr. 3.3. Zatížení vodorovné od brzdných / rozjezdových sil není uvažováno.

Tab. 3.1: Model zatížení 1 (LM 1) – charakteristické hodnoty (převzato z [5])

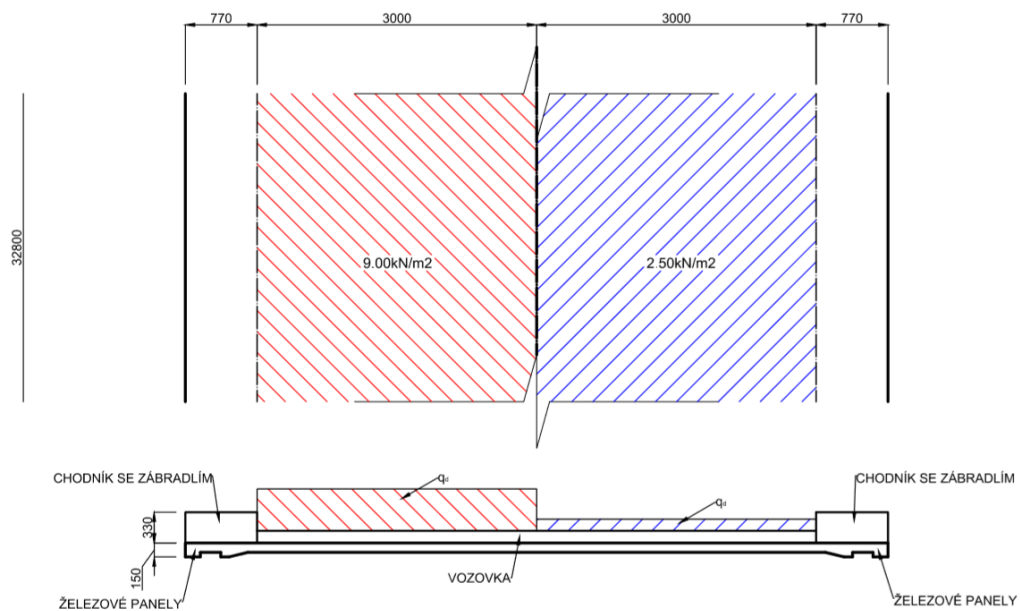
Umístění	Dvojnáprava (TS)	Rovnoměrné zatížení (UDL)
	nápravové síly Q_{ik} [kN]	q_k (nebo q_{rk}) [kN/m ²]
Pruh č. 1	300	9
Pruh č. 2	200	2,5
Pruh č. 3	100	2,5
Ostatní pruhy	0	2,5
Zbývající plocha (q_{rk})	0	2,5



Obr. 3.1: Použití modelu zatížení 1 (LM 1) (převzato z [5])



Obr. 3.2: Rozmístění TS na mostě



Obr. 3.3: Rozmístění UDL na mostě

rakteristické tlakové zatížení $6,9 \text{ kN/m}^2$. Toto zatížení je společně se zatížením od vozovky a LM1 aplikováno na statický model (viz níže) na straně 36.

3.2.3 Záchytná zařízení

Charakteristická hodnota tlakového zatížení záchytných zařízení je obecně definována hodnotou $2,5 \text{ kN/m}^2$.

3.3 Zatěžovací stavy

Z výše uvedeného výčtu zatížení vyplývá, že výpočtový model bude zatížen třemi stálými a dvěma nahodilými zatěžovacími stavy. Vlastní tíha nosných prvků bude aplikována pomocí gravitačního zrychlení $9,81 \text{ m/s}^2$ a bude působit ve všech případech.

3.3.1 ZS 1

Prvním zatěžovacím stavem je zatížení stálé od převáděné komunikace a jejích konstrukčních vrstev (Obr. 3.4). Bude naneseno na zatěžovací plochu $6 \text{ m} \times 32,8 \text{ m}$. Působí v každé kombinaci spolu s jedním ze dvou druhů nahodilých zatížení. Jeho hodnota je uvedena v Tab. 3.2.

3.3.2 ZS 2

Druhým zatěžovacím stavem je zatížení stálé železobetonovými římsami (Obr. 3.4). Bude naneseno na zatěžovací plochu $0,77 \text{ m} \times 32,8 \text{ m}$. Působí v každé kombinaci spolu s jedním ze dvou druhů nahodilých zatížení. Jeho hodnota je uvedena v Tab. 3.2.

3.3.3 ZS 3

Třetím zatěžovacím stavem je zatížení stálé od záchytných zařízení instalovaných na mostě (Obr. 3.4). Bude přičteno k ZS 2 a naneseno na stejnou zatěžovací plochu. Působí v každé kombinaci spolu s jedním ze dvou druhů nahodilých zatížení. Jeho hodnota je zvolena dle obecných parametrů a uvedena v Tab. 3.2.

3.3.4 ZS 4

Čtvrtým zatěžovacím stavem je zatížení proměnné TS (viz výše v této kapitole). Jeho umístění je vykresleno na Obr. 3.1 a Obr. 3.2. Poloha dvounáprav byla volena pro maximální nepříznivé účinky. Hodnota je uvedena v Tab. 3.1 a Tab. 3.2.

3.3.5 ZS 5

Pátým zatěžovacím stavem je zatížení proměnné UDL. Jeho umístění je vykresleno na Obr. 3.1 a Obr. 3.3. Hodnota je uvedena v Tab. 3.1 a Tab. 3.2.

Tab. 3.2: Aplikovaná zatížení na statický model

	Druh	Plocha [m²]	ρ [kg/m³]	g_d [kN/m²]
Stálé	Vozovka	0,13	2400	4,21
	Římsa	0,276	2500	9,32
	Záchytná zařízení	–	–	3,38
		Plocha [m²]	F/A	q_d [kN/m²]
Proměnné	TS 1. náprava	0,4356	150/0,4356	516,53
	TS 2. náprava	0,4356	100/0,4356	344,35
	UDL 1. pruh	–	–	13,50
	UDL 2. pruh	–	–	3,75

4 MODELOVÁNÍ KONSTRUKCE

Numerické modelování konstrukce mostu probíhalo nejprve v programu AUTOCAD vytvořením 3D modelu v prostoru a po té převedením pomocí formátu IGES do prostředí ANSYS. V tomto programu dále probíhalo její převedení (příkaz *Extrude* viz strana 27) na tělesa a následovné přiřazení vhodně zvolených prvků.

Po dokončení prostorového modelu v programu ANSYS bylo nutné navrhnout síť konečných prvků pro každou část konstrukce zvlášť, a to tak, že po výšce musela být každá jednotlivá část rozdělena minimálně na čtyři (optimálně na deset) díly.

Následně byla konstrukce zatížena (viz předchozí kapitola Zatížení a zatěžovací stavy). Zatížení bylo aplikováno na síť konečných prvků vytvořenou na plochách, které byly součástí těles tvořících nosnou konstrukci mostu.

Poté byl proveden výpočet konstrukce. Výsledky jsou uvedeny na Obr. 5.3 a 5.4.

Poté probíhalo ověření výsledků řešení deformací pilot z programu ANSYS s výsledky řešení pomocí ODM v programu MS Excel. Tato kapitola je uvedena pro kontrolu správnosti použitých prvků a aplikovaných postupů pro kontrolu deformací pilot v programu ANSYS.

4.1 Modelování AUTOCAD

Grafické modelování konstrukce probíhalo podle stávající projektové dokumentace společně s kontrolou dle nově pořízených fotografií. Při vytváření modelu se braly v potaz pouze obecně brané tvary prvků vykreslených v projektové dokumentaci, bez dodatečných modifikací zvýšení únosnosti, např. přivařením vzpěrných plechů na stojinu I profilů nebo šroubové spoje sloužící [21] k zaaretování příčných U profilů (Obr. 4.1).

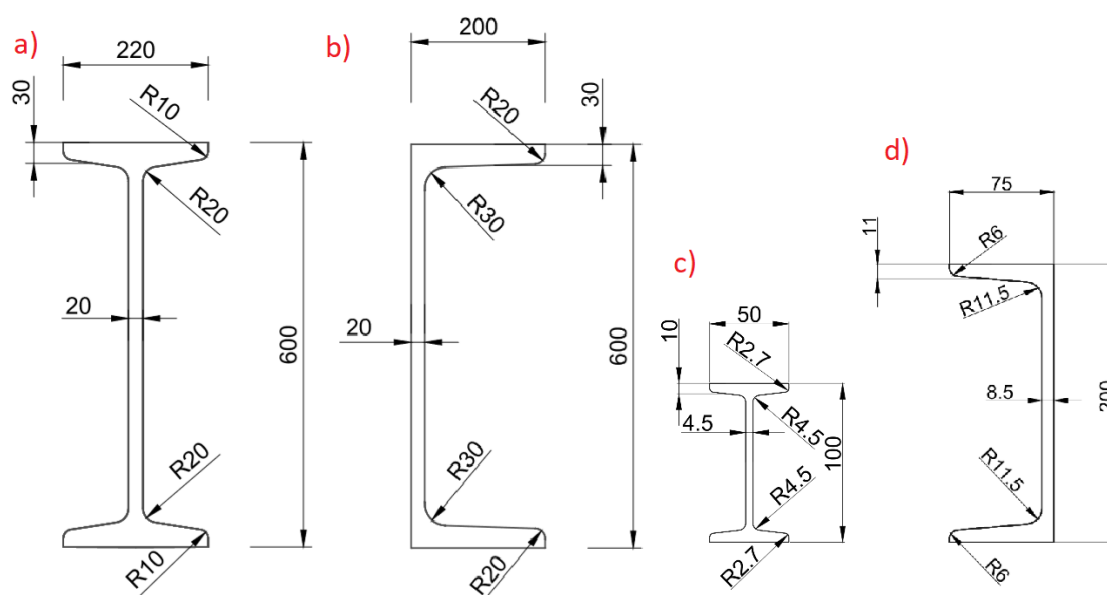
Vytvoření modelu probíhalo nejprve tvorbou základních tvarů nosných prvků pomocí křivek, následným spojením v jednotnou oblast a dále vytažením do prostoru.

Na Obr. 4.2 jsou zobrazeny ocelové prvky konstrukce a na Obr. 4.3 jsou zobrazeny betonové prvky konstrukce. Vytažení prvků do prostoru bylo provedeno v souladu s projektovou dokumentací.[21]

Po vytvoření symetrické poloviny modelu se hotová část ozrcadlila okolo vlastní osy



Obr. 4.1: Přivařené vzpěrné plechy, ponechání šroubových spojů (foceno léto 2017)

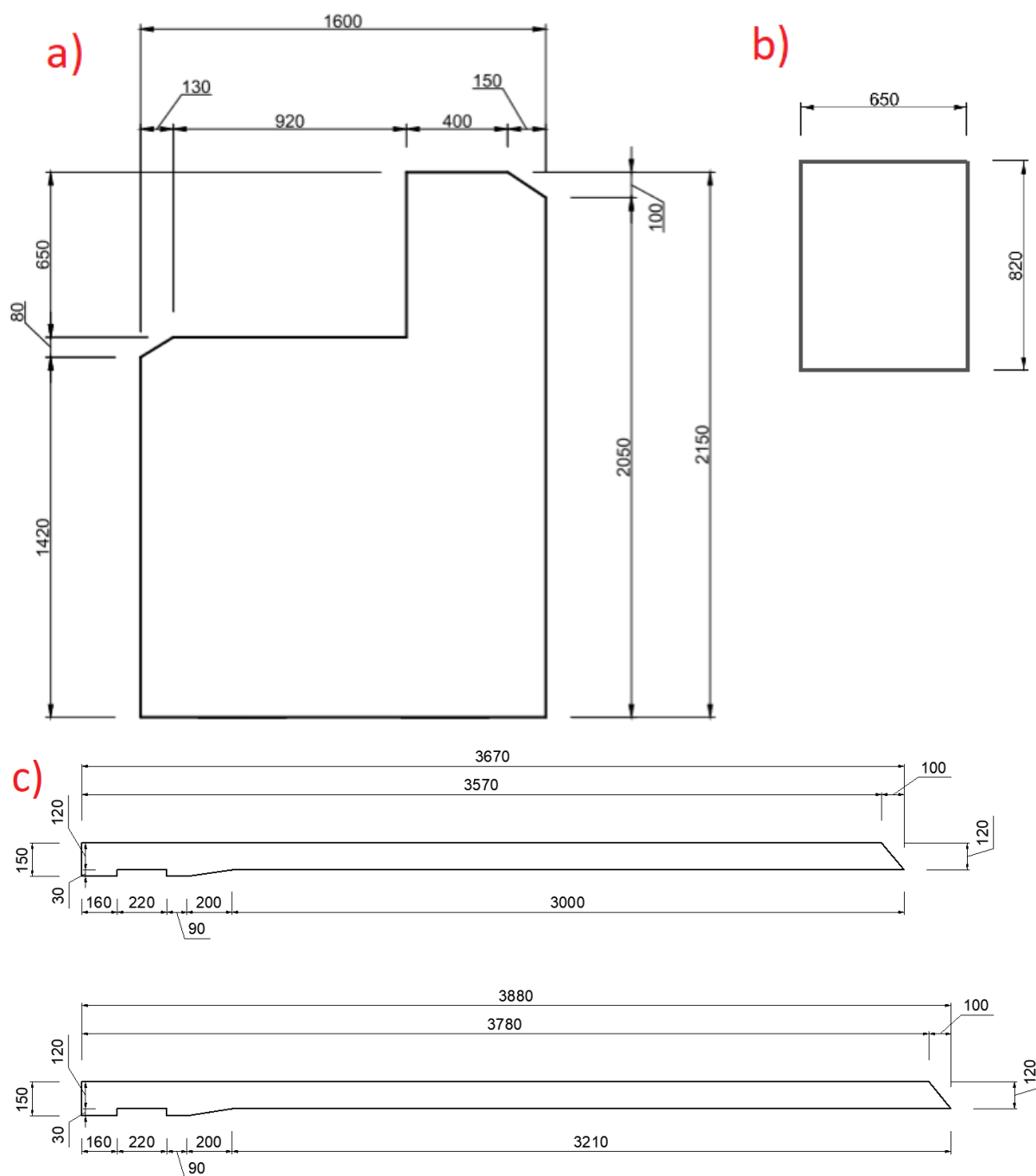


Obr. 4.2: a) IPN 600, b) UPN 600, c) UPN 200, d) IPN 100

a následně se střední části nosníků spojily tak, aby vznikl jeden celek Obr. 4.4.

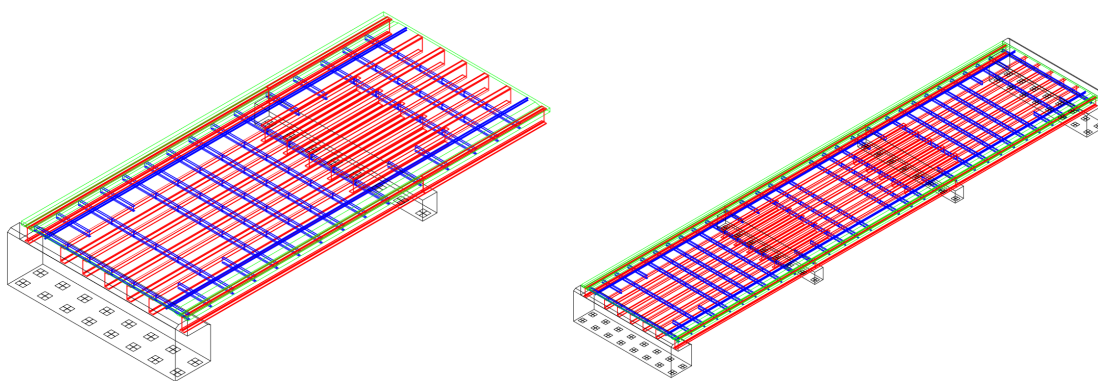
Dále se k modelu připojily piloty Obr.4.5 jejichž bližší popis vytvoření je popsán na straně 77.

U takto vyhotoveného modelu v prostředí AUTOCAD se posunul počátek souřadnicového systému do středu modelu, okolo kterého se zrcadlil pro lepší manipulaci a selektování v prostředí programu ANSYS. Dále se model importoval do formátu

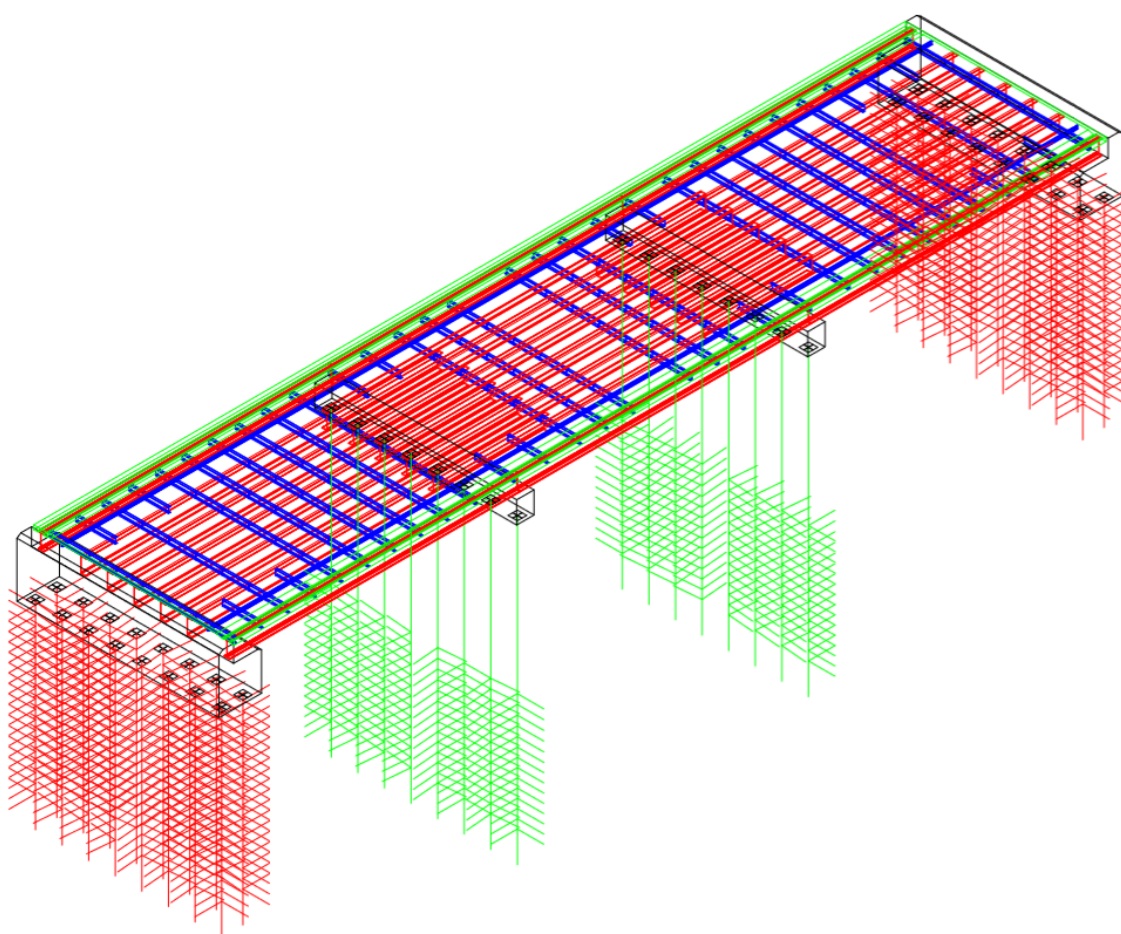


Obr. 4.3: Rozměry: a) krajní základ mostu, b) vnitřní podpěra, c) železobetonové panely

IGES, který slouží k exportování datových modelů ve formě schémat obvodů, drátových rámců, reprezentací volných ploch nebo pevných modelů.



Obr. 4.4: Princip ozrcadlení poloviny modelu AUTOCAD



Obr. 4.5: Připojení modelů pilot na model mostu

4.2 Materiálové parametry

Podle stávající projektové dokumentace je materiál podpůrné konstrukce nosníků tvořen betonem B 10, který v současnosti odpovídá betonu C 8/10 a materiál pilot

a železobetonových panelů je tvořen betonem B 12,5, který v současnosti odpovídá betonu C 10/12. Objemová hustota byla v dokumentaci stanovena stejná pro oba typy betonů $\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$, Poissonův součinitel $\nu = 0,2$ a Youngův modul pružnosti $E_1 = 18,48 \text{ GPa}$ pro beton B 10 a $E_2 = 20,14 \text{ GPa}$ pro beton B 12,5, byl stanoven vygenerováním pomocí normativních vztahů zkrze program ATENA 2D [4].

Materiál ocelových nosníků IPN 600, UPN 600, UPN 200, IPN 100 byl brán shodně s projektovou dokumentací jako ocel typu S 235 s objemovou hustotou $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$, Youngovým modulem pružnosti $E = 210 \text{ GPa}$ a Poissonovým součinitelem $\nu = 0,3$.

Tab. 4.1: Tabulka tříd betonu (převzato ze [23])

Třída pevnosti v tlaku	Charakteristická válcová pevnost f _{ck} [N/mm ²]	Charakteristická krychelná pevnost f _{ck} [N/mm ²]	Starší označení dle ČSN 73 2400	Starší označení dle ČSN 73 1201- 67	Starší označení dle ČSN 73 2001- 70
C-5			B5		80
C-7.5			B7.5	0	105
C 8/10	8	10	B10	I	135
			B12.5	II	170
C 12/15	12	15			
C 16/20	16	20	B20	III	250
C 20/25	20	25	B25		
C 25/30	25	30	B30		

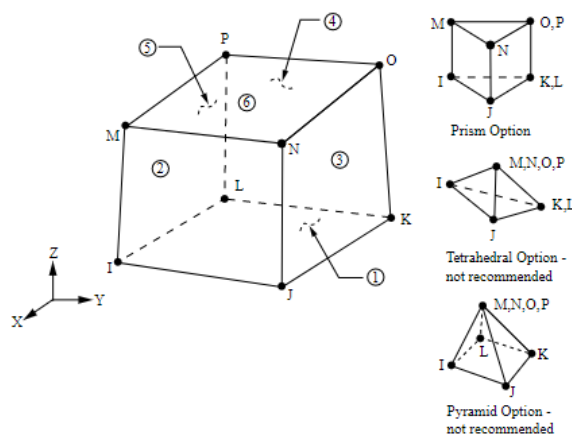
4.3 Použité typy prvků (ANSYS) a jejich využití v modelu

V programu ANSYS je široká škála prvků vhodných pro jakékoliv typy konstrukce i druhy zatížení. Jejich odborným výběrem a kombinací můžeme dosáhnout přesnějších výsledků nebo ušetřit nezanedbatelné množství času při výpočtu. Zde uvedeme pouze použité typy prvků v modelu. Pro snadnější orientaci vysvětlíme pár výrazů z jazyka systému APDL, které budou v následujících řádcích použity.

– UX, UY, UZ	posuny ve směru dané osy
– ROTX, ROTY, ROTZ	pootočení kolem dané osy
– AREA	průřezová plocha
– IZZ, IYY	momenty setrvačnosti okolo konkrétní osy
– TKZ, TKY	tloušťka ve směru konkrétní osy
– K	tuhost pružiny
– EX	Youngův modul pružnosti
– PRXY	Poissonův součinitel
– DENS	objemová hustota

4.3.1 SOLID 185

Prvek, který se používá pro 3D modelování pevných struktur. Je definován osmi uzly, které mají v každém uzlu tři stupně volnosti: v uzlových směrech x , y a z . Element má plastičnost, hyperelasticitu, vyztužení, namáhání, tečení, velké deformace. Má rovněž smíšené složení pro simulaci deformací téměř nekomprimovatelných elasto-plastických materiálů a plně nestlačitelných hyperelastických materiálů. V modelu je použit pro simulaci opěr, podpěr, nosníků a panelů.[2]

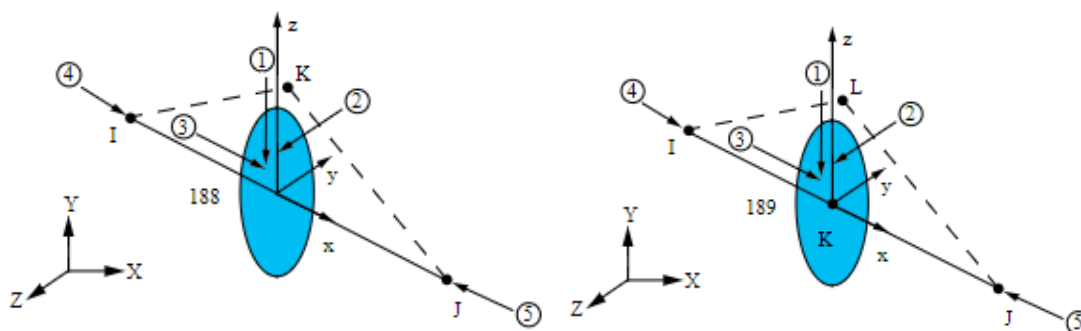


Obr. 4.6: SOLID185

4.3.2 BEAM 188/189

Prvek vhodný pro analýzu štíhlých až středně objemných nosníků (prutů). Poskytuje možnosti pro neomezenou deformaci a omezené zkroucení průřezů, má šest nebo sedm stupňů volnosti v každém uzlu (UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ) přičemž sedmý stupeň je volitelný. Umožňuje zadání reálných hodnot jako je AREA, IZZ, IYY, TKZ, TKY a materiálových charakteristik EX, DENS. V modelu je použit

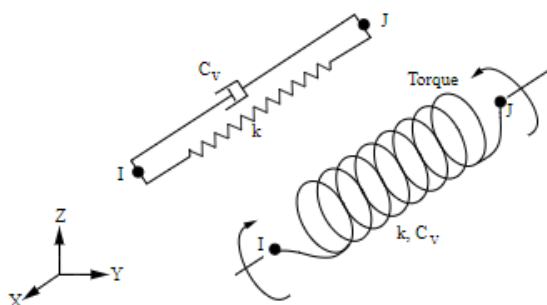
BEAM 189 pro simulaci těl pilot v celkovém modelu konstrukce a prvek BEAM 188 pro simulaci těl pilot v samostatných modelech pilot pro ověření deformací.[2]



Obr. 4.7: BEAM 188 (vlevo), BEAM 189 (vpravo)

4.3.3 COMBIN 14

Tento prvek má podélnou nebo torzní schopnost v aplikacích 1D, 2D nebo 3D. Je tvořen dvěma uzly mezi nimiž vytváří pružinu o určité tuhosti. Má tři stupně volnosti UX, UY, UZ. Dále je tvořen reálnou konstantou k (tuhost). Materiálovou charakteristiku nemá přiřazenu. Nepoužívá se pro ohyb ani kroucení. V modelu je použit pro simulaci vodorovných pružin znázorňujících tuhost zeminy v okolí pilot.[2]

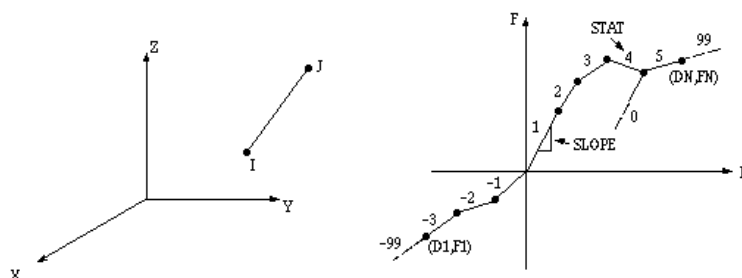


Obr. 4.8: COMBIN14

4.3.4 COMBIN 39

Je to jednosměrně deformovatelný prvek až se třemi stupni volnosti, tvořen dvěma uzly, mezi kterými je natažena pružina znázorňující stlačitelnost zeminy. Reálná konstanta je zadávána ve formě tabulky, představující závislost deformace na působící síle. V tomto prvku nejsou zohledněny žádné ohybové ani kroucí účinky. Není

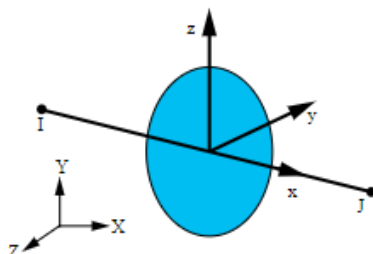
zde použita ani žádná materiálová charakteristika. V modelu je použit pro simulaci pružiny zázorňující svislou únosnost podloží pod pilotami.[2]



Obr. 4.9: COMBIN39

4.3.5 MPC 184 – RIGID BEAM

Dvou uzlový prvek o šesti stupních volnosti, vhodný pro modelování pevného spoje, omezení deformací mezi dvěma deformovatelnými tělesy nebo jako tuhá část konstrukce používaná k přenosu sil a momentů. Je vhodný pro lineární nebo i nelineární velké deformace. V modelu je použit pro spolupůsobení pilot a základů.[2]



Obr. 4.10: MPC 184

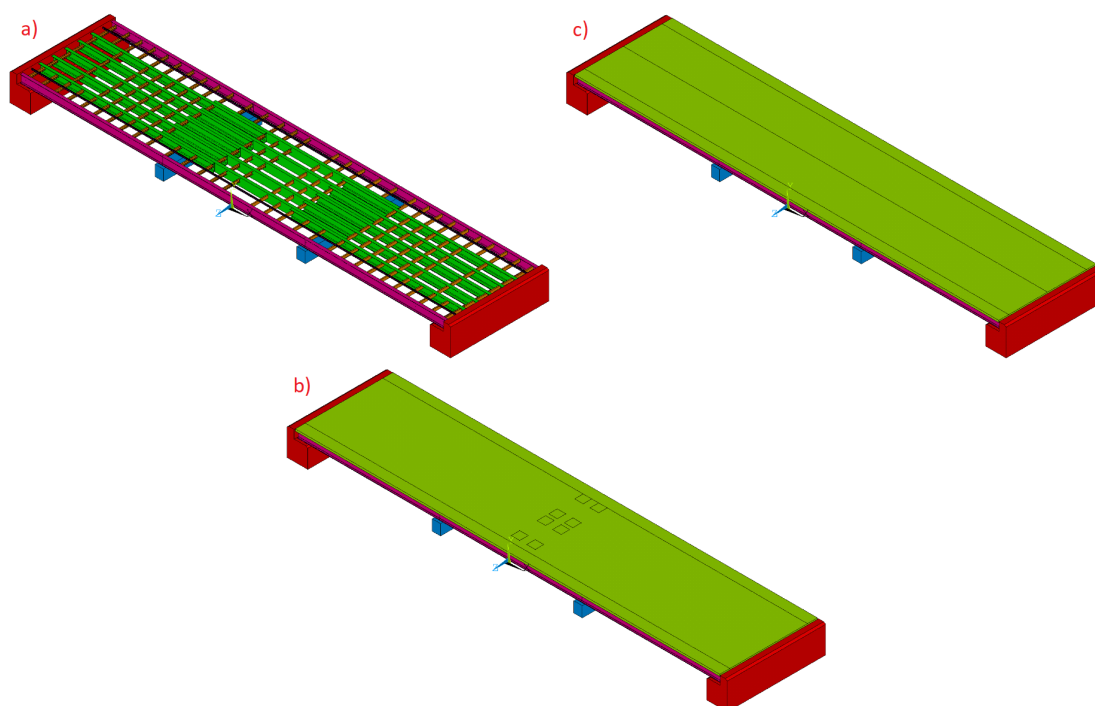
4.4 Modelování ANSYS

Modelování v ANSYS probíhalo stejně jako v podobných programech na principu MKP v několika fázích. První fází byl *preprocessing*, v tomto prostředí probíhala tvorba prostorového modelu, zadání jeho materiálových a fyzikálních charakteristik. Druhou fází byl *meshing*, zde se již vytvořený prostorový model pokryje sítí konečných prvků zvolenou tak, aby zobrazovala co možná nejlepší výsledky. Třetí fáze je *solution*, zde zadáme okrajové podmínky dané konstrukce (zatížení, podpory, vliv prostředí, atd.) a necháme konstrukci spočítat. Čtvrtým prostředím je *postprocessor*, ve kterém se zobrazují výsledky dané analýzy konstrukce.

4.4.1 Preprocesoring

Do tohoto prostředí se vložil plošný model konstrukce konvertovaný v soboru IGES (viz strana 38). Tento soubor se skládal z ploch, linií a bodů vytvořených v programu AUTOCAD. Takto připravený model bylo nutné převést na tělesa a přiřadit jim dané prvky pro správnou funkci při výpočtu.

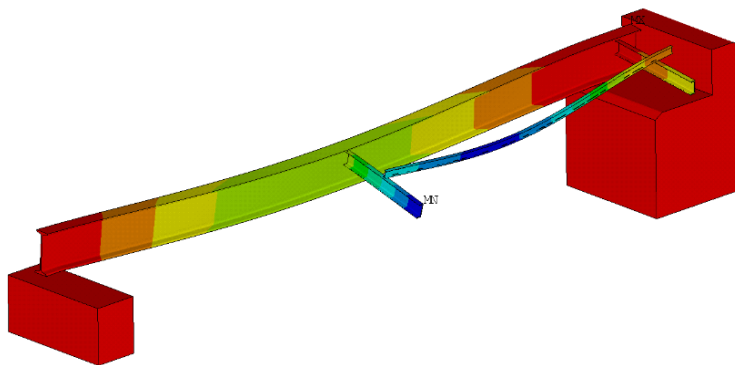
Vytvoření těles z importovaných křivek se provádělo pomocí *Booleanských operací* a to konkrétně pomocí příkazů *Extrude* -> *Area* -> *Along line* (viz strana 27), kdy se vybrala daná obrysová plocha tělesa a přímka určující dráhu a délku vytažení. Stejná operace se provedla u všech ploch v modelu dokud nevznikl prostorový model Obr. 4.11. U takto vytvořeného modelu bylo nutno zajistit spojitost ocelového roštu



Obr. 4.11: Hotový prostorový model horní části kee., a) zobrazení roštu, b) žb. deska rozdělena pro TS, c) žb. deska rozdělena pro UDL (podrobnější zobrazení prostorového modelu uvedeno v Příloze F)

a všech částí k němu přilehajících (v praxi jsou tyto požadavky dodrženy svařením, spojovacími trny nebo ozuby vytvořenými na spodním líci desek). Této spojitosti bylo dosaženo vytvořením společných stykových ploch a následně jedné sady uzlů pro dvě nebo více spojovaných těles na jedné ploše nebo v jednom bodě. Tento požadavek byl dodržen příkazem *Glue*, který zaručuje výše popsané náležitosti a zároveň umožňuje ponechat různé materiálové a reálné charakteristiky pro jednotlivé spojované části (*Glue* viz kapitola *Booleans operation*). Po aplikaci výše popsanych

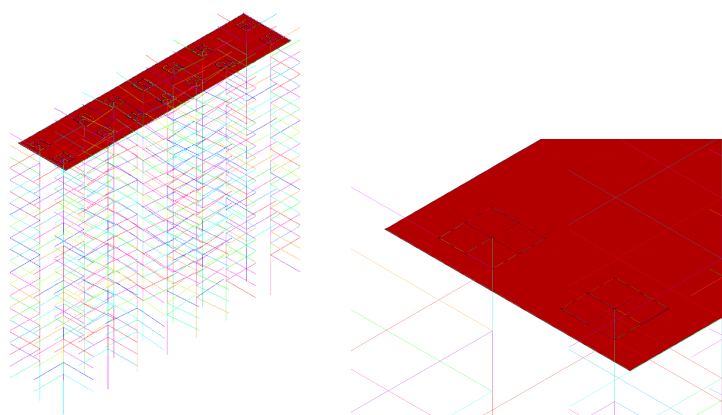
postupů bylo nutné příkazem *Merge* zaručit, že možné nově vytvořené entity během předchozích postupů, vyskytující se ve více počtech v jednom místě, budou omezeny pouze na jednu stejnou entitu (více stejných uzlů, konečných prvků, případně ploch). V případě sloučení identických entit vzniknou v databázi číslování mezery. Tyto mezery je možné odstranit příkazem *Compress*.



Obr. 4.12: Názorná ukázka spolupůsobení prvků při spojení příkazem *Glue*

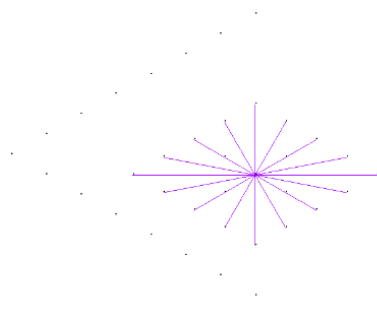
4.4.2 Usazení modelu na síť pilot

Na základě údajů ze strany 17 byl sestaven statický model pilot s hlavami v předem vytvořených bodech na spodní straně podpěr a tělem směřujícím ve směru osy $-y$ Obr. 4.13. Výpočtové modely pilot byly pokryty sítí konečných prvků dle Tab. 4.3. Zajištění spolupůsobení mezi základem a pilotou bylo docíleno spojením posledního horního uzlu (*keypoint*) piloty s uzlem, v předem vytvořené ploše základu.



Obr. 4.13: Napojení pilot na model (vlevo), detail připojení hlavy piloty na uzel (vpravo)

Dále pro omezení deformace mezi prvkem pilot a základu byla vytvořena tuhá ramena, která této deformaci brání. Jejich spojení s prvky bylo docíleno uchycením jedné strany ramene v uzlu na horním konci piloty a druhé strany ramene v předem připraveném uzlu na ploše náležící základu konstrukce Obr. 4.13.



Obr. 4.14: Tuhá ramena okolo bodu napojení hlavy piloty

4.4.3 Pokrytí modelu sítí konečných prvků (*meshing*)

Druhým krokem v pořadí vytváření statického modelu je rozdělení jeho částí na sítě konečných prvků (elementů), které se navzájem stýkají ve svých uzlech. Pro dostatečně přesné výsledky je nutno dbát na správnou velikost konečných prvků a proto je nepsaným pravidlem, aby každý prvek byl rozdělen po své šířce, výšce nebo délce na čtyři či více konečných prvků (elementů) (optimálně na deset).

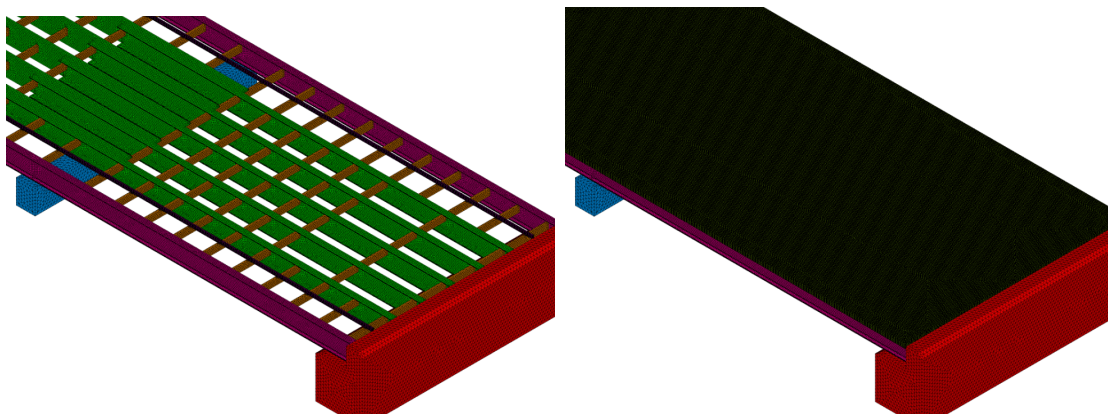
Dělení jednotlivých částí modelu probíhalo zvláště, kvůli individuální topologii každého prvku. Pro rozdělení těles byla použita volná síť konečných prvků. Možností pro vytvoření konečné sítě prvků bylo více, avšak autor zvolil tento postup, protože jej pokládá za méně pracný (z hlediska rozdílné topologie a vzájemného napojení prvků), časově příznivější a díky jemnému rozdělení sítě i dostatečně přesným pro zobrazení požadovaných výsledků. Pokrytí objemů touto sítí probíhá volným tvořením s požadavkem na dodržení jednotlivé maximální velikosti elementu, zvolenou pro každé těleso zvláště (viz Tab. 4.2 a Tab. 4.3). Opakováním tohoto postupu bylo dosaženo rozdělení celého modelu na síť konečných prvků.

Tab. 4.2: Rozdělení (přiřazení) jednotlivých elementů v modelu, objemy a piloty

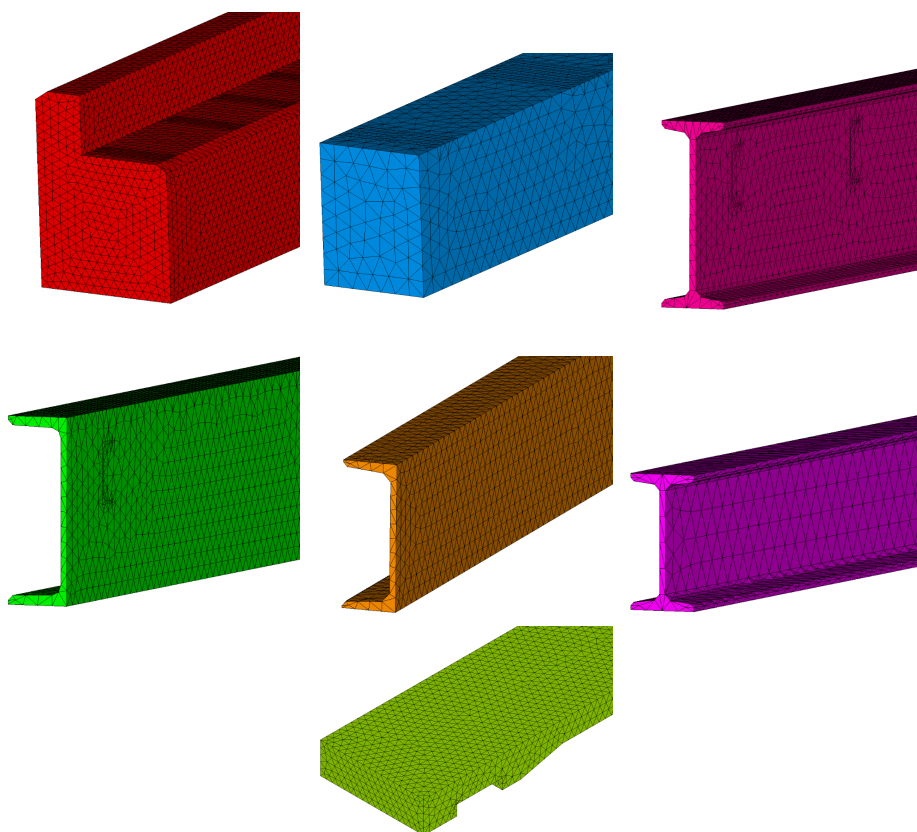
ČÍSLO	TYP	ELEMENT	MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY	SECTION	VELIKOST ELEMENTU
1	PILOTA VNĚJŠÍ	BEAM 189	$\rho = 2500 \text{ [kg/m}^3\text{]}$ $E = 2,014\text{E}+10 \text{ [Pa]}$ $\nu = 0.2$	$a = 0.35 \text{ [m]}$ $b = 0.35 \text{ [m]}$ $A = 0.1225 \text{ [m]}$	0,05 [m]
2	PILOTA VNITŘNÍ	BEAM 189	$\rho = 2500 \text{ [kg/m}^3\text{]}$ $E = 2,014\text{E}+10 \text{ [Pa]}$ $\nu = 0.2$	$a = 0.35 \text{ [m]}$ $b = 0.35 \text{ [m]}$ $A = 0.1225 \text{ [m]}$	0,05 [m]
3	ZÁKLADY KRAJNÍ	SOLID 185	$\rho = 2500 \text{ [kg/m}^3\text{]}$ $E = 1,848\text{E}+10 \text{ [Pa]}$ $\nu = 0.2$	- - -	0,10 [m]
4	VNITŘNÍ PODPĚRY	SOLID 185	$\rho = 2500 \text{ [kg/m}^3\text{]}$ $E = 1,848\text{E}+10 \text{ [Pa]}$ $\nu = 0.2$	- - -	0,10 [m]
5	IPN 600	SOLID 185	$\rho = 7850 \text{ [kg/m}^3\text{]}$ $E = 2,100\text{E}+11 \text{ [Pa]}$ $\nu = 0.3$	- - -	0,10 [m]
6	UPN 600	SOLID 185	$\rho = 7850 \text{ [kg/m}^3\text{]}$ $E = 2,100\text{E}+11 \text{ [Pa]}$ $\nu = 0.3$	- - -	0,10 [m]
7	UPN 200	SOLID 185	$\rho = 2500 \text{ [kg/m}^3\text{]}$ $E = 2,100\text{E}+11 \text{ [Pa]}$ $\nu = 0.3$	- - -	0,02 [m]
8	IPN 100	SOLID 185	$\rho = 2500 \text{ [kg/m}^3\text{]}$ $E = 2,100\text{E}+11 \text{ [Pa]}$ $\nu = 0.3$	- - -	0,02 [m]
9	ŽELEZOBETONOVÉ DESKY	SOLID 185	$\rho = 2500 \text{ [kg/m}^3\text{]}$ $E = 2,014\text{E}+10 \text{ [Pa]}$ $\nu = 0.2$	- - -	0,03 [m]
101	TUHÁ RAMENA	MPC 184	$\rho = 0 \text{ [kg/m}^3\text{]}$ $E = 0,000\text{E}+0 \text{ [Pa]}$ $\nu = 0$	- - -	1 díl

Tab. 4.3: Rozdělení (přiřazení) jednotlivých elementů v modelu pilot, pružiny

ČÍSLO	TYP	ELEMENT	REÁLNÉ CHARAKTERISTIKY		VELIKOST ELEMENTU
11	PRUŽINA BOČNÍ VNĚJŠÍ PILOTA	COMBIN 14	7.000E+5[N/m]	-	1 díl
12	PRUŽINA BOČNÍ VNĚJŠÍ PILOTA	COMBIN 14	8.325E+5[N/m]	-	1 díl
13	PRUŽINA BOČNÍ VNĚJŠÍ PILOTA	COMBIN 14	1.010E+6[N/m]	-	1 díl
14	PRUŽINA DOSEDNUTÍ VNĚJ. PIL.	COMBIN 39	0.0000 [m]	0 [N]	1 díl
			0.0025 [m]	203970 [N]	
			0.0050 [m]	288460 [N]	
			0.0075 [m]	314570 [N]	
			0.0100 [m]	332000 [N]	
			0.0125 [m]	349430 [N]	
			0.0150 [m]	366860 [N]	
			0.0175 [m]	384290 [N]	
			0.0200 [m]	401720 [N]	
			0.0225 [m]	419150 [N]	
			0.0250 [m]	436580 [N]	
21	PRUŽINA BOČNÍ VNITŘNÍ PILOTA	COMBIN 14	1.027E+6[N/m]	-	1 díl
22	PRUŽINA BOČNÍ VNITŘNÍ PILOTA	COMBIN 14	1.111E+6[N/m]	-	
23	PRUŽINA DOSEDNUTÍ VNITŘ. PIL.	COMBIN 39	0.0000 [m]	0 [N]	
			0.0025 [m]	151610 [N]	
			0.0050 [m]	214410 [N]	
			0.0075 [m]	245120 [N]	
			0.0100 [m]	260190 [N]	
			0.0125 [m]	275260 [N]	
			0.0150 [m]	290330 [N]	
			0.0175 [m]	305400 [N]	
			0.0200 [m]	320470 [N]	
			0.0225 [m]	335540 [N]	
			0.0250 [m]	350610 [N]	



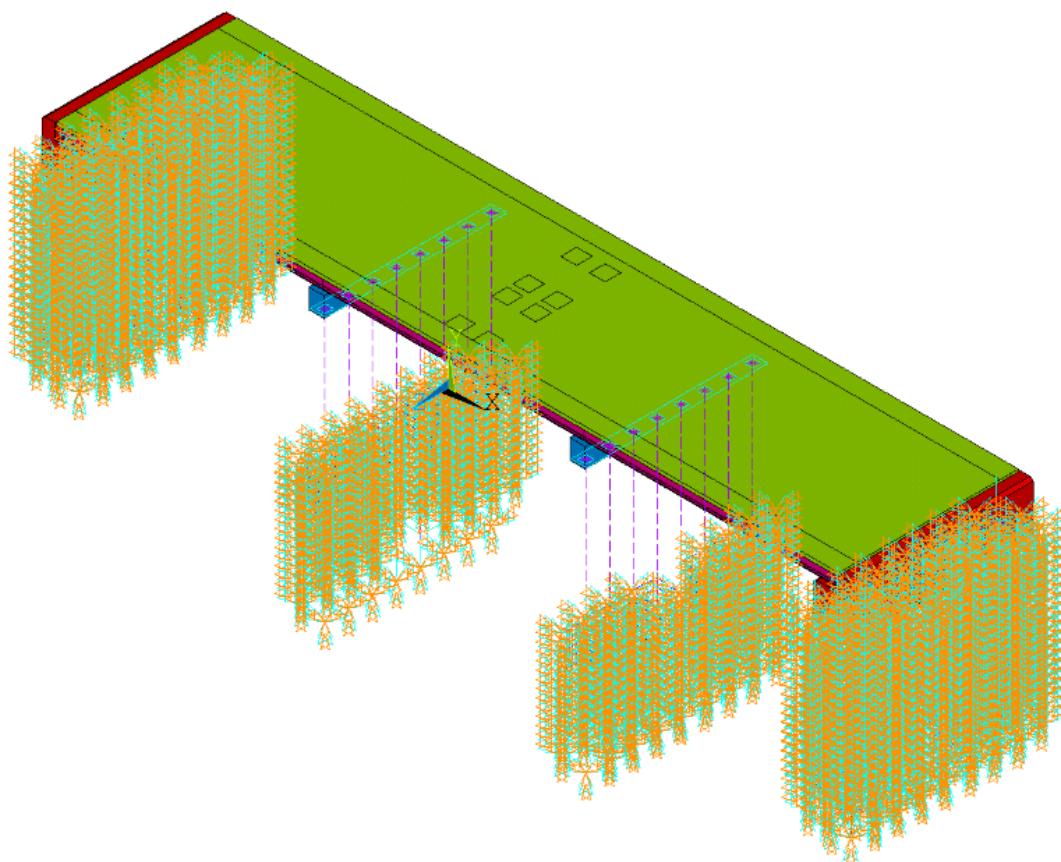
Obr. 4.15: Rozdělení modelu na síť konečných prvků



Obr. 4.16: Ukázka rozdělení jednotlivých částí solid modelu na síť konečných prvků

4.4.4 Solution

Dalším krokem při vytváření statického modelu je určení jeho podepření a nanesení zatížení. Ze strany 17 již víme, že konstrukce je založena na pilotách, které zatížení od konstrukce přenášejí do zeminy pomocí tření. Takže předpokládáme, že veškeré zatížení přenesou piloty a podepření opěr konstrukce mostu, tak nemusíme řešit. Z tohoto důvodu byly okrajové podmínky stanoveny jen u prutů pilot (odebráním všech stupňů volnosti) představujících pružiny Obr. 4.17.



Obr. 4.17: Aplikace okrajových podmínek

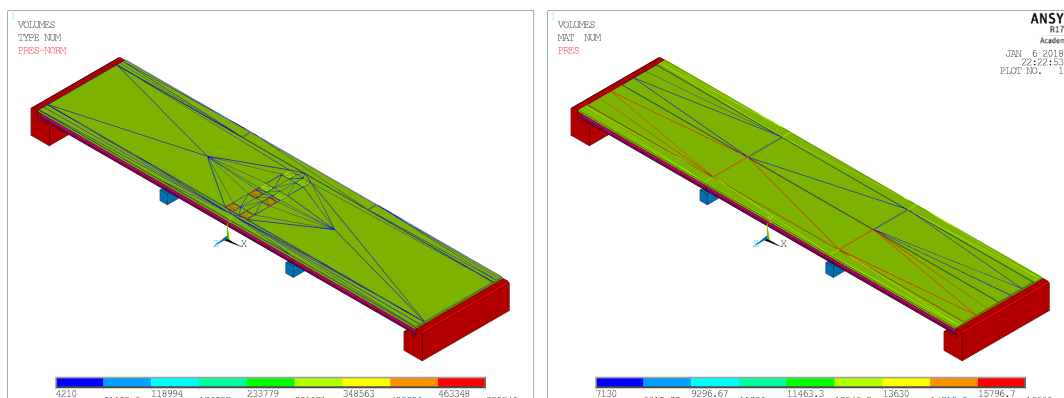
Aplikace zatížení uvedeného v kapitole (Zatížení a zatěžovací stavy) probíhala na předem připravené a nadělené (pokryté sítí konečných prvků) plochy na horní stranu železobetonových panelů. Zatížení vlastní tíhou proběhlo přes posloupnost příkazů *inertia* $\rightarrow$ *gravity* $\rightarrow$ *global* ve směru y , $9,81 \text{ [m/s}^2\text{]}$.

Zatížení první kombinací proběhlo následovně: zatížení od TS (ZS 4) bylo naneseno na plochu rovnající se ploše roznosu pod úhlem 45° skrze vozovku (Obr. 3.2).

K tomuto zatížení byla dále přičtena vlastní tíha vozovky (ZS 1) a po okrajích modelu v místě styku říms s železobetonovou deskou bylo nanесeno zatížení od vlastní tíhy říms (ZS 2) a záchytných zařízení (ZS 3). Hodnoty jednotlivých zatížení jsou uvedeny v Tab. 3.2.

Zatížení druhou kombinací proběhlo tak že: k zatížení od UDL (ZS 5) nanесeném v obou zatěžovacích pruzích (2×3 m) byla přičtena vlastní tíha vozovky (ZS 1) a po okrajích modelu v místě styku říms s železobetonovou deskou bylo nanесeno zatížení od vlastní tíhy říms (ZS 2) a záchytných zařízení (ZS 3). Hodnoty jednotlivých zatížení jsou uvedeny v Tab. 3.2.

Všechny uvedené zatěžovací stavy jsou charakterizovány tlakovým zatížením působícím kolmo na plochu ve směru svislé osy y . Jejich nanесení proběhlo příkazy *Pressure* $\rightarrow$ *on Areas* umístěním hodnoty tlakového zatížení na vyhrazené plochy Obr. 4.18.



Obr. 4.18: Aplikace zatížení: vpravo TS, vlevo UDL

Vyhodnocení maximálního namáhání jednotlivých prvků potřebných pro posouzení konstrukce probíhalo kombinací KOMB. 1 (ZS 1 + ZS 2 + ZS 3 + ZS 4) a kombinací KOMB. 2 (ZS 1 + ZS 2 + ZS 3 + ZS 5).

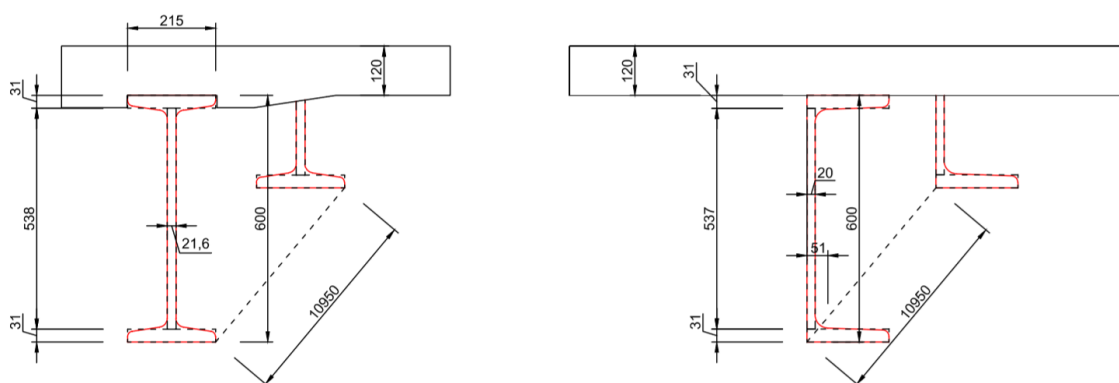
Oba výpočty by počítány nelineárně a vstupovalo do nich 9678891 a 10378866 konečných prvků. Jejich počty se liší z důvodu jiných stykových ploch pro umístění zatížení.

5 STATICKÁ ANALÝZA

V této kapitole budou vyhodnoceny předchozí výpočty a bude ověřeno podle platných norem [7], [5] zda-li jim v současné době stávající konstrukce vyhovuje. Každá únosnost následujících nosných prvků bude ponížena koeficientem stavebního stavu $\alpha = 0,8$.

5.1 Základní údaje I 600 a U 600

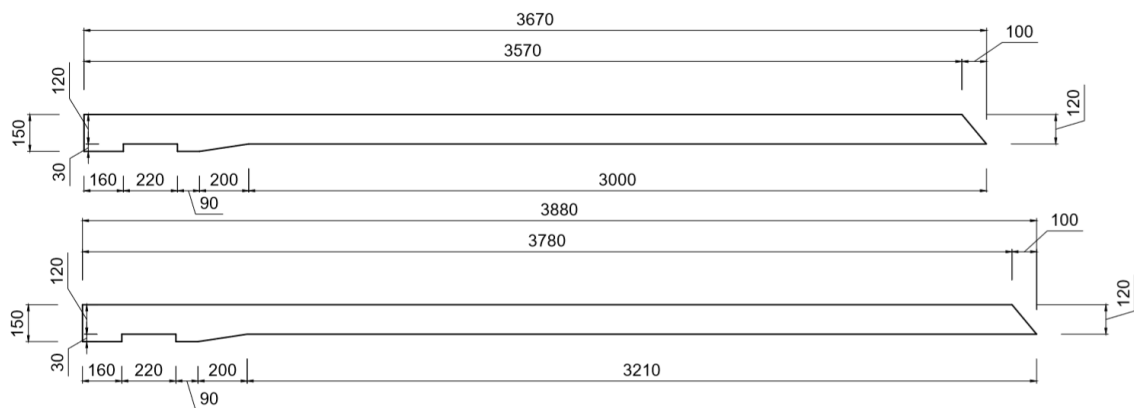
Ocelové nosníky U 600 Škoda – Faltus jsou původními nosnými prvky konstrukce, jejich uložení je vždy provedeno s přesahem 1,65 m. Materiálem U nosníků je ocel S 235. Zajištění spolupůsobení s železobetonovými deskami je provedeno pomocí ocelových trnů umístěných ve spojích mezi deskami (jedná se o spřažení plné). Ocelové nosníky I 600 jsou nově přidaným rozšiřujícím prvkem pro vyhovující šířkové uspořádání vozovky. Na podpory jsou usazeny do osy ložisek bez přesahu. Materiálem I nosníků je ocel S 235. Zajištění spolupůsobení s železobetonovou deskou je dosaženo ozuby vytvořenými v desce a ocelovými trny umístěnými ve spojích mezi deskami (jedná se o spřažení plné). Statický výpočet je součástí přílohy.



Obr. 5.1: Geometrie U 600, I 600, hodnoty jsou uvedeny včetně délky mezi podpory

5.2 Železobetonová deska

Železobetonové desky jsou kvůli nesymetrické geometrii nosníků U 600 Škoda – Faltus navrženy dvojích délek a to 3670 mm a 3880 mm. Jsou zhotoveny z betonu B 12,5 a mezi sebou spojeny betonovou zálivkou taktéž z betonu B 12,5. Vyztužení je provedeno z výztuže R 10 512. Spřažení je docíleno ocelovými trny umístěnými ve spojích desek a dále ozubem velikosti pásnice I profilu na spodním okraji desky.

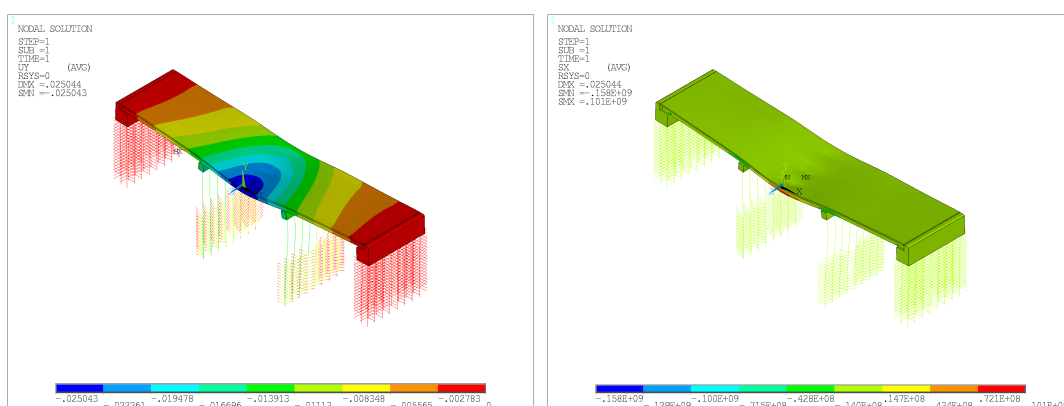


Obr. 5.2: Železobetonové desky

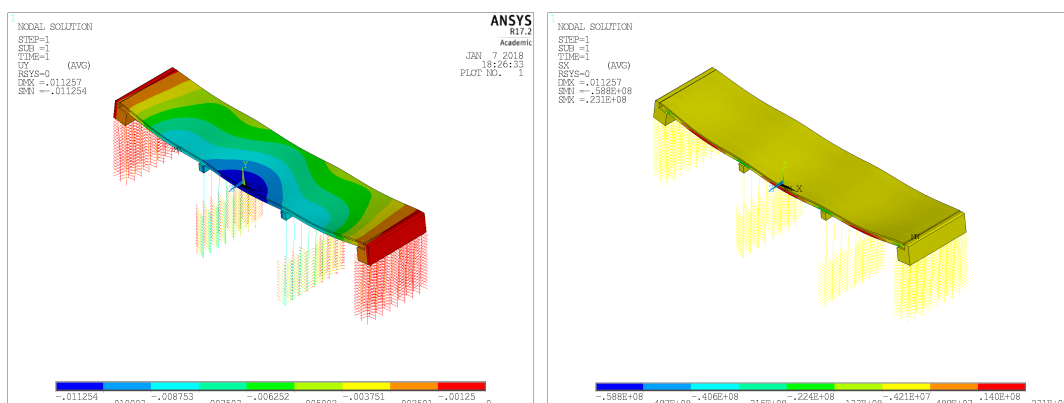
5.3 Posouzení nosné konstrukce

5.3.1 Zatížení

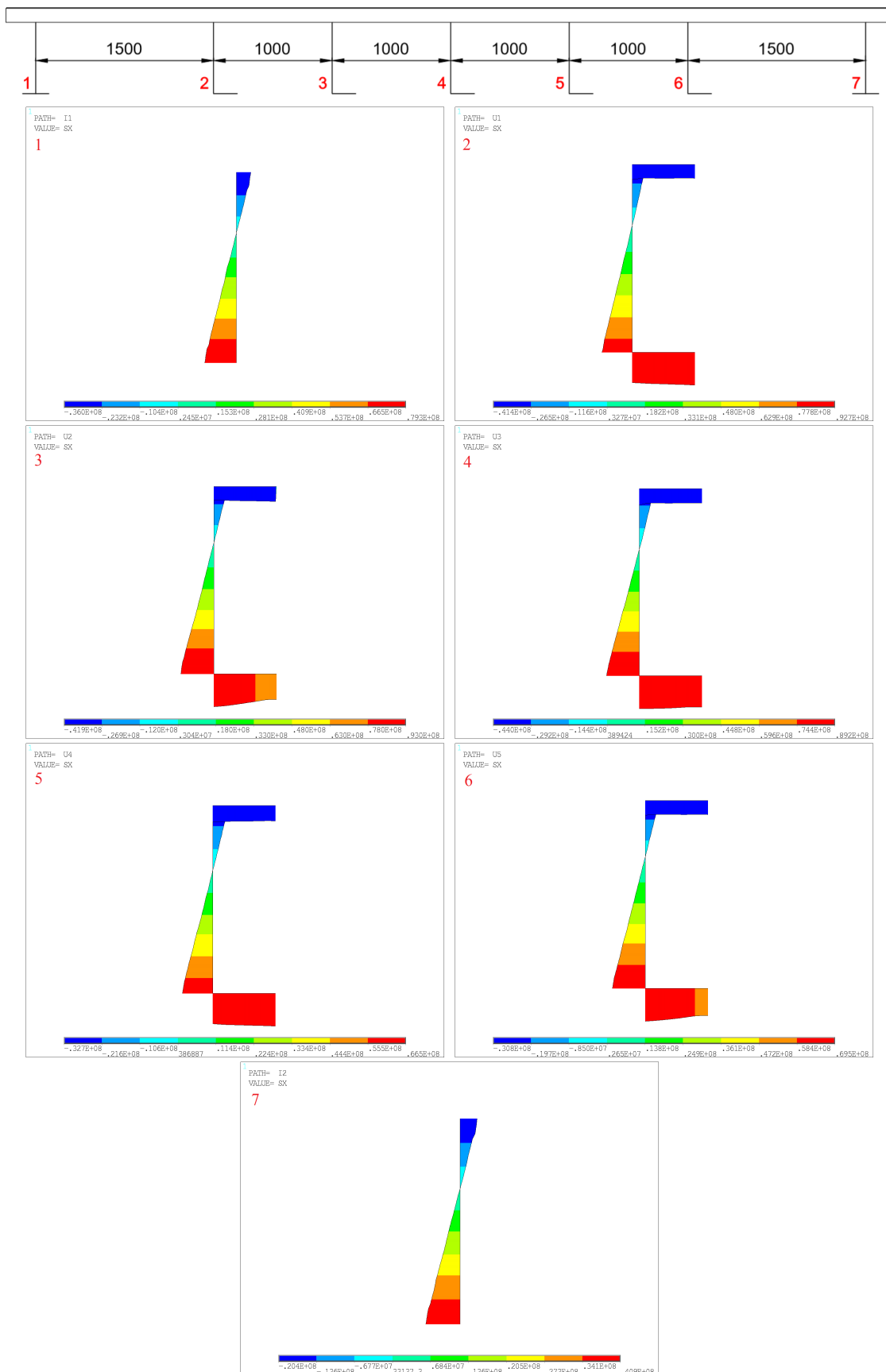
Při výpočtu modelu pomocí MKP v systému ANSYS bylo dosaženo výsledného maximálního ohybového momentu v KOMB. 1 – $M_z = 2980 \text{ kNm}$ ve všech profilech U 600 a I 600. Tato hodnota byla brána ve středním (nejdelším) poli, uprostřed rozpětí a bude použita pro posouzení ohybové únosnosti konstrukce. Dále byla zjištěna maximální posouvající síla taktéž z KOMB. 1 – $V_y = 1049,3 \text{ kN}$ u opěr nosníků a bude použita pro posouzení smykové únosnosti nosníků. Na obrázcích níže je vykreslen průběh napětí na každém nosníku zvlášť.



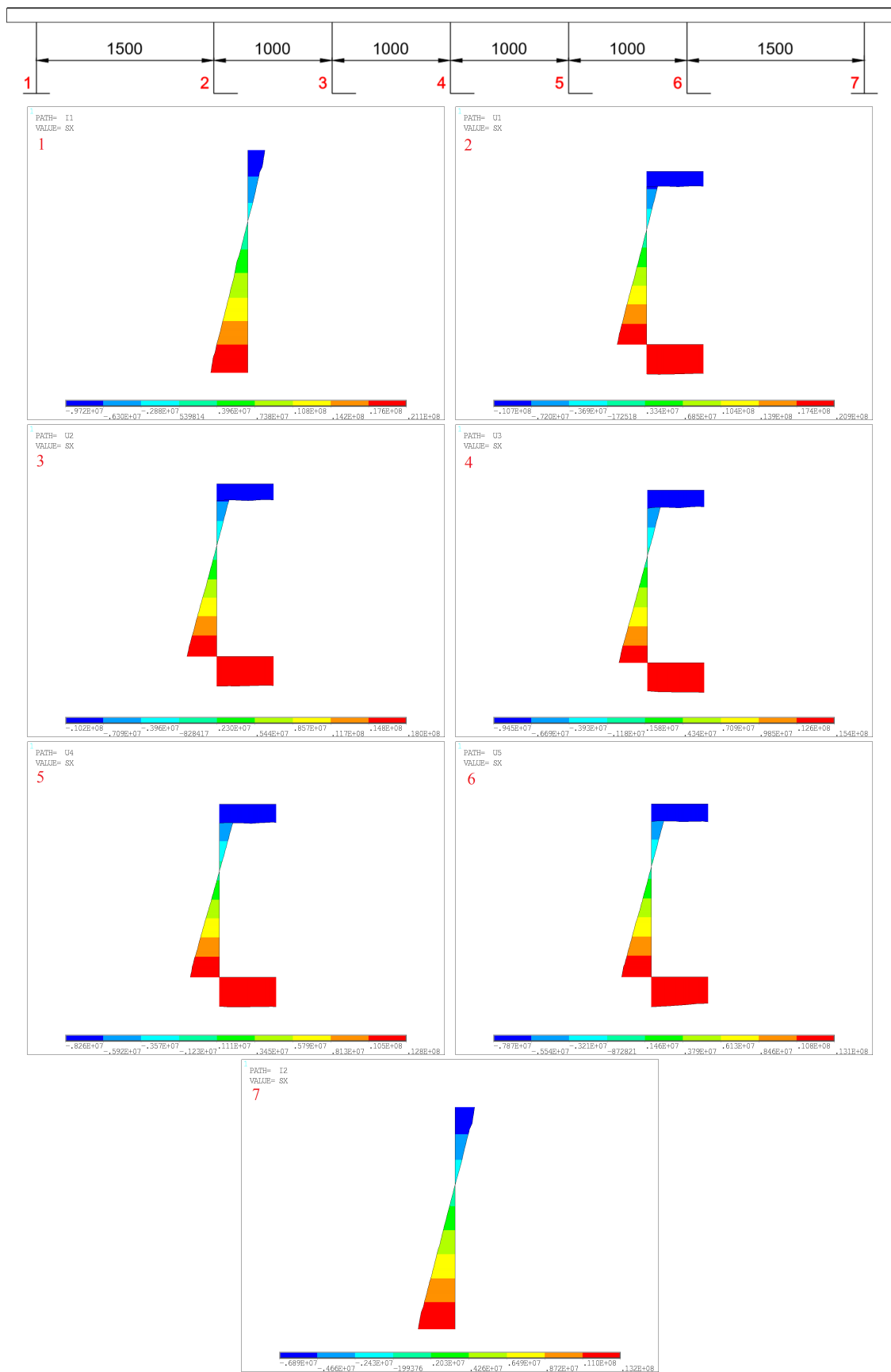
Obr. 5.3: Deformace UY (zatížení KOMB. 1 – TS), normálové napětí ve směru x



Obr. 5.4: Deformace UY (zatížení KOMB. 2 – UDL), normálové napětí ve směru x



Obr. 5.5: Normálové napětí ve směru x v jednotlivých průřezích KOMB. 1



Obr. 5.6: Normálové napětí ve směru x v jednotlivých průřezích KOMB. 2

5.3.2 Posudek na ohyb, dle ČSN EN (nejnepříznivější výsledný účinek)

Posudek I profil $M_{pl,Rd} = 1263,63 \text{ [kN/m]}$ $\cdot 0,8$ $M_{pl,Rd} = 1010,90 \text{ [kN/m]}$
 $M_{Ed}/M_{pl,Rd} = 2,95$ $\not\leq 1$

NEVYHOVUJE

Posudek U profil $M_{pl,Rd} = 1297,65 \text{ [kN/m]}$ $\cdot 0,8$ $M_{pl,Rd} = 1038,12 \text{ [kN/m]}$
 $M_{Ed}/M_{pl,Rd} = 2,87$ $\not\leq 1$

NEVYHOVUJE

5.3.3 Posudek na smyk, dle ČSN EN (nejnepříznivější výsledný účinek)

Posudek I profil $V_{b,Rd} = 4221,99 \text{ [kN]}$ $\cdot 0,8$ $V_{b,Rd} = 3377,59 \text{ [kN]}$
 $V_{Ed,max}/V_{b,Rd} = 0,31$ < 1

VYHOVUJE

Posudek U profil $V_{b,Rd} = 3619,44 \text{ [kN]}$ $\cdot 0,8$ $V_{b,Rd} = 2895,55 \text{ [kN]}$
 $V_{Ed,max}/V_{b,Rd} = 0,36$ < 1

VYHOVUJE

5.3.4 Posudek na ohyb, dle ČSN EN (nejnepříznivější výsledný účinek, vozidlo 24 t)

Posudek I profil $M_{pl,Rd} = 1263,63 \text{ [kN/m]}$ $\cdot 0,8$ $M_{pl,Rd} = 1010,90 \text{ [kN/m]}$
 $M_{Ed}/M_{pl,Rd} = 0,99$ < 1

VYHOVUJE

Posudek U profil $M_{pl,Rd} = 1297,65 \text{ [kN/m]}$ $\cdot 0,8$ $M_{pl,Rd} = 1038,12 \text{ [kN/m]}$
 $M_{Ed}/M_{pl,Rd} = 0,97$ < 1

VYHOVUJE

5.3.5 Posudek na smyk, dle ČSN EN (nejnepříznivější výsledný účinek, vozidlo 24 t)

Posudek I profil $V_{b,Rd} = 4221,99 \text{ [kN]}$ $\cdot 0,8$ $V_{b,Rd} = 3377,59 \text{ [kN]}$
 $V_{Ed,max}/V_{b,Rd} = 0,19 < 1$

VYHOVUJE

Posudek U profil $V_{b,Rd} = 3619,44 \text{ [kN]}$ $\cdot 0,8$ $V_{b,Rd} = 2895,55 \text{ [kN]}$
 $V_{Ed,max}/V_{b,Rd} = 0,22 < 1$

VYHOVUJE

6 ZÁVĚR

V této diplomové práci byl vytvořen prostorový model dostatečně vystihující současné konstrukční podmínky stávajícího mostu v programech AUTOCAD a ANSYS. Čtenář zde byl seznámen se stručnou historií mostu od původní dřevěné konstrukce až po rekonstrukci na stávající stav. Dále je zde uvedena mostní prohlídka provedená v roce 2015, jejíž výsledný koeficient stavebního stavu je použit v závěru práce při výpočtu posouzení únosnosti.

V dalších kapitolách práce proběhlo vysvětlení postupů při modelování jednotlivých částí mostu. Taktéž názvosloví použitých prvků a jejich důvody použití.

Při výpočtech výsledné únosnosti bylo dosaženo závěru, že současný stavební stav Černého mostu ve městě Hodonín je nevyhovující vzhledem k platným normám ČSN EN.

Nicméně s přihlédnutím ke skutečnosti, že již od roku 2005 je umístěna před i za mostem značka omezující tíhu jediného vozidla pohybujícího se po mostě na 24 t je únosnost mostu pro toto zatížení dostačující (výsledky posouzení jsou uvedeny v Příloze E).

Při výpočtu bylo použito zjednodušení v podobě vynechání vodorovné rozjezdové/brzděné síly. Vynechání konstrukce vozovky, kdy působící zatížení na ni bylo rozneseno na železobetonové desky, na kterých je vozovka uložena. Dalším použitým zjednodušením bylo vynechání ložisek a jejich vlivu na výsledná posunutí.

Pokud bychom se konstrukcí chtěli zabývat podrobněji, bylo by nutné provést nové zkušební vrty v oblasti pilot, z hlediska zjištění reálně odpovídající únosnosti zeminy. Dále důkladnou prohlídku spodní stavby a doplnění prostorového modelu o vynechané prvky uvedené výše v této kapitole.

Všechny dílčí úkoly zadání této diplomové práce byly tím pádem splněny.

LITERATURA

- [1] ANSYS Documentation. *Swanson Analysis System, Inc. Houston, Pensylvania 2017.*
- [2] ANSYS Help Viewer *Version 17.2. 2016, SAS IP, Inc.*
- [3] AUTOCAD, AUTODESK © 2018 Autodesk, Inc. Dostupné z: <<https://www.autodesk.cz/>>.
- [4] ČERVENKA V., L. JENDELE, a J. ČERVENKA. *ATENA Program documentation – Part 1: Theory. Praha: Červenka Consulting, 2007.*
- [5] ČSN EN 1991-2 *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 2: Zatížení mostů dopravou.*
- [6] ČSN EN 1992-2 *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 2: Betonové mosty - Navrhování a konstrukční zásady.*
- [7] ČSN EN 1994-2 *Eurokód 4: Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí – Část 2: Obecná pravidla a pravidla pro mosty.*
- [8] ČSN EN 1997-1 *Navrhování geotechnických konstrukcí - Část 1: Obecná pravidla.*
- [9] GEO 5 © GEO-5 SPOL. S. R. O. Dostupné z: <<https://www.geo5.cz/>>.
- [10] Inženýrsko – geologický průzkum, 1961.
- [11] SOBEK, J. Bakalářská práce, 2008/2009, *Analýza nosné konstrukce mostu přes Olbramovický potok.*
- [12] KADLČÁK, J., KYTÝR, J. Statika Stavebních konstrukcí II. 2. vyd. Brno: VUTUM, 431 s. 2004.
- [13] MASOPUST, J. Vrtané piloty. Praha: Čeněk a Ježek, 263s., 1994.
- [14] mapy.cz *Mapový portál.* Dostupné z: <<https://mapy.cz/zakladni?x=17.1408894&y=48.8667047&z=16&source=muni&id=5614&q=Hodonin>>.
- [15] OKÁNIK, M. Bakalářská práce, 2015/2016, *Statická analýza a optimalizace napjatostního a deformačního stavu zdvihadla.*
- [16] MS Excel, Microsoft Office © Microsoft 2018. Dostupné z: <<https://products.office.com/cs-CZ/>>.
- [17] Most 432-040 *Hlavní prohlídka, 2015, most ve městě Hodonín.*

- [18] PĚNČÍK, J., MÍČA, L. Faktory ovlivňující vytvoření výpočtového modelu eko-
duktu se zaměřením na modelování pilotového založení. Modelování v mecha-
nice. Ostrava, 2009. s. 9.
- [19] ŘSD ČR *Celostátní sčítání dopravy 2016*. Dostupné z: <<http://scitani2016.rsd.cz/pages/map/default.aspx>>.
- [20] STEELCALC.com *Ocelářské tabulky 2010*. [online]. Dostupné z: <<http://www.steelcalc.com/cs/rozmaryprurezu>>.
- [21] Technický projekt *Rekonstrukce mostu iv. č. 12-110-011 přes dráhu Břeclav – Přerov u Hodonína*.
- [22] TEPLÝ, B. a S. ŠMIRÁK. Pružnost a plasticita II. 1. vyd. Brno: Vysoké učení
technické, 1993, 199 s. ISBN 80-325-0498-1.
- [23] Zapa.cz *Třídy pevností v tlaku běžně dodávaného betonu*. Dostupné z:
<[http://www.zapa.cz/napoveda-poptavkoveho-formulare/beton/
trida-betonu/](http://www.zapa.cz/napoveda-poptavkoveho-formulare/beton/trida-betonu/)>.

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Umístění mostu na silnici II/432 (převzato z [19])	14
1.2	Sčítání dopravy rok 2016, Silnice II/43 (převzato z [19])	14
1.3	Vpravo poloměry zakružovacích oblouků [m] Silnice II/43 (převzato z [19]), vlevo letecký snímek Černého mostu (převzato z [14])	15
1.4	Schéma příčného řezu, podélného řezu, půdorysu mostu (schéma v plném rozlišení je součástí Přílohy F)	17
1.5	Únosnost zeminy stanovená dle zkušebních vrtů	20
1.6	Dopravní omezení v důsledku mostní prohlídky z roku 2015 (fotografie pořízena v létě 2017)	22
1.7	Současný stav mostu (fotografie pořízeny v létě 2017)	23
2.1	vlevo: prut v LSS (lokálním souřadném systému), vpravo: prut v GSS (globálním souřadném systému)(převzato z [11])	27
2.2	Postup příkazu extrude (vysunutí pomocí <i>lines</i>)	27
2.3	Princip příkazu Glue – teorie [2]	28
2.4	Princip příkazu Glue – a) objemy nespojené příkazem <i>Glue</i> , b) objemy spojené příkazem <i>Glue</i> , b1 – b2) objemy spojené příkazem <i>Glue</i> – detail	29
3.1	Použití modelu zatížení 1 (LM 1) (převzato z [5])	32
3.2	Rozmístění TS na mostě	33
3.3	Rozmístění UDL na mostě	33
3.4	Řez vozovkou a její skladba v [mm]	34
4.1	Přivařené vzpěrné plechy, ponechání šroubových spojů (foceno léto 2017)	38
4.2	a) IPN 600, b) UPN 600, c) UPN 200, d) IPN 100	38
4.3	Rozměry: a) krajní základ mostu, b) vnitřní podpěra, c) železobetonové panely	39
4.4	Princip ozrcadlení poloviny modelu AUTOCAD	40
4.5	Připojení modelů pilot na model mostu	40
4.6	SOLID185	42
4.7	BEAM 188 (vlevo), BEAM 189 (vpravo)	43
4.8	COMBIN14	43
4.9	COMBIN39	44
4.10	MPC 184	44
4.11	Hotový prostorový model horní části kce., a) zobrazení roštu, b) žb. deska rozdělena pro TS, c) žb. deska rozdělena pro UDL (podrobnější zobrazení prostorového modelu uvedeno v Příloze F)	45
4.12	Názorná ukázka spolupůsobení prvků při spojení příkazem <i>Glue</i>	46

4.13	Napojení pilot na model (vlevo), detail připojení hlavy piloty na uzel (vpravo)	46
4.14	Tuhá ramena okolo bodu napojení hlavy piloty	47
4.15	Rozdělení modelu na síť konečných prvků	49
4.16	Ukázka rozdělení jednotlivých částí solid modelu na síť konečných prvků	49
4.17	Aplikace okrajových podmínek	50
4.18	Aplikace zatížení: vpravo TS, vlevo UDL	51
5.1	Geometrie U 600, I 600, hodnoty jsou uvedeny včetně délky mezi podporami	53
5.2	Železobetonové desky	54
5.3	Deformace UY (zatížení KOMB. 1 – TS), normálové napětí ve směru x	55
5.4	Deformace UY (zatížení KOMB. 2 – UDL), normálové napětí ve směru x	55
5.5	Normálové napětí ve směru x v jednotlivých průřezích KOMB. 1	56
5.6	Normálové napětí ve směru x v jednotlivých průřezích KOMB. 2	57
A.1	Schéma umístění pilot ve vrstvách zeminy	75
B.1	Schéma rozmístění pilot	77
B.2	Rozdělení piloty a Winklerovo pravidlo (převzato z [11])	79
B.3	Mezní zatěžovací křivka (červeně bilineární náhrada)(převzato ze [11])	79
B.4	Sedání piloty 6,5 m výstupy z GEO 5	81
B.5	Sedání piloty 10,5 m výstupy z GEO 5	82
B.6	Rozmístění vodorovných pružin podle vrstev	82
B.7	Použité prvky při modelování (zleva: BEAM 189, COMBIN 14, COMBIN 39)	83
B.8	Výsledná deformace piloty 6,5, statický model, elemental shape (vykreslení skutečného tvaru), deformace UY, deformace UX	84
B.9	Výsledná deformace piloty 10,5, statický model, section, deformace UY, deformace UX	85
B.10	Statické schéma pilot: a) počet uzlů, b) počet dílů, c) počet pružin	88
C.1	Deformace UY, normálové napětí ve směru x (zatížení KOMB. 1 – TS)	123
C.2	Deformace UY, normálové napětí ve směru x (zatížení KOMB. 2 – UDL)	124
C.3	součinitel redukce únosnosti β	127
C.4	Plastická osa I 600, U 600 a rozdělení ploch	128
D.1	Deformace UY, normálové napětí ve směru x (zatížení KOMB. 1 – TS)	129
D.2	Deformace UY, normálové napětí ve směru x (zatížení KOMB. 2 – UDL)	130
D.3	Schéma výztuže ŽB desek	134

E.1	Zatížení vozidlo 24 t	137
E.2	Deformace UY, normálové napětí ve směru x (zatížení osamělým vozidlem 24 t)	138
E.3	Normálové napětí ve směru x pro každý nosník	139

SEZNAM TABULEK

1.1	Vrt č. 1	18
1.2	Vrt č. 5	19
1.3	Vrt č. 9	19
3.1	Model zatížení 1 (LM1) – charakteristické hodnoty (převzato z [5]) .	32
3.2	Aplikovaná zatížení na statický model	36
4.1	Tabulka tříd betonu (převzato ze [23])	41
4.2	Rozdělení (přiřazení) jednotlivých elementů v modelu, objemy a piloty	48
4.3	Rozdělení (přiřazení) jednotlivých elementů v modelu pilot, pružiny .	48
A.1	Vlastnosti zemin	75
B.1	Tabulka tuhostí vodorovných pružin pilot 6,5	80
B.2	Tabulka tuhostí vodorovných pružin pilot 10,5	81
B.3	Jednotlivé globální matice tuhosti 6,5	89
B.4	Celková globální matice tuhosti 6,5	90
B.5	Celková globální matice tuhosti 6,5	91
B.6	Celková globální matice tuhosti 6,5	92
B.7	Celková globální matice tuhosti 6,5	93
B.8	Celková globální matice tuhosti 6,5	94
B.9	Celková globální matice tuhosti 6,5	95
B.10	Celková globální matice tuhosti 6,5	96
B.11	Celková inverzní matice tuhosti 6,5	97
B.12	Celková inverzní matice tuhosti 6,5	98
B.13	Celková inverzní matice tuhosti 6,5	99
B.14	Celková inverzní matice tuhosti 6,5	100
B.15	Celková inverzní matice tuhosti 6,5	101
B.16	Celková inverzní matice tuhosti 6,5	102
B.17	Celková inverzní matice tuhosti 6,5	103
B.18	Výsledné deformace ODM + porovnání ANSYS 6,5	104
B.19	Jednotlivé globální matice tuhosti 10,5	105
B.20	Celková globální matice tuhosti 10,5	106
B.21	Celková globální matice tuhosti 10,5	107
B.22	Celková globální matice tuhosti 10,5	108
B.23	Celková globální matice tuhosti 10,5	109
B.24	Celková globální matice tuhosti 10,5	110
B.25	Celková globální matice tuhosti 10,5	111
B.26	Celková globální matice tuhosti 10,5	112
B.27	Celková globální matice tuhosti 10,5	113
B.28	Celková inverzní matice tuhosti 10,5	114

B.29 Celková inverzní matice tuhosti 10,5	115
B.30 Celková inverzní matice tuhosti 10,5	116
B.31 Celková inverzní matice tuhosti 10,5	117
B.32 Celková inverzní matice tuhosti 10,5	118
B.33 Celková inverzní matice tuhosti 10,5	119
B.34 Celková inverzní matice tuhosti 10,5	120
B.35 Celková inverzní matice tuhosti 10,5	121
B.36 Výsledné deformace ODM + porovnání ANSYS 6,5	122
E.1 Aplikovaná zatížení na statický model, vozidlo 24 t	137

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

a	vzdálenost výztuh
A_i	plocha daného průřezu (profilu)
$b_{\text{eff},i}$	efektivní spolupůsobící šířka
c	krytí výztuže
d	účinná výška průřezu
d_i	průměr daného prvku
E_i	Youngův modul pružnosti pro daný prvek
F	zatěžovací vektor prutové soustavy
f_{cd}	návrhová hodnota pevnosti betonu v tlaku
f_{ck}	charakteristická hodnota válcové pevnosti betonu v tlaku po 28 dnech
f_{ctm}	střední hodnota osově pevnosti betonu v tahu
F_i	návrhová síla
f_{yd}	návrhová hodnota meze kluzu
f_{yk}	charakteristická hodnota meze kluzu
h_i	výška dané části profilu
I_i	moment setrvačnosti profilu k dané těžištní ose
K	celková matice tuhosti prutové soustavy
k_i	tuhost podloží (pružiny)
L	délka nosníku mezi podporami
M_i	ohybový moment k dané těžištní ose
$M_{\text{pl},i}$	plastický ohybový moment k dané těžištní ose
N_i	návrhová normálová síla
P_i	odpor daného prostředí
r	globální vektor parametrů deformace prutové soustavy
$\bar{R}$	primární vektor prutové soustavy
S	globální vektor uzlového zatížení
s_r	vzdálenost rozdělovací výztuže
t_i	tloušťka dané části profilu
u_i	vodorovná deformace daného prvku
V_i	posouvající síla
w_i	svislá deformace daného prvku
$W_{\text{el},i}$	elastický modul průřezu profilu k dané těžištní ose
$W_{\text{pl},i}$	plastický modul průřezu profilu k dané těžištní ose
x	vzdálenost těžištní osy
x_{pl}	vzdálenost mezi plastickou neutrální osou a nejvzdálenějším tlačným vláknem
z	délka prutu

β	součinitel redukce únosnosti
ε_{cu}	mezní poměrné stlačení betonu
ε_y	mezní poměrné přetvoření betonu
γ	objemová tíha zeminy
γ_{Mi}	dílčí součinitel bezpečnosti pro danou návrhovou situaci
ρ_i	objemová hmotnost pro daný prvek
ρ_{st}	stupeň vyztužení průřezu
ν_i	poissonův součinitel pro daný prvek
σ_i	napětí
ρ_{st}	stupeň vyztužení průřezu

SEZNAM PŘÍLOH

A	Základová půda	75
B	Piloty	77
B.1	Rozmístění pilot	77
B.2	Statický model piloty	78
B.2.1	Vodorovná únosnost piloty	78
B.2.2	Tuhost vodorovných pružin	78
B.2.3	Tuhost svislé pružiny	79
B.2.4	Tělo piloty	80
B.2.5	Vodorovné pružiny	80
B.2.6	Svislé pružiny	81
B.3	Modelování pilot v ANSYS	83
B.3.1	Modelování pilot v ANSYS pro porovnání výsledných deformací s ODM	84
B.4	Řešení pilot obecnou deformační metodou	85
B.4.1	Obecné použití	85
B.4.2	Statický model pilot	86
B.4.3	Globální matice tuhosti a primárních vektorů prutů	86
B.4.4	Celková matice tuhosti	87
B.4.5	Inverzní matice, vektor uzlového zatížení, výpočet deformací	87
B.4.6	Závěr	87
C	Statický výpočet	123
C.1	Posouzení plně spřažených ocelových nosníků	123
C.1.1	Zatížení	124
C.1.2	Ověření únosnosti	124
D	Statický výpočet, případ porušeného spřažení	129
D.1	Posouzení železobetonové desky	129
D.1.1	Zatížení	130
D.1.2	Ověření únosnosti	130
D.2	Posouzení nosníků na ohyb	135
D.3	Závěr	135
E	Posouzení jediného vozidla	137
E.1	Zatěžovací stav	137
E.2	Zatížení	138

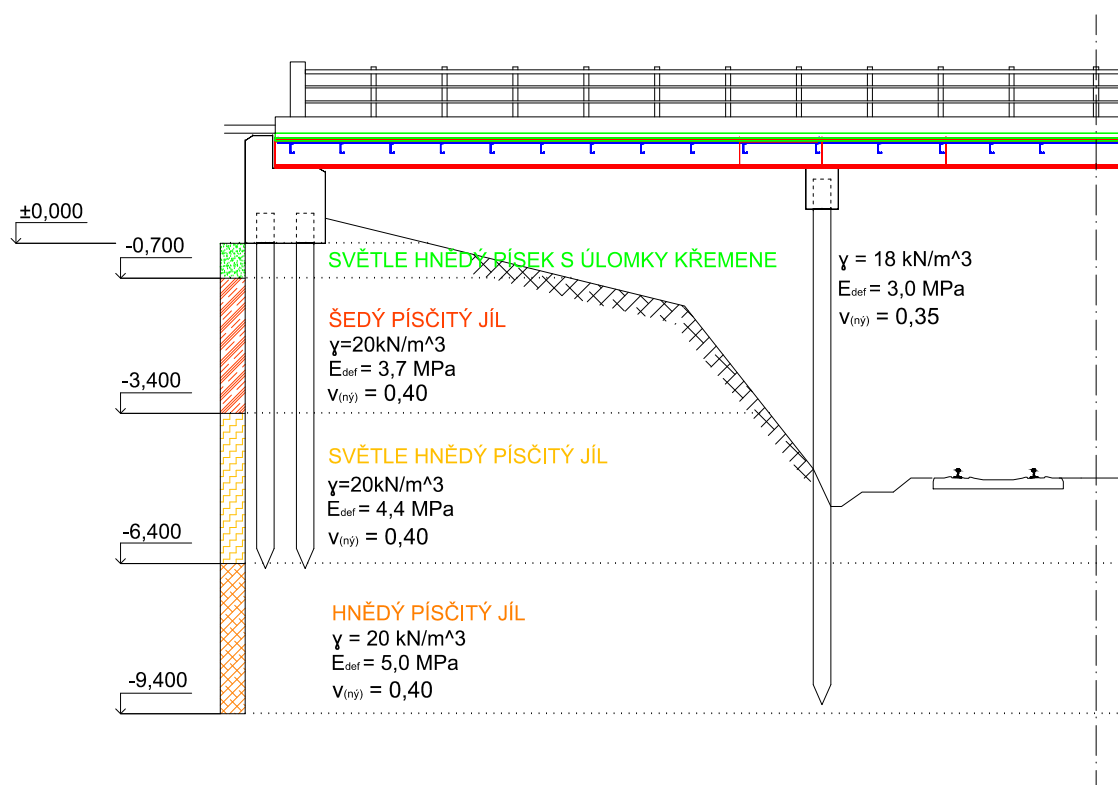
E.3	Posouzení	140
E.3.1	Posudek na ohyb	140
E.3.2	Posudek na smyk	140
E.4	Závěr	140
F	Schémata v plném rozlišení	141

A ZÁKLADOVÁ PŮDA

Na základě inženýrsko-geologického průzkumu [10] uvedeného v průvodní zprávě projektové dokumentace a následnou odbornou konzultací (v uvedených vrtech bylo pouze složení zemin bez jejich vlastností, tyto vlastnosti byly vyhodnoceny geologickým ústavem, ale bohužel už nebyly součástí průvodní zprávy) převedením složení zemin na dnešní poměry, byly zjištěny následující vlastnosti zemin nacházejících se v bezprostřední blízkosti objektu vycházejících z údajů vrtů 1, 5, 9:

Tab. A.1: Vlastnosti zemin

Hloubka [m]	Objemová tíha	Modul přet.	Poissonovo č.
0,000 – -0,700	$\gamma = 18 \text{ [kN/m}^3\text{]}$	$E_{\text{def}} = 3,0 \text{ [MPa]}$	$\nu = 0,35$
-0,700 – -3,400	$\gamma = 20 \text{ [kN/m}^3\text{]}$	$E_{\text{def}} = 3,7 \text{ [MPa]}$	$\nu = 0,40$
-3,400 – -6,400	$\gamma = 20 \text{ [kN/m}^3\text{]}$	$E_{\text{def}} = 4,4 \text{ [MPa]}$	$\nu = 0,40$
-6,400 – -9,400	$\gamma = 20 \text{ [kN/m}^3\text{]}$	$E_{\text{def}} = 5,0 \text{ [MPa]}$	$\nu = 0,40$



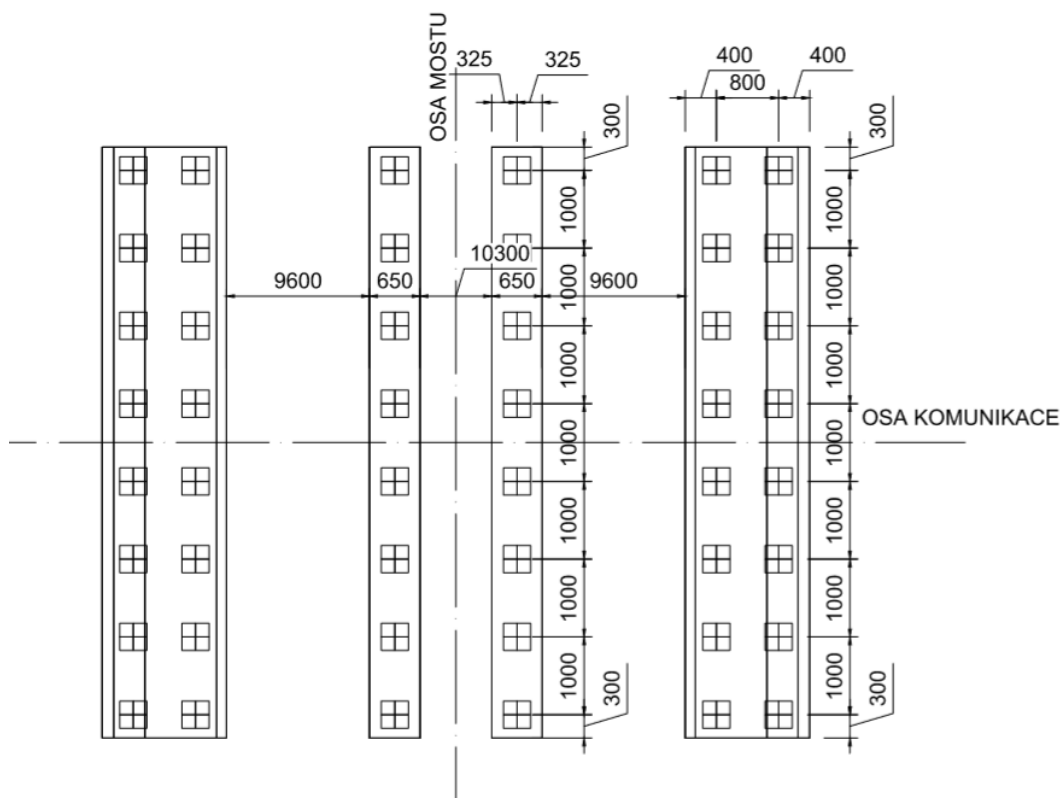
Obr. A.1: Schéma umístění pilot ve vrstvách zeminy

B PILOTY

B.1 Rozmístění pilot

Jak již bylo zmíněno v kapitole (Základová konstrukce mostu), celkové založení mostu bylo vzhledem k provedení zvoleno na pilotách. Pro krajní opěry byly zvoleny dvě řady pilot po osmi, délky 6,50 m (dále jen 6,5). Jsou od sebe odsazeny o vzdálenost po délce spodní plochy opěry 1 m a po šířce 0,8 m. Jsou zhotoveny z betonu B 12,5. Vyztuženy po délce profily R 24 mm a po šířce soustavou mříží zhotovených z profilů R 6 mm. Jejich materiálové charakteristiky jsou $\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$, $\nu = 0,2$ a $E_1 = 20,14 \text{ GPa}$.

Střední piloty jsou zvoleny v jedné řadě po šesti, délky 10,50 m (dále jen 10,5). Hlavy pilot jsou sepnuty s průvlakem, plně vyztuženým. Po délce spodní plochy průvlaku jsou od sebe odsazeny o vzdálenost 1 m. Jsou zhotoveny z betonu B 12,5, vyztuženy po délce profily R 24 mm a po šířce soustavou mříží zhotovených z profilů R 6 mm. Jejich materiálové charakteristiky jsou $\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$, $\nu = 0,2$ a $E_1 = 20,14 \text{ GPa}$. Obr. B.1.



Obr. B.1: Schéma rozmístění pilot

B.2 Statický model piloty

B.2.1 Vodorovná únosnost piloty

Při výpočtu vodorovné únosnosti piloty považujeme za nosník uložený na pružném podkladu a současně za předpokladu Winklerova kritéria o úměrnosti napětí a sedání bude platit:

$$\sigma_s = k_h \cdot u_s, \quad (\text{B.1})$$

kde k_h je modul vodorovné reakce podloží v hloubce z [kN/m³]

u_z je příslušná vodorovná deformace piloty [m].

Velikost modulu k_h závisí na typu zeminy a deformaci piloty. Průběh podél pilot může mít různý tvar. V kohezních zeminách bývá úměrný sečnovému modulu deformace E_{def} podle vzorce:

$$k_h = \frac{2 \cdot E_{def}}{3 \cdot d}, \quad (\text{B.2})$$

kde d je průměr piloty.

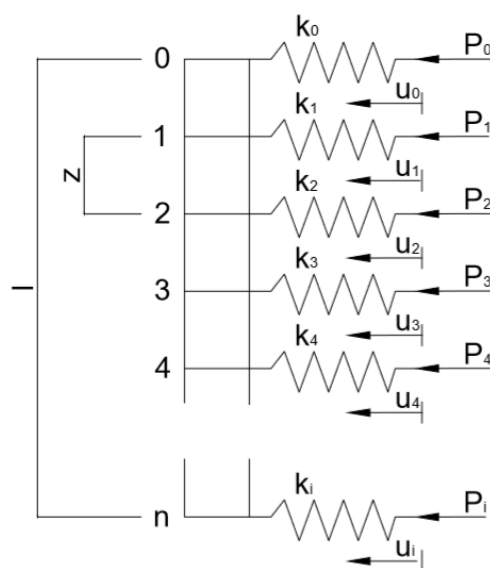
Pokud je $d > 1,0\text{ m}$ dosazuje se $d = 1,0\text{ m}$ za předpokladu, že maximální vodorovná deformace v hlavě piloty bude rovna $u_a = (0,03 \cdot d; 20\text{ mm})$ (volí se menší z hodnot).[13]

B.2.2 Tuhost vodorovných pružin

Pro tento výpočet je nutné rozdělit pilotu na n stejných dílů z délky $z = l/n$ (l je délka piloty), tímto způsobem dostaneme $n + 1$ dílů, v nichž hledáme posuny u_i . Těmto posunům vzdoruje okolní prostředí napětím, jehož velikost je přímo úměrná velikosti posunu (Winklerovo pravidlo). Odpor prostředí je pak znázorněn silami P_i , které se vypočítají ze vzorce [11]:

$$P_i = k_{hi} \cdot u_i \cdot d \cdot z = k_i \cdot u_i, \quad (\text{B.3})$$

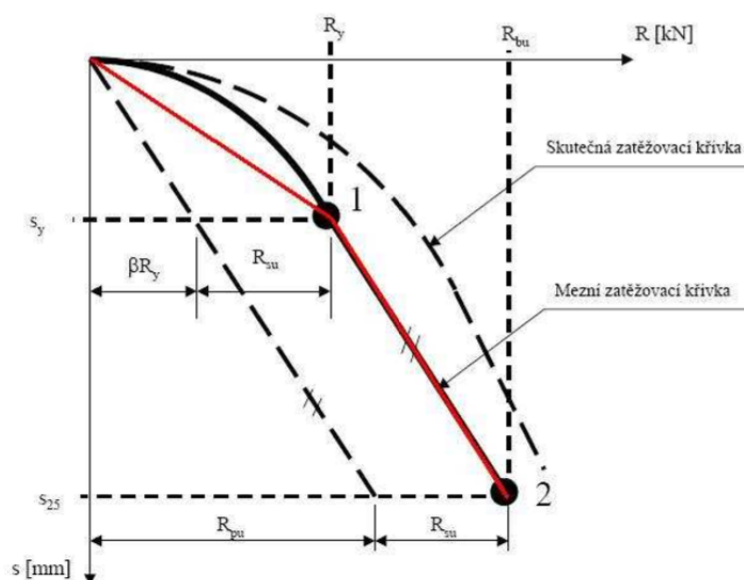
kde $k_{hi} \cdot d \cdot z$ je tuhost vodorovné pružiny k_i .



Obr. B.2: Rozdělení piloty a Winklerovo pravidlo (převzato z [11])

B.2.3 Tuhost svislé pružiny

Pro určení tuhosti svislé pružiny (neboli stlačitelnosti podloží) je nutno určit mezní zatěžovací křivku piloty. Tato křivka vyjadřuje hodnotu sedání pro aktuální zatížení. Pro její výpočet byl použit výpočetní systém GEO 5[9].



Obr. B.3: Mezní zatěžovací křivka (červeně bilineární náhrada)(převzato ze [11])

B.2.4 Tělo piloty

Tělo piloty bylo modelováno jako prut o určité tuhosti s danými materiálovými a rozměrovými charakteristikami viz výše (Rozmístění pilot).

B.2.5 Vodorovné pružiny

Pilota byla rozdělena podle vrstev zeminy kapitola (Základová půda) na daný počet dílů tak, aby vzdálenost mezi nimi byla vždy přibližně stejná a to i v rozdílných vrstvách. Poté dosazením do vzorců (B.2) a (B.3) byly vypočítány vodorovné tuhosti všech pružin tvořící okolní prostředí Tab. B.1, Tab. B.2, Obr. B.6 (tuhosti jsou uvedeny v [MN/m]).

Tab. B.1: Tabulka tuhostí vodorovných pružin pilot 6,5

	Mocnost vrstvy	Počet pružin	Číslo pružiny	Hloubka pod ZS	Výška vrstvy i	Horizontální ložnost	Tuhost pružiny
Pilota 6,5	0.7	2	1	0.175	0.35	5.714285714	0.7
			2	0.525	0.35	5.714285714	0.7
			3	0.86875	0.3375	7.047619048	0.8325
			4	1.20625	0.3375	7.047619048	0.8325
			5	1.54375	0.3375	7.047619048	0.8325
	2.7	8	6	1.88125	0.3375	7.047619048	0.8325
			7	2.21875	0.3375	7.047619048	0.8325
			8	2.55625	0.3375	7.047619048	0.8325
			9	2.89375	0.3375	7.047619048	0.8325
			10	3.23125	0.3375	7.047619048	0.8325
	3.1	9	11	3.57222222	0.34444444	8.380952381	1.01037037
			12	3.91666667	0.34444444	8.380952381	1.01037037
			13	4.26111111	0.34444444	8.380952381	1.01037037
			14	4.60555556	0.34444444	8.380952381	1.01037037
			15	4.95	0.34444444	8.380952381	1.01037037
			16	5.29444444	0.34444444	8.380952381	1.01037037
			17	5.63888889	0.34444444	8.380952381	1.01037037
			18	5.98333333	0.34444444	8.380952381	1.01037037
			19	6.32777778	0.34444444	8.380952381	1.01037037
6.5							

Tab. B.2: Tabulka tuhostí vodorovných pružin pilot 10,5

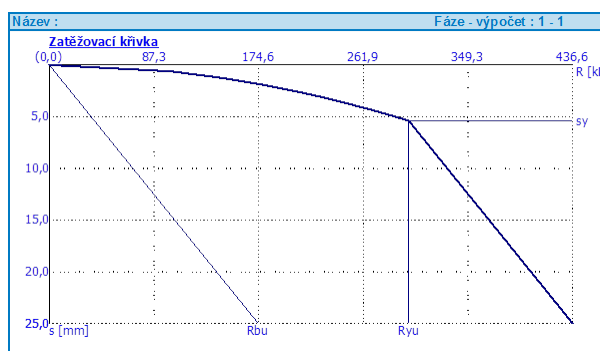
	Mocnost vrstvy	Počet pružin	Číslo pružiny	Hloubka pod ZS	Výška vrstvy i	Horizontální ložnost	Tuhost pružiny
Pilota 10.5	1.751	5	1	0.1751	0.3502	8.380952381	1.02725333
			2	0.5253	0.3502	8.380952381	1.02725333
			3	0.8755	0.3502	8.380952381	1.02725333
			4	1.2257	0.3502	8.380952381	1.02725333
			5	1.5759	0.3502	8.380952381	1.02725333
	3	9	6	1.91766667	0.33333333	9.523809524	1.11111111
			7	2.251	0.33333333	9.523809524	1.11111111
			8	2.58433333	0.33333333	9.523809524	1.11111111
			9	2.91766667	0.33333333	9.523809524	1.11111111
			10	3.251	0.33333333	9.523809524	1.11111111
			11	3.58433333	0.33333333	9.523809524	1.11111111
			12	3.91766667	0.33333333	9.523809524	1.11111111
			13	4.251	0.33333333	9.523809524	1.11111111
			14	4.58433333	0.33333333	9.523809524	1.11111111
			4.751				

B.2.6 Svislé pružiny

Řešení tuhosti svislých pružin je složitější z důvodu nelineární změny únosnosti piloty v důsledku sedání Obr. B.3. Proto podle [18] je nutno zvolit správný prvek takový, aby vystihoval danou problematiku nejlépe tím, že mu bude možno nastavit chování vyjádřené mezní zatěžovací křivkou. Tato křivka byla určena dosazením vlastností zeminy a pilot do programu GEO 5 [9] Obr. B.4 pro pilotu 6,5 a Obr. B.5 pro pilotu 10,5.

Body zatěžovací křivky

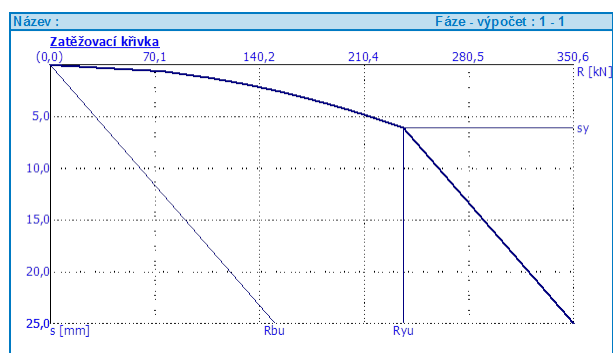
Sednutí [mm]	Zatížení [kN]
0,0	0,00
2,5	203,97
5,0	288,46
7,5	314,57
10,0	332,00
12,5	349,43
15,0	366,86
17,5	384,29
20,0	401,72
22,5	419,15
25,0	436,58



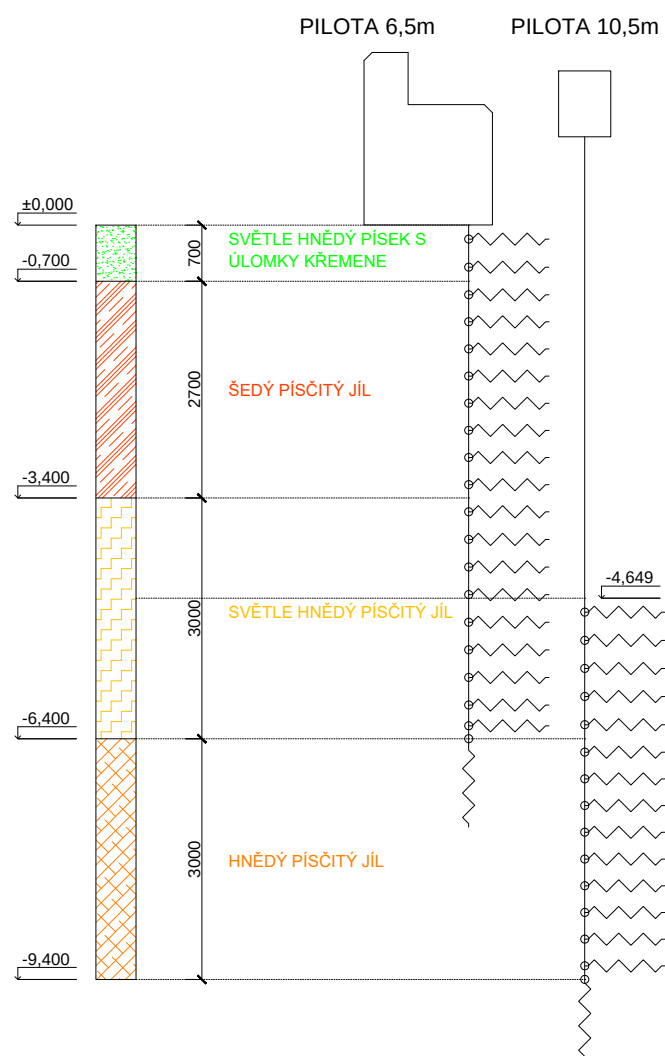
Obr. B.4: Sedání piloty 6,5 m výstupy z GEO 5

Body zatěžovací křivky

Sednutí [mm]	Zatížení [kN]
0,0	0,00
2,5	151,61
5,0	214,41
7,5	245,12
10,0	260,19
12,5	275,26
15,0	290,33
17,5	305,40
20,0	320,47
22,5	335,54
25,0	350,61



Obr. B.5: Sedání piloty 10,5 m výstupy z GEO 5



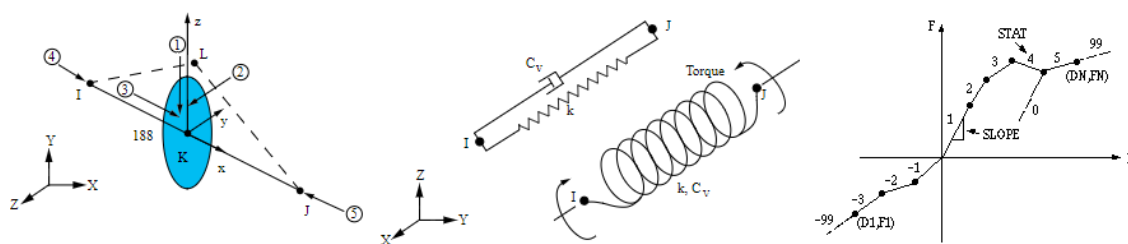
Obr. B.6: Rozmístění vodorovných pružin podle vrstev

B.3 Modelování pilot v ANSYS

Základní geometrie pilot byla převedena společně se zbytkem konstrukce ve formátu IGES viz kapitola (Modelování konstrukce). Piloty byly tvořeny soustavou svislých a vodorovných čar. Svislé čáry, s výjimkou poslední (nejnižší), představovaly tělo piloty jdoucí ve směru osy $-y$ s počátkem v bodě stanoveném na spodní straně základu nebo podpěry Obr. 4.5. Poslední svislá čára reprezentovala svislou pružinu délky 1 m. Vodorovné čáry ve směru osy x a z reprezentující vodorovné pružiny byly napojeny vždy ve styku svislých čar a jejich délka byla 1 m.

Jelikož se jedná o prostorovou úlohu, byl pro tělo piloty vybrán prvek BEAM189. Pro vodorovné pružiny byl použit COMBIN14 a pro svislou pružinu z nutnosti zadání průběhu mezní zatěžovací křivky COMBIN39. Vlastnosti použitých prvků viz kapitola (Použité prvky).

Zadání reálných a materiálových charakteristik bylo doplněno dle požadavků sys-



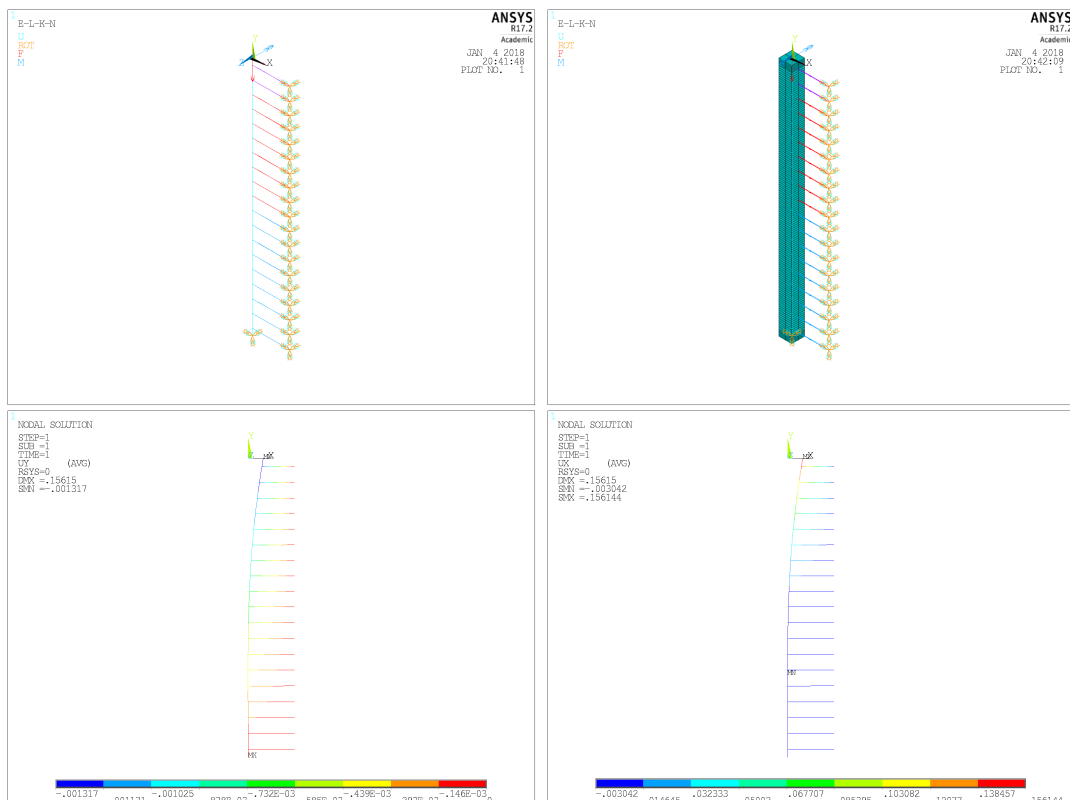
Obr. B.7: Použité prvky při modelování (zleva: BEAM189, COMBIN14, COMBIN39)

tému ANSYS. U BEAM189 bylo potřeba zadat reálné a materiálové charakteristiky. Reálnou charakteristiku tvořila plocha průřezu piloty, z níž byly dále vypočítány průřezové charakteristiky. Materiálové charakteristiky byly tvořeny zadáním Youngova modulu pružnosti, Poissonova součinitele a objemové tíhy viz výše (Rozmístění pilot). COMBIN14 vyžaduje zadat pouze reálnou charakteristiku, kterou je hodnota tuhosti vypočítaná pro jednotlivé pružiny v tabulce Tab. B.1 a Tab. B.2. COMBIN39 vyžaduje také zadání reálné charakteristiky formou tabulky (tabulka na Obr. B.4 a Obr. B.5) určené z grafu mezní zatěžovací křivky.

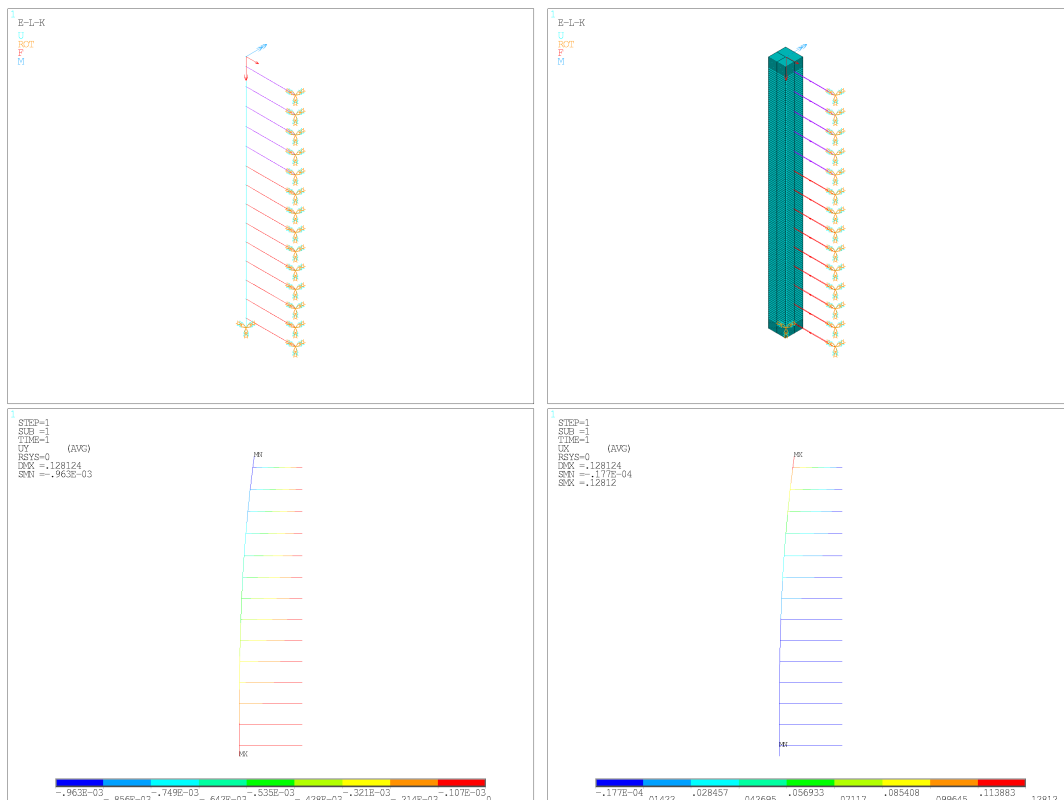
Po zadání všech náležitostí byl model pokryt sítí konečných prvků a na koncové uzly vodorovných pružin byly umístěny okrajové podmínky.

B.3.1 Modelování pilot v ANSYS pro porovnání výsledných deformací s ODM

Při modelování pilot pro porovnání se jedná pouze o 2D úlohu, a proto byl pro tělo piloty vybrán prvek BEAM188, který se pro tuto úlohu hodí lépe než prvek předchozí. Dále zde byl vynechán prvek COMBIN 39, jelikož stlačitelnost zeminy v našem případě je příliš vysoká pro použité zatížení a nemůžeme ji nijak zohlednit v ODM.



Obr. B.8: Výsledná deformace piloty 6,5, statický model, elemental shape (vykreslení skutečného tvaru), deformace UY, deformace UX



Obr. B.9: Výsledná deformace piloty 10,5, statický model, section, deformace UY, deformace UX

B.4 Řešení pilot obecnou deformační metodou

Předpoklady pro použití ODM viz kapitola (Použité metody řešení).

B.4.1 Obecné použití

Soustavu n_p rovnic můžeme zapsat v maticovém tvaru:

$$K \cdot r = F, \quad (\text{B.4})$$

kde K je celková matice tuhosti prutové soustavy

r je globální vektor parametrů deformace prutové soustavy

F je zatěžovací vektor prutové soustavy.

Matice K se získá dosazením matic tuhosti prutů k_{ab} (ab uzly prutů, určující polohu členů v matici tuhosti). Vektor r s rozměrem n_p obsahuje složky přemístění uzlů celé konstrukce. Vektor F s rozměrem n_p jde dále rozepsat jako:

$$F = S - \bar{R}, \quad (\text{B.5})$$

kde S je globální vektor uzlového zatížení
 $\bar{R}$ je primární vektor prutové soustavy.

Lokalizace je postup, kdy do celkové matice tuhosti K (primárního vektoru $\bar{R}$) prutové soustavy dosazujeme matice k_{ab} (vektory $\bar{R}_{ab}$) na místa, která jsou dána uzly a parametrem deformace.

Sestaví se tak celková matice tuhosti, do které se dosadí zatížení a ze vztahu (B.4) se inverzní maticí tuhosti dopočítá hledaná deformace.[11]

B.4.2 Statický model pilot

Na základě údajů z kapitoly (Zakladová půda) byly sestaveny prutové modely pilot o délkách 10,5 m a 6,5 m tímto postupem (délky pilot nejsou určující pro počet dílů, ten určuje délka části piloty v zemi, pilota 6,5 je celým tělem v zemi, pilota 10,5 je v zemi pouze z části):

První uzly byly vytvořeny v místech styku základu (pilota 6,5) nebo těla piloty (pilota 10,5) s horním povrchem zeminy. Tělo piloty bylo dále rozděleno podle vrstev zeminy na 20 dílů (pilota 6,5) a 15 dílů (pilota 10,5) o určité vzdálenosti uvedené v Tab. B.1 a Tab. B.2. Počínaje uzlem 2, měl každý další uzel k sobě připojený vodorovný prut představující pružinu (vodorovná únosnost zeminy). Na poslední uzel byl připojen svislý prut představující pružinu (svislá únosnost zeminy). Koncové uzly všech prutů byly podepřeny z toho plyne, že ve vektoru parametrů deformace budou mít tyto uzly nulovou hodnotu. Počáteční uzel byl zatížen dvěma silami a ohybovým momentem vyplývající z výsledků výpočtu zatížení v ANSYS.

B.4.3 Globální matice tuhosti a primárních vektorů prutů

Podle tabulky [12] byly v MS Excel vytvořeny globální matice tuhosti prutů konstantního průřezu s materiálovými charakteristikami viz kapitola (Rozmístění pilot). Následně byly vytvořeny globální matice tuhosti pružin dle tabulky uvedené v [12]. Tyto matice vstupující do celkové matice tuhosti a jsou vyčísleny v tabulkách B.3 a B.19. Námi posuzovaná pilota je zatěžována pouze uzlovými zatíženími, proto je

vektor primárních sil nulový.

B.4.4 Celková matice tuhosti

Dosazením do rovnice (2.2) byly sestaveny celkové matice tuhosti o 63×63 a 48×48 . Matice byly dále dosazovány závisle na pořadí podle parametrů deformace na určená místa. V místech protínání matic se hodnoty sečetly. Celkové globální matice tuhosti jsou vyčísleny v tabulkách B.4 až B.10 a B.20 až B.27.

B.4.5 Inverzní matice, vektor uzlového zatížení, výpočet deformací

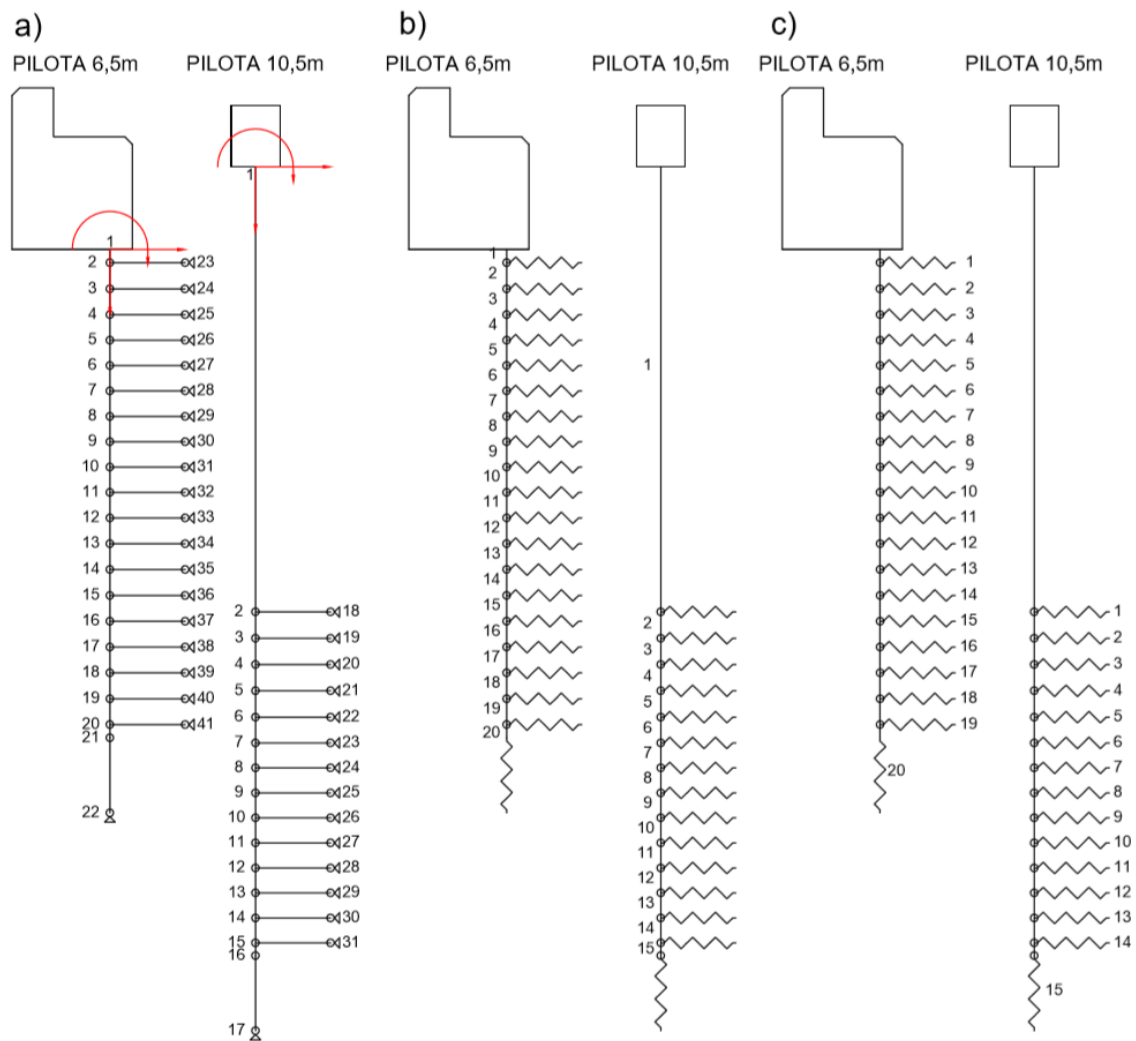
Matice tuhosti bylo dále nutno převést na matice inverzní. Tento krok probíhal vyloučením členů s nulovými parametry deformace tabulky B.11 až B.17 a B.28 až B.35.

Vektor uzlového zatížení je sestaven tak, že první tři členy tvoří síly působící v prvním uzlu. Jejich hodnoty jsou zvoleny nezávisle na aplikovaném zatížení celkové konstrukce. Zbytek členů zůstává nulový, protože na ostatní uzly nepůsobí zatížení tabulky B.18 a B.36.

Součinem inverzní matice tuhosti s vektorem uzlového zatížení byly zjištěny jednotlivé členy globálního vektoru deformace tabulky B.18 a B.36, které byly porovnány s výsledky výpočtu pilot v programu ANSYS, uvedenými ve stejné tabulce.

B.4.6 Závěr

Rozdíly hodnot posunutí a pootočení mezi výpočty v programu ANSYS a pomocí obecné deformační metody jsou patrné v tabulkách B.18 a B.36. Je zde vidět, že hodnoty se liší nepatrně, z toho vyplývá, že ověření proběhlo úspěšně a výsledné hodnoty deformací vypočítané na celkovém modelu konstrukce mostu jsou správné.



Obr. B.10: Statické schéma pilot: a) počet uzlů, b) počet dílů, c) počet pružin

Tab. B.3: Jednotlivé globální matice tuhosti 6,5

PILOTA 6,5								
PRUT	1	[]	u	w	fi	u	w	fi
L (délka)	0,175	m	56392000000	0	4934300000	-56392000000	0	4934300000
E	20140000000	Pa	0	14098000000	0	0	-14098000000	0
A	0,1225	m^2	4934300000	0	575668333,3	-4934300000	0	287834166,7
I	0,001250521	m^4	-56392000000	0	-4934300000	56392000000	0	-4934300000
g	90		0	-14098000000	0	0	14098000000	0
c	0		4934300000	0	287834166,7	-4934300000	0	575668333,3
s	1							
PRUT	2	[]	u	w	fi	u	w	fi
L (délka)	0,35	m	70490000000	0	1233575000	-70490000000	0	1233575000
E	201400000000	Pa	0	70490000000	0	0	-70490000000	0
A	0,1225	m^2	1233575000	0	287834166,7	-1233575000	0	143917083,3
I	0,001250521	m^4	-70490000000	0	-1233575000	70490000000	0	-1233575000
g	90		0	-70490000000	0	0	70490000000	0
c	0		1233575000	0	143917083,3	-1233575000	0	287834166,7
s	1							
PRUT	3-10	[]	u	w	fi	u	w	fi
L (délka)	0,3375	m	7861588579	0	1326643073	-7861588579	0	1326643073
E	201400000000	Pa	0	7310074074	0	0	-7310074074	0
A	0,1225	m^2	1326643073	0	298494691,4	-1326643073	0	149247345,7
I	0,001250521	m^4	-7861588579	0	-1326643073	7861588579	0	-1326643073
g	90		0	-7310074074	0	0	7310074074	0
c	0		1326643073	0	149247345,7	-1326643073	0	298494691,4
s	1							
PRUT	11-19	[]	u	w	fi	u	w	fi
L (délka)	0,344444	m	7395640151	0	1273691938	-7395640151	0	1273691938
E	201400000000	Pa	0	7162702791	0	0	-7162702791	0
A	0,1225	m^2	1273691938	0	292477030,6	-1273691938	0	146238515,3
I	0,001250521	m^4	-7395640151	0	-1273691938	7395640151	0	-1273691938
g	90		0	-7162702791	0	0	7162702791	0
c	0		1273691938	0	146238515,3	-1273691938	0	292477030,6
s	1							
PRUT	20	[]	u	w	fi	u	w	fi
L (délka)	0,172222	m	59165121208	0	5094767752	-59165121208	0	5094767752
E	201400000000	Pa	0	14325405581	0	0	-14325405581	0
A	0,1225	m^2	5094767752	0	584954061,2	-5094767752	0	292477030,6
I	0,001250521	m^4	-59165121208	0	-5094767752	59165121208	0	-5094767752
g	90		0	-14325405581	0	0	14325405581	0
c	0		5094767752	0	292477030,6	-5094767752	0	584954061,2
s	1							
PRUŽINA	1-2	[]	u	u				
k	700000	N/m	700000	-700000				
			-700000	700000				
PRUŽINA	3-10	[]	u	u				
k	832500	N/m	832500	-832500				
			-832500	832500				
PRUŽINA	11-19	[]	u	u				
k	1010370	N/m	1010370	-1010370				
			-1010370,37	1010370,37				

Tab. B.4: Celková globální matice tuhosti 6,5

	u1	w1	fi1	u2	w2	fi2	u3	w3	fi3
u1	56392000000	0	4934300000	-56392000000	0	4934300000	0	0	0
w1	0	14098000000	0	0	-14098000000	0	0	0	0
fi1	4934300000	0	575668333,3	-4934300000	0	287834166,7	0	0	0
u2	-56392000000	0	-4934300000	63441700000	0	-3700725000	-7049000000	0	1233575000
w2	0	-14098000000	0	0	21147000000	0	0	-7049000000	0
fi2	4934300000	0	287834166,7	-3700725000	0	863502500	-1233575000	0	143917083,3
u3	0	0	0	-7049000000	0	-1233575000	14911288579	0	93068072,7
w3	0	0	0	0	-7049000000	0	0	14359074074	0
fi3	0	0	0	1233575000	0	143917083,3	93068072,7	0	586328858
u4	0	0	0	0	0	0	-7861588579	0	-1326643073
w4	0	0	0	0	0	0	0	-7310074074	0
fi4	0	0	0	0	0	0	1326643073	0	149247345,7
u5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
w5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
fi5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
u6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
w6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
fi6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
u7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
w7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
fi7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
u8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
w8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
fi8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
u9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
w9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
fi9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
u10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
w10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
fi10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
u11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
w11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
fi11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
u12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
w12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
fi12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
u13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
w13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
fi13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
u14	0	0	0	0	0	0	0	0	0
w14	0	0	0	0	0	0	0	0	0
fi14	0	0	0	0	0	0	0	0	0
u15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
w15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
fi15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
u16	0	0	0	0	0	0	0	0	0
w16	0	0	0	0	0	0	0	0	0
fi16	0	0	0	0	0	0	0	0	0
u17	0	0	0	0	0	0	0	0	0
w17	0	0	0	0	0	0	0	0	0
fi17	0	0	0	0	0	0	0	0	0
u18	0	0	0	0	0	0	0	0	0
w18	0	0	0	0	0	0	0	0	0
fi18	0	0	0	0	0	0	0	0	0
u19	0	0	0	0	0	0	0	0	0
w19	0	0	0	0	0	0	0	0	0
fi19	0	0	0	0	0	0	0	0	0
u20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
w20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
fi20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
u21	0	0	0	0	0	0	0	0	0
w21	0	0	0	0	0	0	0	0	0
fi21	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	u1	w1	fi1	u2	w2	fi2	u3	w3	fi3

Tab. B.5: Celková globální matice tuhosti 6,5

[illegible]

Tab. B.6: Celková globální matice tuhosti 6,5

[illegible]

Tab. B.7: Celková globální matice tuhosti 6,5

[illegible]

Tab. B.8: Celková globální matice tuhosti 6,5

[illegible]

Tab. B.9: Celková globální matice tuhosti 6,5

[illegible]

Tab. B.10: Celková globální matice tuhosti 6,5

u19	w19	fi19	u20	w20	fi20	u21	w21	fi21	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	u1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	w1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	fi1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	u2
0	0	0	0	0	0	0	0	0	w2
0	0	0	0	0	0	0	0	0	fi2
0	0	0	0	0	0	0	0	0	u3
0	0	0	0	0	0	0	0	0	w3
0	0	0	0	0	0	0	0	0	fi3
0	0	0	0	0	0	0	0	0	u4
0	0	0	0	0	0	0	0	0	w4
0	0	0	0	0	0	0	0	0	fi4
0	0	0	0	0	0	0	0	0	u5
0	0	0	0	0	0	0	0	0	w5
0	0	0	0	0	0	0	0	0	fi5
0	0	0	0	0	0	0	0	0	u6
0	0	0	0	0	0	0	0	0	w6
0	0	0	0	0	0	0	0	0	fi6
0	0	0	0	0	0	0	0	0	u7
0	0	0	0	0	0	0	0	0	w7
0	0	0	0	0	0	0	0	0	fi7
0	0	0	0	0	0	0	0	0	u8
0	0	0	0	0	0	0	0	0	w8
0	0	0	0	0	0	0	0	0	fi8
0	0	0	0	0	0	0	0	0	u9
0	0	0	0	0	0	0	0	0	w9
0	0	0	0	0	0	0	0	0	fi9
0	0	0	0	0	0	0	0	0	u10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	w10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	fi10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	u11
0	0	0	0	0	0	0	0	0	w11
0	0	0	0	0	0	0	0	0	fi11
0	0	0	0	0	0	0	0	0	u12
0	0	0	0	0	0	0	0	0	w12
0	0	0	0	0	0	0	0	0	fi12
0	0	0	0	0	0	0	0	0	u13
0	0	0	0	0	0	0	0	0	w13
0	0	0	0	0	0	0	0	0	fi13
0	0	0	0	0	0	0	0	0	u14
0	0	0	0	0	0	0	0	0	w14
0	0	0	0	0	0	0	0	0	fi14
0	0	0	0	0	0	0	0	0	u15
0	0	0	0	0	0	0	0	0	w15
0	0	0	0	0	0	0	0	0	fi15
0	0	0	0	0	0	0	0	0	u16
0	0	0	0	0	0	0	0	0	w16
0	0	0	0	0	0	0	0	0	fi16
0	0	0	0	0	0	0	0	0	u17
0	0	0	0	0	0	0	0	0	w17
0	0	0	0	0	0	0	0	0	fi17
-7395640151	0	1273691938	0	0	0	0	0	0	u18
0	-7162702791	0	0	0	0	0	0	0	w18
-1273691938	0	146238515,3	0	0	0	0	0	0	fi18
14792290672	0	0	-7395640151	0	1273691938	0	0	0	u19
0	14325405581	0	0	-7162702791	0	0	0	0	w19
0	0	584954061,2	-1273691938	0	146238515,3	0	0	0	fi19
-7395640151	0	-1273691938	66561771730	0	3821075814	-59165121208	0	5094767752	u20
0	-7162702791	0	0	21488108372	0	0	-14325405581	0	w20
1273691938	0	146238515,3	3821075814	0	877431091,8	-5094767752	0	292477030,6	fi20
0	0	0	-59165121208	0	-5094767752	59165121208	0	-5094767752	u21
0	0	0	0	-14325405581	0	0	14325405581	0	w21
0	0	0	5094767752	0	292477030,6	-5094767752	0	584954061	fi21
u19	w19	fi19	u20	w20	fi20	u21	w21	fi21	

Tab. B.11: Celková inverzní matice tuhosti 6,5

	u1	w1	fi1	u2	w2	fi2	u3	w3	fi3
u1	3,41826E-07	0	-1,32473E-07	3,18679E-07	0	-1,31865E-07	2,73172E-07	0	-1,27543E-07
w1	0	2,7033E-09	0	0	2,63237E-09	0	0	2,4905E-09	0
fi1	-1,32473E-07	0	1,00167E-07	-1,15551E-07	0	9,32185E-08	-8,5334E-08	0	7,95183E-08
u2	3,18679E-07	0	-1,15551E-07	0	0	0	2,58239E-07	0	-1,13628E-07
w2	0	2,63237E-09	0	0	0	0	0	2,4905E-09	0
fi2	-1,31865E-07	0	9,32185E-08	0	0	0	-8,5334E-08	0	7,95183E-08
u3	2,73172E-07	0	-8,5334E-08	2,58239E-07	0	-8,5334E-08	0	0	-8,57736E-08
w3	0	2,4905E-09	0	0	2,4905E-09	0	0	2,4905E-09	0
fi3	-1,27543E-07	0	7,95183E-08	-1,13628E-07	0	7,95183E-08	-8,57736E-08	0	7,97118E-08
u4	2,31286E-07	0	-6,06581E-08	2,20671E-07	0	-6,06581E-08	1,99397E-07	0	-6,10338E-08
w4	0	2,3537E-09	0	0	2,3537E-09	0	0	2,3537E-09	0
fi4	-1,2023E-07	0	6,68151E-08	-1,08537E-07	0	6,68151E-08	-8,51303E-08	0	6,69999E-08
u5	1,92266E-07	0	-4,01494E-08	1,8524E-07	0	-4,01494E-08	1,71151E-07	0	-4,04648E-08
w5	0	2,21691E-09	0	0	2,21691E-09	0	0	2,21691E-09	0
fi5	-1,10703E-07	0	5,48621E-08	-1,01102E-07	0	5,48621E-08	-8,18801E-08	0	5,50342E-08
u6	1,56721E-07	0	-2,35205E-08	1,52605E-07	0	-2,35205E-08	1,44342E-07	0	-2,37803E-08
w6	0	2,08011E-09	0	0	2,08011E-09	0	0	2,08011E-09	0
fi6	-9,97595E-08	0	4,3849E-08	-9,20859E-08	0	4,3849E-08	-7,67205E-08	0	4,40058E-08
u7	1,25014E-07	0	-1,04321E-08	1,23188E-07	0	-1,04321E-08	1,19513E-07	0	-1,06418E-08
w7	0	1,94331E-09	0	0	1,94331E-09	0	0	1,94331E-09	0
fi7	-8,80571E-08	0	3,38957E-08	-8,21253E-08	0	3,38957E-08	-7,02455E-08	0	3,40355E-08
u8	9,73082E-08	0	-5,14454E-10	9,72181E-08	0	-5,14454E-10	9,70188E-08	0	-6,79955E-10
w8	0	1,80651E-09	0	0	1,80651E-09	0	0	1,80651E-09	0
fi8	-7,61258E-08	0	2,50662E-08	-7,17392E-08	0	2,50662E-08	-6,29518E-08	0	2,51883E-08
u9	7,36076E-08	0	6,61629E-09	7,47654E-08	0	6,61629E-09	7,70663E-08	0	6,48901E-09
w9	0	1,66972E-09	0	0	1,66972E-09	0	0	1,66972E-09	0
fi9	-6,43843E-08	0	1,7381E-08	-6,13427E-08	0	1,7381E-08	-5,52471E-08	0	1,74854E-08
u10	5,37912E-08	0	1,13452E-08	5,57766E-08	0	1,13452E-08	5,97363E-08	0	1,12502E-08
w10	0	1,53292E-09	0	0	1,53292E-09	0	0	1,53292E-09	0
fi10	-5,31543E-08	0	1,08286E-08	-5,12593E-08	0	1,08286E-08	-4,74591E-08	0	1,09159E-08
u11	3,76439E-08	0	1,40493E-08	4,01025E-08	0	1,40493E-08	4,50118E-08	0	1,3981E-08
w11	0	1,39612E-09	0	0	1,39612E-09	0	0	1,39612E-09	0
fi11	-4,26756E-08	0	5,37532E-09	-4,1735E-08	0	5,37532E-09	-3,98453E-08	0	5,44637E-09
u12	2,46519E-08	0	1,50982E-08	2,72941E-08	0	1,50982E-08	3,25731E-08	0	1,50518E-08
w12	0	1,25651E-09	0	0	1,25651E-09	0	0	1,25651E-09	0
fi12	-3,29343E-08	0	8,93436E-10	-3,27779E-08	0	8,93436E-10	-3,24587E-08	0	9,49236E-10
u13	1,48302E-08	0	1,47832E-08	1,74173E-08	0	1,47832E-08	2,25879E-08	0	1,47535E-08
w13	0	1,1169E-09	0	0	1,1169E-09	0	0	1,1169E-09	0
fi13	-2,42873E-08	0	-2,557E-09	-2,47347E-08	0	-2,557E-09	-2,56248E-08	0	-2,51489E-09
u14	7,78429E-09	0	1,3447E-08	1,01375E-08	0	1,3447E-08	1,4842E-08	0	1,34298E-08
w14	0	9,77285E-10	0	0	9,77285E-10	0	0	9,77285E-10	0
fi14	-1,68285E-08	0	-5,04708E-09	-1,77118E-08	0	-5,04708E-09	-1,94747E-08	0	-5,01693E-09
u15	3,09463E-09	0	1,14088E-08	5,09118E-09	0	1,14088E-08	9,08326E-09	0	1,14002E-08
w15	0	8,37673E-10	0	0	8,37673E-10	0	0	8,37673E-10	0
fi15	-1,06119E-08	0	-6,644E-09	-1,17746E-08	0	-6,644E-09	-1,40977E-08	0	-6,62396E-09
u16	3,28297E-10	0	8,9658E-09	1,89731E-09	0	8,9658E-09	5,03497E-09	0	8,96257E-09
w16	0	6,98061E-10	0	0	6,98061E-10	0	0	6,98061E-10	0
fi16	-5,66328E-09	0	-7,40692E-09	-6,95949E-09	0	-7,40692E-09	-9,55053E-09	0	-7,39507E-09
u17	-9,53252E-10	0	6,39649E-09	1,66134E-10	0	6,39649E-09	2,40487E-09	0	6,39621E-09
w17	0	5,58448E-10	0	0	5,58448E-10	0	0	5,58448E-10	0
fi17	-1,99081E-09	0	-7,3843E-09	-3,28306E-09	0	-7,3843E-09	-5,86691E-09	0	-7,37871E-09
u18	-1,1895E-09	0	3,96484E-09	-4,9565E-10	0	3,96484E-09	8,92142E-10	0	3,96568E-09
w18	0	4,18836E-10	0	0	4,18836E-10	0	0	4,18836E-10	0
fi18	4,07E-10	0	-6,61272E-09	-7,50226E-10	0	-6,61272E-09	-3,06453E-09	0	-6,61144E-09
u19	-8,18639E-10	0	1,92423E-09	-4,81899E-10	0	1,92423E-09	1,91678E-10	0	1,92505E-09
w19	0	2,79224E-10	0	0	2,79224E-10	0	0	2,79224E-10	0
fi19	1,53525E-09	0	-5,11683E-09	6,39801E-10	0	-5,11683E-09	-1,15122E-09	0	-5,11792E-09
u20	-2,77099E-10	0	5,21464E-10	-1,85843E-10	0	5,21464E-10	-3,29348E-12	0	5,2178E-10
w20	0	1,39612E-10	0	0	1,39612E-10	0	0	1,39612E-10	0
fi20	1,39871E-09	0	-2,91065E-09	8,89347E-10	0	-2,91065E-09	-1,29559E-10	0	-2,91217E-09
u21	-7,83273E-11	0	1,35412E-10	-5,46301E-11	0	1,35412E-10	-7,22496E-12	0	1,35505E-10
w21	0	6,98061E-11	0	0	6,98061E-11	0	0	6,98061E-11	0
fi21	8,57045E-10	0	-1,54323E-09	5,8698E-10	0	-1,54323E-09	4,67323E-11	0	-1,54423E-09
	u1	w1	fi1	u2	w2	fi2	u3	w3	fi3

Tab. B.12: Celková inverzní matice tuhosti 6,5

u4	w4	fi4	u5	w5	fi5	u6	w6	fi6
2,31286E-07	0	-1,2023E-07	1,92266E-07	0	-1,10703E-07	1,56721E-07	0	-9,97595E-08
0	2,3537E-09	0	0	2,21691E-09	0	0	2,08011E-09	0
-6,06581E-08	0	6,68151E-08	-4,01494E-08	0	5,48621E-08	-2,35205E-08	0	4,3849E-08
2,20671E-07	0	-1,08537E-07	1,8524E-07	0	-1,01102E-07	1,52605E-07	0	-9,20859E-08
0	2,3537E-09	0	0	2,21691E-09	0	0	2,08011E-09	0
-6,06581E-08	0	6,68151E-08	-4,01494E-08	0	5,48621E-08	-2,35205E-08	0	4,3849E-08
1,99397E-07	0	-8,51303E-08	1,71151E-07	0	-8,18801E-08	1,44342E-07	0	-7,67205E-08
0	2,3537E-09	0	0	2,21691E-09	0	0	2,08011E-09	0
-6,10338E-08	0	6,69999E-08	-4,04648E-08	0	5,50342E-08	-2,37803E-08	0	4,40058E-08
0	0	-6,24232E-08	1,57328E-07	0	-6,32174E-08	1,36179E-07	0	-6,17875E-08
0	2,3537E-09	0	0	2,21691E-09	0	0	2,08011E-09	0
-6,24232E-08	0	6,76628E-08	-4,16371E-08	0	5,56558E-08	-2,47513E-08	0	4,45753E-08
1,57328E-07	0	-4,16371E-08	1,42886E-07	0	-4,42339E-08	1,27501E-07	0	-4,6559E-08
0	2,21691E-09	0	0	2,21691E-09	0	0	2,08011E-09	0
-6,32174E-08	0	5,56558E-08	-4,42339E-08	0	5,69757E-08	-2,69189E-08	0	4,57956E-08
1,36179E-07	0	-2,47513E-08	1,27501E-07	0	-2,69189E-08	1,17818E-07	0	-3,07793E-08
0	2,08011E-09	0	0	2,08011E-09	0	0	2,08011E-09	0
-6,17875E-08	0	4,45753E-08	-4,6559E-08	0	4,57956E-08	-3,07793E-08	0	4,78706E-08
1,15809E-07	0	-1,14305E-08	1,11686E-07	0	-1,32055E-08	1,06737E-07	0	-1,63951E-08
0	1,94331E-09	0	0	1,94331E-09	0	0	1,94331E-09	0
-5,86859E-08	0	3,45463E-08	-4,686E-08	0	3,565E-08	-3,4533E-08	0	3,75453E-08
9,67008E-08	0	-1,3066E-09	9,60472E-08	0	-2,73023E-09	9,47275E-08	0	-5,31369E-09
0	1,80651E-09	0	0	1,80651E-09	0	0	1,80651E-09	0
-5,43871E-08	0	2,5637E-08	-4,55873E-08	0	2,66146E-08	-3,63415E-08	0	2,83091E-08
7,91879E-08	0	6,00321E-09	8,10476E-08	0	4,88764E-09	8,23822E-08	0	2,84066E-09
0	1,66972E-09	0	0	1,66972E-09	0	0	1,66972E-09	0
-4,92911E-08	0	1,78714E-08	-4,3132E-08	0	1,87192E-08	-3,6584E-08	0	2,0203E-08
6,34818E-08	0	1,08842E-08	6,70286E-08	0	1,0033E-08	7,01719E-08	0	8,45096E-09
0	1,53292E-09	0	0	1,53292E-09	0	0	1,53292E-09	0
-4,3729E-08	0	1,12405E-08	-3,98274E-08	0	1,19599E-08	-3,5594E-08	0	1,32314E-08
4,9693E-08	0	1,37146E-08	5,42283E-08	0	1,30852E-08	5,84626E-08	0	1,18971E-08
0	1,39612E-09	0	0	1,39612E-09	0	0	1,39612E-09	0
-3,79695E-08	0	5,71253E-09	-3,59523E-08	0	6,30844E-09	-3,36586E-08	0	7,37327E-09
3,76273E-08	0	1,48674E-08	4,25793E-08	0	1,44227E-08	4,73163E-08	0	1,35665E-08
0	1,25651E-09	0	0	1,25651E-09	0	0	1,25651E-09	0
-3,21086E-08	0	1,16012E-09	-3,16456E-08	0	1,63798E-09	-3,09594E-08	0	2,50283E-09
2,75504E-08	0	1,4633E-08	3,24451E-08	0	1,4334E-08	3,71931E-08	0	1,37435E-08
0	1,1169E-09	0	0	1,1169E-09	0	0	1,1169E-09	0
-2,64509E-08	0	-2,35396E-09	-2,71901E-08	0	-1,98381E-09	-2,7755E-08	0	-1,30345E-09
1,93644E-08	0	1,33569E-08	2,38449E-08	0	1,31686E-08	2,82311E-08	0	1,27833E-08
0	9,77285E-10	0	0	9,77285E-10	0	0	9,77285E-10	0
-2,11515E-08	0	-4,89992E-09	-2,27644E-08	0	-4,62535E-09	-2,42466E-08	0	-4,11057E-09
1,29255E-08	0	1,1361E-08	1,67442E-08	0	1,12527E-08	2,0507E-08	0	1,10192E-08
0	8,37673E-10	0	0	8,37673E-10	0	0	8,37673E-10	0
-1,63221E-08	0	-6,54435E-09	-1,85024E-08	0	-6,3521E-09	-2,05897E-08	0	-5,98166E-09
8,05755E-09	0	8,94537E-09	1,10689E-08	0	8,89105E-09	1,40508E-08	0	8,76361E-09
0	6,98061E-10	0	0	6,98061E-10	0	0	6,98061E-10	0
-1,20396E-08	0	-7,34608E-09	-1,45007E-08	0	-7,22217E-09	-1,69005E-08	0	-6,97335E-09
4,56305E-09	0	6,3916E-09	6,71732E-09	0	6,37025E-09	8,85869E-09	0	6,31094E-09
0	5,58448E-10	0	0	5,58448E-10	0	0	5,58448E-10	0
-8,35378E-09	0	-7,35345E-09	-1,08255E-08	0	-7,28349E-09	-1,3261E-08	0	-7,13273E-09
2,23076E-09	0	3,96668E-09	3,56904E-09	0	3,96223E-09	4,90342E-09	0	3,9414E-09
0	4,18836E-10	0	0	4,18836E-10	0	0	4,18836E-10	0
-5,2948E-09	0	-6,60294E-09	-7,51904E-09	0	-6,5724E-09	-9,72597E-09	0	-6,49568E-09
8,41701E-10	0	1,92709E-09	1,49239E-09	0	1,92847E-09	2,14285E-09	0	1,92478E-09
0	2,79224E-10	0	0	2,79224E-10	0	0	2,79224E-10	0
-2,87878E-09	0	-5,11921E-09	-4,6059E-09	0	-5,11347E-09	-6,32799E-09	0	-5,08659E-09
1,72944E-10	0	5,2269E-10	3,49553E-10	0	5,23873E-10	5,26478E-10	0	5,24345E-10
0	1,39612E-10	0	0	1,39612E-10	0	0	1,39612E-10	0
-1,11304E-09	0	-2,91629E-09	-2,09809E-09	0	-2,92072E-09	-3,08389E-09	0	-2,91942E-09
3,85494E-11	0	1,35783E-10	8,44422E-11	0	1,36183E-10	1,30461E-10	0	1,36475E-10
0	6,98061E-11	0	0	6,98061E-11	0	0	6,98061E-11	0
-4,74883E-10	0	-1,54716E-09	-9,97726E-10	0	-1,5512E-09	-1,52176E-09	0	-1,55359E-09
u4	w4	fi4	u5	w5	fi5	u6	w6	fi6

Tab. B.13: Celková inverzní matice tuhosti 6,5

u7	w7	fi7	u8	w8	fi8	u9	w9	fi9
1,25014E-07	0	-8,80571E-08	9,73082E-08	0	-7,61258E-08	7,36076E-08	0	-6,43843E-08
0	1,94331E-09	0	0	1,80651E-09	0	0	1,66972E-09	0
-1,04321E-08	0	3,38957E-08	-5,14454E-10	0	2,50662E-08	6,61629E-09	0	1,7381E-08
1,23188E-07	0	-8,21253E-08	9,72181E-08	0	-7,17392E-08	7,47654E-08	0	-6,13427E-08
0	1,94331E-09	0	0	1,80651E-09	0	0	1,66972E-09	0
-1,04321E-08	0	3,38957E-08	-5,14454E-10	0	2,50662E-08	6,61629E-09	0	1,7381E-08
1,19513E-07	0	-7,02455E-08	9,70188E-08	0	-6,29518E-08	7,70663E-08	0	-5,52471E-08
0	1,94331E-09	0	0	1,80651E-09	0	0	1,66972E-09	0
-1,06418E-08	0	3,40355E-08	-6,79955E-10	0	2,51883E-08	6,48901E-09	0	1,74854E-08
1,15809E-07	0	-5,86859E-08	9,67008E-08	0	-5,43871E-08	7,91879E-08	0	-4,92911E-08
0	1,94331E-09	0	0	1,80651E-09	0	0	1,66972E-09	0
-1,14305E-08	0	3,45463E-08	-1,3066E-09	0	2,5637E-08	6,00321E-09	0	1,78714E-08
1,11686E-07	0	-4,686E-08	9,60472E-08	0	-4,55873E-08	8,10476E-08	0	-4,3132E-08
0	1,94331E-09	0	0	1,80651E-09	0	0	1,66972E-09	0
-1,32055E-08	0	3,565E-08	-2,73023E-09	0	2,66146E-08	4,88764E-09	0	1,87192E-08
1,06737E-07	0	-3,4533E-08	9,47275E-08	0	-3,63415E-08	8,23822E-08	0	-3,6584E-08
0	1,94331E-09	0	0	1,80651E-09	0	0	1,66972E-09	0
-1,63951E-08	0	3,75453E-08	-5,31369E-09	0	2,83091E-08	2,84066E-09	0	2,0203E-08
1,00414E-07	0	-2,14107E-08	9,22895E-08	0	-2,63807E-08	8,28256E-08	0	-2,94066E-08
0	1,94331E-09	0	0	1,80651E-09	0	0	1,66972E-09	0
-2,14107E-08	0	4,03854E-08	-9,41614E-09	0	3,08749E-08	-4,45395E-10	0	2,24727E-08
9,22895E-08	0	-9,41614E-09	8,81611E-08	0	-1,53897E-08	8,19072E-08	0	-2,13126E-08
0	1,80651E-09	0	0	1,80651E-09	0	0	1,66972E-09	0
-2,63807E-08	0	3,08749E-08	-1,53897E-08	0	3,44301E-08	-5,28155E-09	0	2,56526E-08
8,28256E-08	0	-4,45395E-10	8,19072E-08	0	-5,28155E-09	7,90513E-08	0	-1,19779E-08
0	1,66972E-09	0	0	1,66972E-09	0	0	1,66972E-09	0
-2,94066E-08	0	2,24727E-08	-2,13126E-08	0	2,56526E-08	-1,19779E-08	0	2,98382E-08
7,26217E-08	0	5,87968E-09	7,39991E-08	0	2,05038E-09	7,38331E-08	0	-3,31295E-09
0	1,53292E-09	0	0	1,53292E-09	0	0	1,53292E-09	0
-3,08181E-08	0	1,51971E-08	-2,52438E-08	0	1,7982E-08	-1,85762E-08	0	2,16916E-08
6,21721E-08	0	9,93828E-09	6,50587E-08	0	6,98151E-09	6,67455E-08	0	2,78733E-09
0	1,39612E-09	0	0	1,39612E-09	0	0	1,39612E-09	0
-3,09078E-08	0	9,03807E-09	-2,74767E-08	0	1,14244E-08	-2,31028E-08	0	1,46421E-08
5,16714E-08	0	1,21298E-08	5,54176E-08	0	9,92618E-09	5,82626E-08	0	6,75398E-09
0	1,25651E-09	0	0	1,25651E-09	0	0	1,25651E-09	0
-2,98994E-08	0	3,87255E-09	-2,82757E-08	0	5,8617E-09	-2,58607E-08	0	8,57979E-09
4,16744E-08	0	1,27304E-08	4,57219E-08	0	1,11463E-08	4,91155E-08	0	8,82669E-09
0	1,1169E-09	0	0	1,1169E-09	0	0	1,1169E-09	0
-2,80234E-08	0	-2,09437E-10	-2,78381E-08	0	1,40323E-09	-2,70061E-08	0	3,63972E-09
3,24405E-08	0	1,21032E-08	3,63547E-08	0	1,10139E-08	3,98142E-08	0	9,38593E-09
0	9,77285E-10	0	0	9,77285E-10	0	0	9,77285E-10	0
-2,55021E-08	0	-3,26706E-09	-2,64043E-08	0	-2,00118E-09	-2,67944E-08	0	-2,15192E-10
2,41602E-08	0	1,05906E-08	2,76242E-08	0	9,88273E-09	3,07886E-08	0	8,79807E-09
0	8,37673E-10	0	0	8,37673E-10	0	0	8,37673E-10	0
-2,25117E-08	0	-5,35942E-09	-2,41699E-08	0	-4,40426E-09	-2,54372E-08	0	-3,02828E-09
1,69708E-08	0	8,51576E-09	1,97788E-08	0	8,08909E-09	2,2403E-08	0	7,41443E-09
0	6,98061E-10	0	0	6,98061E-10	0	0	6,98061E-10	0
-1,9187E-08	0	-6,54052E-09	-2,1287E-08	0	-5,85574E-09	-2,31027E-08	0	-4,84282E-09
1,09696E-08	0	6,18434E-09	1,30214E-08	0	5,95312E-09	1,49711E-08	0	5,57213E-09
0	5,58448E-10	0	0	5,58448E-10	0	0	5,58448E-10	0
-1,56259E-08	0	-6,85583E-09	-1,78684E-08	0	-6,3984E-09	-1,99174E-08	0	-5,69739E-09
6,22584E-09	0	3,88825E-09	7,522E-09	0	3,78182E-09	8,76967E-09	0	3,59624E-09
0	4,18836E-10	0	0	4,18836E-10	0	0	4,18836E-10	0
-1,18948E-08	0	-6,34033E-09	-1,39923E-08	0	-6,06565E-09	-1,59702E-08	0	-5,6229E-09
2,79028E-09	0	1,9092E-09	3,42917E-09	0	1,87242E-09	4,05046E-09	0	1,80274E-09
0	2,79224E-10	0	0	2,79224E-10	0	0	2,79224E-10	0
-8,03465E-09	0	-5,018E-09	-9,70741E-09	0	-4,88066E-09	-1,13176E-08	0	-4,64117E-09
7,0322E-10	0	5,22458E-10	8,78611E-10	0	5,15896E-10	1,05059E-09	0	5,01681E-10
0	1,39612E-10	0	0	1,39612E-10	0	0	1,39612E-10	0
-4,06696E-09	0	-2,90263E-09	-5,0399E-09	0	-2,85688E-09	-5,99016E-09	0	-2,76504E-09
1,76505E-10	0	1,36255E-10	2,2231E-10	0	1,34943E-10	2,67385E-10	0	1,3179E-10
0	6,98061E-11	0	0	6,98061E-11	0	0	6,98061E-11	0
-2,04568E-09	0	-1,54956E-09	-2,56624E-09	0	-1,53243E-09	-3,07761E-09	0	-1,49348E-09
u7	w7	fi7	u8	w8	fi8	u9	w9	fi9

Tab. B.14: Celková inverzní matice tuhosti 6,5

u10	w10	f10	u11	w11	f11	u12	w12	f12
5,37912E-08	0	-5,31543E-08	3,76439E-08	0	-4,26756E-08	2,46519E-08	0	-3,29343E-08
0	1,53292E-09	0	0	1,39612E-09	0	0	1,25651E-09	0
1,13452E-08	0	1,08286E-08	1,40493E-08	0	5,37532E-09	1,50982E-08	0	8,93436E-10
5,57766E-08	0	-5,12593E-08	4,01025E-08	0	-4,1735E-08	2,72941E-08	0	-3,27779E-08
0	1,53292E-09	0	0	1,39612E-09	0	0	1,25651E-09	0
1,13452E-08	0	1,08286E-08	1,40493E-08	0	5,37532E-09	1,50982E-08	0	8,93436E-10
5,97363E-08	0	-4,74591E-08	4,50118E-08	0	-3,98453E-08	3,25731E-08	0	-3,24587E-08
0	1,53292E-09	0	0	1,39612E-09	0	0	1,25651E-09	0
1,12502E-08	0	1,09159E-08	1,3981E-08	0	5,44637E-09	1,50518E-08	0	9,49236E-10
6,34818E-08	0	-4,3729E-08	4,9693E-08	0	-3,79695E-08	3,76273E-08	0	-3,21086E-08
0	1,53292E-09	0	0	1,39612E-09	0	0	1,25651E-09	0
1,08842E-08	0	1,12405E-08	1,37146E-08	0	5,71253E-09	1,48674E-08	0	1,16012E-09
6,70286E-08	0	-3,98274E-08	5,42283E-08	0	-3,59523E-08	4,25793E-08	0	-3,16456E-08
0	1,53292E-09	0	0	1,39612E-09	0	0	1,25651E-09	0
1,0033E-08	0	1,19599E-08	1,30852E-08	0	6,30844E-09	1,44227E-08	0	1,63798E-09
7,01719E-08	0	-3,5594E-08	5,84626E-08	0	-3,36586E-08	4,73163E-08	0	-3,09594E-08
0	1,53292E-09	0	0	1,39612E-09	0	0	1,25651E-09	0
8,45096E-09	0	1,32314E-08	1,18971E-08	0	7,37327E-09	1,35665E-08	0	2,50283E-09
7,26217E-08	0	-3,08181E-08	6,21721E-08	0	-3,09078E-08	5,16714E-08	0	-2,98994E-08
0	1,53292E-09	0	0	1,39612E-09	0	0	1,25651E-09	0
5,87968E-09	0	1,51971E-08	9,93828E-09	0	9,03807E-09	1,21298E-08	0	3,87255E-09
7,39991E-08	0	-2,52438E-08	6,50587E-08	0	-2,74767E-08	5,54176E-08	0	-2,82757E-08
0	1,53292E-09	0	0	1,39612E-09	0	0	1,25651E-09	0
2,05038E-09	0	1,7982E-08	6,98151E-09	0	1,14244E-08	9,92618E-09	0	5,8617E-09
7,38331E-08	0	-1,85762E-08	6,67455E-08	0	-2,31028E-08	5,82626E-08	0	-2,58607E-08
0	1,53292E-09	0	0	1,39612E-09	0	0	1,25651E-09	0
-3,31295E-09	0	2,16916E-08	2,78733E-09	0	1,46421E-08	6,75398E-09	0	8,57979E-09
7,1559E-08	0	-1,04886E-08	6,6773E-08	0	-1,7489E-08	5,98435E-08	0	-2,23909E-08
0	1,53292E-09	0	0	1,39612E-09	0	0	1,25651E-09	0
-1,04886E-08	0	2,64084E-08	-2,89242E-09	0	1,87865E-08	2,3992E-09	0	1,21288E-08
6,6773E-08	0	-2,89242E-09	0	0	-1,03091E-08	5,9724E-08	0	-1,75701E-08
0	1,39612E-09	0	0	1,39612E-09	0	0	1,25651E-09	0
-1,7489E-08	0	1,87865E-08	-1,03091E-08	0	2,39339E-08	-3,36047E-09	0	1,65994E-08
5,98435E-08	0	2,3992E-09	5,9724E-08	0	-3,36047E-09	0	0	-1,09205E-08
0	1,25651E-09	0	0	1,25651E-09	0	0	1,25651E-09	0
-2,23909E-08	0	1,21288E-08	-1,75701E-08	0	1,65994E-08	-1,09205E-08	0	2,21903E-08
5,15771E-08	0	5,59294E-09	5,27665E-08	0	1,25551E-09	5,22474E-08	0	-4,51269E-09
0	1,1169E-09	0	0	1,1169E-09	0	0	1,1169E-09	0
-2,52995E-08	0	6,60327E-09	-2,2456E-08	0	1,03924E-08	-1,80764E-08	0	1,52037E-08
4,26135E-08	0	7,07594E-09	4,44963E-08	0	3,92873E-09	4,51509E-08	0	-3,16431E-10
0	9,77285E-10	0	0	9,77285E-10	0	0	9,77285E-10	0
-2,64798E-08	0	2,19104E-09	-2,52344E-08	0	5,31781E-09	-2,27336E-08	0	9,35272E-09
3,35081E-08	0	7,22667E-09	3,55983E-08	0	5,0475E-09	3,68467E-08	0	2,06198E-09
0	8,37673E-10	0	0	8,37673E-10	0	0	8,37673E-10	0
-2,61561E-08	0	-1,1381E-09	-2,61367E-08	0	1,36341E-09	-2,5124E-08	0	4,64873E-09
2,47467E-08	0	6,41236E-09	2,66846E-08	0	4,99412E-09	2,80811E-08	0	3,01724E-09
0	6,98061E-10	0	0	6,98061E-10	0	0	6,98061E-10	0
-2,45096E-08	0	-3,41818E-09	-2,53536E-08	0	-1,4922E-09	-2,54425E-08	0	1,08762E-09
1,67598E-08	0	4,98865E-09	1,8309E-08	0	4,14295E-09	1,95398E-08	0	2,94106E-09
0	5,58448E-10	0	0	5,58448E-10	0	0	5,58448E-10	0
-2,16788E-08	0	-4,68166E-09	-2,30333E-08	0	-3,27291E-09	-2,38438E-08	0	-1,34269E-09
9,9371E-09	0	3,30083E-09	1,09814E-08	0	2,86037E-09	1,18626E-08	0	2,22049E-09
0	4,18836E-10	0	0	4,18836E-10	0	0	4,18836E-10	0
-1,77625E-08	0	-4,95567E-09	-1,92829E-08	0	-4,00046E-09	-2,04411E-08	0	-2,65638E-09
4,64074E-09	0	1,68609E-09	5,18144E-09	0	1,50609E-09	5,65676E-09	0	1,23791E-09
0	2,79224E-10	0	0	2,79224E-10	0	0	2,79224E-10	0
-1,28243E-08	0	-4,25994E-09	-1,4172E-08	0	-3,69153E-09	-1,53092E-08	0	-2,86575E-09
1,21598E-09	0	4,76182E-10	1,37026E-09	0	4,35132E-10	1,50998E-09	0	3,72156E-10
0	1,39612E-10	0	0	1,39612E-10	0	0	1,39612E-10	0
-6,89878E-09	0	-2,60633E-09	-7,73919E-09	0	-2,3565E-09	-8,48984E-09	0	-1,97901E-09
3,10958E-10	0	1,25874E-10	3,51917E-10	0	1,16106E-10	3,89457E-10	0	1,00871E-10
0	6,98061E-11	0	0	6,98061E-11	0	0	6,98061E-11	0
-3,57069E-09	0	-1,42212E-09	-4,03248E-09	0	-1,30581E-09	-4,45328E-09	0	-1,12593E-09
u10	w10	f10	u11	w11	f11	u12	w12	f12

Tab. B.15: Celková inverzní matice tuhosti 6,5

u13	w13	fi13	u14	w14	fi14	u15	w15	fi15
1,48302E-08	0	-2,42873E-08	7,78429E-09	0	-1,68285E-08	3,09463E-09	0	-1,06119E-08
0	1,1169E-09	0	0	9,77285E-10	0	0	8,37673E-10	0
1,47832E-08	0	-2,557E-09	1,3447E-08	0	-5,04708E-09	1,14088E-08	0	-6,644E-09
1,74173E-08	0	-2,47347E-08	1,01375E-08	0	-1,77118E-08	5,09118E-09	0	-1,17746E-08
0	1,1169E-09	0	0	9,77285E-10	0	0	8,37673E-10	0
1,47832E-08	0	-2,557E-09	1,3447E-08	0	-5,04708E-09	1,14088E-08	0	-6,644E-09
2,25879E-08	0	-2,56248E-08	1,4842E-08	0	-1,94747E-08	9,08326E-09	0	-1,40977E-08
0	1,1169E-09	0	0	9,77285E-10	0	0	8,37673E-10	0
1,47535E-08	0	-2,51489E-09	1,34298E-08	0	-5,01693E-09	1,14002E-08	0	-6,62396E-09
2,75504E-08	0	-2,64509E-08	1,93644E-08	0	-2,11515E-08	1,29255E-08	0	-1,63221E-08
0	1,1169E-09	0	0	9,77285E-10	0	0	8,37673E-10	0
1,4633E-08	0	-2,35396E-09	1,33569E-08	0	-4,89992E-09	1,1361E-08	0	-6,54435E-09
3,24451E-08	0	-2,71901E-08	2,38449E-08	0	-2,27644E-08	1,67442E-08	0	-1,85024E-08
0	1,1169E-09	0	0	9,77285E-10	0	0	8,37673E-10	0
1,4334E-08	0	-1,98381E-09	1,31686E-08	0	-4,62535E-09	1,12527E-08	0	-6,3521E-09
3,71931E-08	0	-2,7755E-08	2,82311E-08	0	-2,42466E-08	2,0507E-08	0	-2,05897E-08
0	1,1169E-09	0	0	9,77285E-10	0	0	8,37673E-10	0
1,37435E-08	0	-1,30345E-09	1,27833E-08	0	-4,11057E-09	1,10192E-08	0	-5,98166E-09
4,16744E-08	0	-2,80234E-08	3,24405E-08	0	-2,55021E-08	2,41602E-08	0	-2,25117E-08
0	1,1169E-09	0	0	9,77285E-10	0	0	8,37673E-10	0
1,27304E-08	0	-2,09437E-10	1,21032E-08	0	-3,26706E-09	1,05906E-08	0	-5,35942E-09
4,57219E-08	0	-2,78381E-08	3,63547E-08	0	-2,64043E-08	2,76242E-08	0	-2,41699E-08
0	1,1169E-09	0	0	9,77285E-10	0	0	8,37673E-10	0
1,11463E-08	0	1,40323E-09	1,10139E-08	0	-2,00118E-09	9,88273E-09	0	-4,40426E-09
4,91155E-08	0	-2,70061E-08	3,98142E-08	0	-2,67944E-08	3,07886E-08	0	-2,54372E-08
0	1,1169E-09	0	0	9,77285E-10	0	0	8,37673E-10	0
8,82669E-09	0	3,63972E-09	9,38593E-09	0	-2,15192E-10	8,79807E-09	0	-3,02828E-09
5,15771E-08	0	-2,52995E-08	4,26135E-08	0	-2,64798E-08	3,35081E-08	0	-2,61561E-08
0	1,1169E-09	0	0	9,77285E-10	0	0	8,37673E-10	0
5,59294E-09	0	6,60327E-09	7,07594E-09	0	2,19104E-09	7,22667E-09	0	-1,1381E-09
5,27665E-08	0	-2,2456E-08	4,44963E-08	0	-2,52344E-08	3,55983E-08	0	-2,61367E-08
0	1,1169E-09	0	0	9,77285E-10	0	0	8,37673E-10	0
1,25551E-09	0	1,03924E-08	3,92873E-09	0	5,31781E-09	5,0475E-09	0	1,36341E-09
5,22474E-08	0	-1,80764E-08	4,51509E-08	0	-2,27336E-08	3,68467E-08	0	-2,5124E-08
0	1,1169E-09	0	0	9,77285E-10	0	0	8,37673E-10	0
-4,51269E-09	0	1,52037E-08	-3,16431E-10	0	9,35272E-09	2,06198E-09	0	4,64873E-09
4,94762E-08	0	-1,18628E-08	4,41362E-08	0	-1,86817E-08	3,69124E-08	0	-2,28366E-08
0	1,1169E-09	0	0	9,77285E-10	0	0	8,37673E-10	0
-1,18628E-08	0	2,10557E-08	-5,79912E-09	0	1,43431E-08	-1,84958E-09	0	8,78438E-09
4,41362E-08	0	-5,79912E-09	4,09894E-08	0	-1,27318E-08	3,54461E-08	0	-1,89618E-08
0	9,77285E-10	0	0	9,77285E-10	0	0	8,37673E-10	0
-1,86817E-08	0	1,43431E-08	-1,27318E-08	0	2,03875E-08	-6,8627E-09	0	1,38845E-08
3,69124E-08	0	-1,84958E-09	3,54461E-08	0	-6,8627E-09	3,20385E-08	0	-1,31496E-08
0	8,37673E-10	0	0	8,37673E-10	0	0	8,37673E-10	0
-2,28366E-08	0	8,78438E-09	-1,89618E-08	0	1,38845E-08	-1,31496E-08	0	2,00485E-08
2,86881E-08	0	3,86894E-10	2,82571E-08	0	-3,03202E-09	2,64933E-08	0	-7,37503E-09
0	6,98061E-10	0	0	6,98061E-10	0	0	6,98061E-10	0
-2,45205E-08	0	4,39767E-09	-2,23155E-08	0	8,55684E-09	-1,85155E-08	0	1,36766E-08
2,02863E-08	0	1,31489E-09	2,03861E-08	0	-8,30339E-10	1,96436E-08	0	-3,59142E-09
0	5,58448E-10	0	0	5,58448E-10	0	0	5,58448E-10	0
-2,38895E-08	0	1,18648E-09	-2,29446E-08	0	4,42818E-09	-2,07444E-08	0	8,49388E-09
1,24833E-08	0	1,33874E-09	1,27504E-08	0	1,57212E-10	1,25503E-08	0	-1,38416E-09
0	4,18836E-10	0	0	4,18836E-10	0	0	4,18836E-10	0
-2,10601E-08	0	-8,53256E-10	-2,09649E-08	0	1,50768E-09	-1,9946E-08	0	4,52645E-09
6,02172E-09	0	8,6087E-10	6,23411E-09	0	3,47185E-10	6,24186E-09	0	-3,32315E-10
0	2,79224E-10	0	0	2,79224E-10	0	0	2,79224E-10	0
-1,61103E-08	0	-1,72784E-09	-1,64551E-08	0	-2,03046E-10	-1,61969E-08	0	1,78614E-09
1,62347E-09	0	2,8163E-10	1,69997E-09	0	1,56098E-10	1,72608E-09	0	-1,23501E-11
0	1,39612E-10	0	0	1,39612E-10	0	0	1,39612E-10	0
-9,08425E-09	0	-1,44252E-09	-9,46052E-09	0	-7,05207E-10	-9,54193E-09	0	2,77054E-10
4,2061E-10	0	7,87065E-11	4,4266E-10	0	4,76857E-11	4,52207E-10	0	5,75366E-12
0	6,98061E-11	0	0	6,98061E-11	0	0	6,98061E-11	0
-4,79891E-09	0	-8,65824E-10	-5,038E-09	0	-5,03478E-10	-5,13132E-09	0	-1,54809E-11
u13	w13	fi13	u14	w14	fi14	u15	w15	fi15

Tab. B.16: Celková inverzní matice tuhosti 6,5

u16	w16	f16	u17	w17	f17	u18	w18	f18
3,28297E-10	0	-5,66328E-09	-9,53252E-10	0	-1,99081E-09	-1,1895E-09	0	4,07E-10
0	6,98061E-10	0	0	5,58448E-10	0	0	4,18836E-10	0
8,9658E-09	0	-7,40692E-09	6,39649E-09	0	-7,3843E-09	3,96484E-09	0	-6,61272E-09
1,89731E-09	0	-6,95949E-09	1,66134E-10	0	-3,28306E-09	-4,9565E-10	0	-7,50226E-10
0	6,98061E-10	0	0	5,58448E-10	0	0	4,18836E-10	0
8,9658E-09	0	-7,40692E-09	6,39649E-09	0	-7,3843E-09	3,96484E-09	0	-6,61272E-09
5,03497E-09	0	-9,55053E-09	2,40487E-09	0	-5,86691E-09	8,92142E-10	0	-3,06453E-09
0	6,98061E-10	0	0	5,58448E-10	0	0	4,18836E-10	0
8,96257E-09	0	-7,39507E-09	6,39621E-09	0	-7,37871E-09	3,96568E-09	0	-6,61144E-09
8,05755E-09	0	-1,20396E-08	4,56305E-09	0	-8,35378E-09	2,23076E-09	0	-5,2948E-09
0	6,98061E-10	0	0	5,58448E-10	0	0	4,18836E-10	0
8,94537E-09	0	-7,34608E-09	6,3916E-09	0	-7,35345E-09	3,96668E-09	0	-6,60294E-09
1,10689E-08	0	-1,45007E-08	6,71732E-09	0	-1,08255E-08	3,56904E-09	0	-7,51904E-09
0	6,98061E-10	0	0	5,58448E-10	0	0	4,18836E-10	0
8,89105E-09	0	-7,22217E-09	6,37025E-09	0	-7,28349E-09	3,96223E-09	0	-6,5724E-09
1,40508E-08	0	-1,69005E-08	8,85869E-09	0	-1,3261E-08	4,90342E-09	0	-9,72597E-09
0	6,98061E-10	0	0	5,58448E-10	0	0	4,18836E-10	0
8,76361E-09	0	-6,97335E-09	6,31094E-09	0	-7,13273E-09	3,9414E-09	0	-6,49568E-09
1,69708E-08	0	-1,9187E-08	1,09696E-08	0	-1,56259E-08	6,22584E-09	0	-1,18948E-08
0	6,98061E-10	0	0	5,58448E-10	0	0	4,18836E-10	0
8,51576E-09	0	-6,54052E-09	6,18434E-09	0	-6,85583E-09	3,88825E-09	0	-6,34033E-09
1,97788E-08	0	-2,1287E-08	1,30214E-08	0	-1,78684E-08	7,522E-09	0	-1,39923E-08
0	6,98061E-10	0	0	5,58448E-10	0	0	4,18836E-10	0
8,08909E-09	0	-5,85574E-09	5,95312E-09	0	-6,3984E-09	3,78182E-09	0	-6,06565E-09
2,2403E-08	0	-2,31027E-08	1,49711E-08	0	-1,99174E-08	8,76967E-09	0	-1,59702E-08
0	6,98061E-10	0	0	5,58448E-10	0	0	4,18836E-10	0
7,41443E-09	0	-4,84282E-09	5,57213E-09	0	-5,69739E-09	3,59624E-09	0	-5,6229E-09
2,47467E-08	0	-2,45096E-08	1,67598E-08	0	-2,16788E-08	9,9371E-09	0	-1,77625E-08
0	6,98061E-10	0	0	5,58448E-10	0	0	4,18836E-10	0
6,41236E-09	0	-3,41818E-09	4,98865E-09	0	-4,68166E-09	3,30083E-09	0	-4,95567E-09
2,66846E-08	0	-2,53536E-08	1,8309E-08	0	-2,30333E-08	1,09814E-08	0	-1,92829E-08
0	6,98061E-10	0	0	5,58448E-10	0	0	4,18836E-10	0
4,99412E-09	0	-1,4922E-09	4,14295E-09	0	-3,27291E-09	2,86037E-09	0	-4,00046E-09
2,80811E-08	0	-2,54425E-08	1,95398E-08	0	-2,38438E-08	1,18626E-08	0	-2,04411E-08
0	6,98061E-10	0	0	5,58448E-10	0	0	4,18836E-10	0
3,01724E-09	0	1,08762E-09	2,94106E-09	0	-1,34269E-09	2,22049E-09	0	-2,65638E-09
2,86881E-08	0	-2,45205E-08	2,02863E-08	0	-2,38895E-08	1,24833E-08	0	-2,10601E-08
0	6,98061E-10	0	0	5,58448E-10	0	0	4,18836E-10	0
3,86894E-10	0	4,39767E-09	1,31489E-09	0	1,18648E-09	1,33874E-09	0	-8,53256E-10
2,82571E-08	0	-2,23155E-08	2,03861E-08	0	-2,29446E-08	1,27504E-08	0	-2,09649E-08
0	6,98061E-10	0	0	5,58448E-10	0	0	4,18836E-10	0
-3,03202E-09	0	8,55684E-09	-8,30339E-10	0	4,42818E-09	1,57212E-10	0	1,50768E-09
2,64933E-08	0	-1,85155E-08	1,96436E-08	0	-2,07444E-08	1,25503E-08	0	-1,9946E-08
0	6,98061E-10	0	0	5,58448E-10	0	0	4,18836E-10	0
-7,37503E-09	0	1,36766E-08	-3,59142E-09	0	8,49388E-09	-1,38416E-09	0	4,52645E-09
2,30555E-08	0	-1,27724E-08	1,78303E-08	0	-1,69867E-08	1,17486E-08	0	-1,77599E-08
0	6,98061E-10	0	0	5,58448E-10	0	0	4,18836E-10	0
-1,27724E-08	0	1,98541E-08	-7,06362E-09	0	1,34875E-08	-3,34559E-09	0	8,30039E-09
1,78303E-08	0	-7,06362E-09	1,46857E-08	0	-1,13361E-08	1,01907E-08	0	-1,41309E-08
0	5,58448E-10	0	0	5,58448E-10	0	0	4,18836E-10	0
-1,69867E-08	0	1,34875E-08	-1,13361E-08	0	1,9499E-08	-5,7849E-09	0	1,29192E-08
1,17486E-08	0	-3,34559E-09	1,01907E-08	0	-5,7849E-09	7,70263E-09	0	-8,7543E-09
0	4,18836E-10	0	0	4,18836E-10	0	0	4,18836E-10	0
-1,77599E-08	0	8,30039E-09	-1,41309E-08	0	1,29192E-08	-8,7543E-09	0	1,84589E-08
5,98274E-09	0	-1,20732E-09	5,38436E-09	0	-2,30692E-09	4,36463E-09	0	-3,65817E-09
0	2,79224E-10	0	0	2,79224E-10	0	0	2,79224E-10	0
-1,51624E-08	0	4,31743E-09	-1,31519E-08	0	7,46544E-09	-9,94101E-09	0	1,12975E-08
1,6856E-09	0	-2,31866E-10	1,55955E-09	0	-5,1057E-10	1,3262E-09	0	-8,56185E-10
0	1,39612E-10	0	0	1,39612E-10	0	0	1,39612E-10	0
-9,23634E-09	0	1,54949E-09	-8,43606E-09	0	3,15679E-09	-7,0184E-09	0	5,141E-09
4,45126E-10	0	-4,92191E-11	4,16558E-10	0	-1,19368E-10	3,60917E-10	0	-2,06744E-10
0	6,98061E-11	0	0	6,98061E-11	0	0	6,98061E-11	0
-5,03146E-09	0	6,22369E-10	-4,6826E-09	0	1,43426E-09	-4,02078E-09	0	2,4433E-09
u16	w16	f16	u17	w17	f17	u18	w18	f18

Tab. B.17: Celková inverzní matice tuhosti 6,5

u19	w19	fi19	u20	w20	fi20	u21	w21	fi21	
-8,18639E-10	0	1,53525E-09	-2,77099E-10	0	1,39871E-09	-7,83273E-11	0	8,57045E-10	u1
0	2,79224E-10	0	0	1,39612E-10	0	0	6,98061E-11	0	w1
1,92423E-09	0	-5,11683E-09	5,21464E-10	0	-2,91065E-09	1,35412E-10	0	-1,54323E-09	fi1
-4,81899E-10	0	6,39801E-10	-1,85843E-10	0	8,89347E-10	-5,46301E-11	0	5,8698E-10	u2
0	2,79224E-10	0	0	1,39612E-10	0	0	6,98061E-11	0	w2
1,92423E-09	0	-5,11683E-09	5,21464E-10	0	-2,91065E-09	1,35412E-10	0	-1,54323E-09	fi2
1,91678E-10	0	-1,15122E-09	-3,29348E-12	0	-1,29559E-10	-7,22496E-12	0	4,67323E-11	u3
0	2,79224E-10	0	0	1,39612E-10	0	0	6,98061E-11	0	w3
1,92505E-09	0	-5,11792E-09	5,2178E-10	0	-2,91217E-09	1,35505E-10	0	-1,54423E-09	fi3
8,41701E-10	0	-2,87878E-09	1,72944E-10	0	-1,11304E-09	3,85494E-11	0	-4,74883E-10	u4
0	2,79224E-10	0	0	1,39612E-10	0	0	6,98061E-11	0	w4
1,92709E-09	0	-5,11921E-09	5,2269E-10	0	-2,91629E-09	1,35783E-10	0	-1,54716E-09	fi4
1,49239E-09	0	-4,6059E-09	3,49553E-10	0	-2,09809E-09	8,44422E-11	0	-9,97726E-10	u5
0	2,79224E-10	0	0	1,39612E-10	0	0	6,98061E-11	0	w5
1,92847E-09	0	-5,11347E-09	5,23873E-10	0	-2,92072E-09	1,36183E-10	0	-1,5512E-09	fi5
2,14285E-09	0	-6,32799E-09	5,26478E-10	0	-3,08389E-09	1,30461E-10	0	-1,52176E-09	u6
0	2,79224E-10	0	0	1,39612E-10	0	0	6,98061E-11	0	w6
1,92478E-09	0	-5,08659E-09	5,24345E-10	0	-2,91942E-09	1,36475E-10	0	-1,55359E-09	fi6
2,79028E-09	0	-8,03465E-09	7,0322E-10	0	-4,06696E-09	1,76505E-10	0	-2,04568E-09	u7
0	2,79224E-10	0	0	1,39612E-10	0	0	6,98061E-11	0	w7
1,9092E-09	0	-5,018E-09	5,22458E-10	0	-2,90263E-09	1,36255E-10	0	-1,54956E-09	fi7
3,42917E-09	0	-9,70741E-09	8,78611E-10	0	-5,0399E-09	2,2231E-10	0	-2,56624E-09	u8
0	2,79224E-10	0	0	1,39612E-10	0	0	6,98061E-11	0	w8
1,87242E-09	0	-4,88066E-09	5,15896E-10	0	-2,85688E-09	1,34943E-10	0	-1,53243E-09	fi8
4,05046E-09	0	-1,13176E-08	1,05059E-09	0	-5,99016E-09	2,67385E-10	0	-3,07761E-09	u9
0	2,79224E-10	0	0	1,39612E-10	0	0	6,98061E-11	0	w9
1,80274E-09	0	-4,64117E-09	5,01681E-10	0	-2,76504E-09	1,3179E-10	0	-1,49348E-09	fi9
4,64074E-09	0	-1,28243E-08	1,21598E-09	0	-6,89878E-09	3,10958E-10	0	-3,57069E-09	u10
0	2,79224E-10	0	0	1,39612E-10	0	0	6,98061E-11	0	w10
1,68609E-09	0	-4,25994E-09	4,76182E-10	0	-2,60633E-09	1,25874E-10	0	-1,42212E-09	fi10
5,18144E-09	0	-1,4172E-08	1,37026E-09	0	-7,73919E-09	3,51917E-10	0	-4,03248E-09	u11
0	2,79224E-10	0	0	1,39612E-10	0	0	6,98061E-11	0	w11
1,50609E-09	0	-3,69153E-09	4,35132E-10	0	-2,3565E-09	1,16106E-10	0	-1,30581E-09	fi11
5,65676E-09	0	-1,53092E-08	1,50998E-09	0	-8,48984E-09	3,89457E-10	0	-4,45328E-09	u12
0	2,79224E-10	0	0	1,39612E-10	0	0	6,98061E-11	0	w12
1,23791E-09	0	-2,86575E-09	3,72156E-10	0	-1,97901E-09	1,00871E-10	0	-1,12593E-09	fi12
6,02172E-09	0	-1,61103E-08	1,62347E-09	0	-9,08425E-09	4,2061E-10	0	-4,79891E-09	u13
0	2,79224E-10	0	0	1,39612E-10	0	0	6,98061E-11	0	w13
8,6087E-10	0	-1,72784E-09	2,8163E-10	0	-1,44252E-09	7,87065E-11	0	-8,65824E-10	fi13
6,23411E-09	0	-1,64551E-08	1,69997E-09	0	-9,46052E-09	4,4266E-10	0	-5,038E-09	u14
0	2,79224E-10	0	0	1,39612E-10	0	0	6,98061E-11	0	w14
3,47185E-10	0	-2,03046E-10	1,56098E-10	0	-7,05207E-10	4,76857E-11	0	-5,03478E-10	fi14
6,24186E-09	0	-1,61969E-08	1,72608E-09	0	-9,54193E-09	4,52207E-10	0	-5,13132E-09	u15
0	2,79224E-10	0	0	1,39612E-10	0	0	6,98061E-11	0	w15
-3,32315E-10	0	1,78614E-09	-1,23501E-11	0	2,77054E-10	5,75366E-12	0	-1,54809E-11	fi15
5,98274E-09	0	-1,51624E-08	1,6856E-09	0	-9,23634E-09	4,45126E-10	0	-5,03146E-09	u16
0	2,79224E-10	0	0	1,39612E-10	0	0	6,98061E-11	0	w16
-1,20732E-09	0	4,31743E-09	-2,31866E-10	0	1,54949E-09	-4,92191E-11	0	6,22369E-10	fi16
5,38436E-09	0	-1,31519E-08	1,55955E-09	0	-8,43606E-09	4,16558E-10	0	-4,6826E-09	u17
0	2,79224E-10	0	0	1,39612E-10	0	0	6,98061E-11	0	w17
-2,30692E-09	0	7,46544E-09	-5,1057E-10	0	3,15679E-09	-1,19368E-10	0	1,43426E-09	fi17
4,36463E-09	0	-9,94101E-09	1,3262E-09	0	-7,0184E-09	3,60917E-10	0	-4,02078E-09	u18
0	2,79224E-10	0	0	1,39612E-10	0	0	6,98061E-11	0	w18
-3,65817E-09	0	1,12975E-08	-8,56185E-10	0	5,141E-09	-2,06744E-10	0	2,4433E-09	fi18
2,83273E-09	0	-5,28427E-09	9,61268E-10	0	-4,84699E-09	2,71944E-10	0	-2,97442E-09	u19
0	2,79224E-10	0	0	1,39612E-10	0	0	6,98061E-11	0	w19
-5,28427E-09	0	1,58687E-08	-1,27558E-09	0	7,53891E-09	-3,13197E-10	0	3,67021E-09	fi19
9,61268E-10	0	-1,27558E-09	0	0	-1,77419E-09	1,42796E-10	0	-1,46549E-09	u20
0	1,39612E-10	0	0	1,39612E-10	0	0	6,98061E-11	0	w20
-4,84699E-09	0	7,53891E-09	-1,77419E-09	0	1,03788E-08	-4,40233E-10	0	5,13164E-09	fi20
2,71944E-10	0	-3,13197E-10	1,42796E-10	0	-4,40233E-10	0	0	0	u21
0	6,98061E-11	0	0	6,98061E-11	0	0	0	0	w21
-2,97442E-09	0	3,67021E-09	-1,46549E-09	0	5,13164E-09	0	0	0	fi21
u19	w19	fi19	u20	w20	fi20	u21	w21	fi21	

Tab. B.18: Výsledné deformace ODM + porovnání ANSYS 6,5

	UZLOVÉ SÍLY	ODM	ANSYS	ROZDÍL	
300000	300000	0,1555	0,1561	6,03E-04	u1
500000	500000	0,0014	0,0013	3,43E-05	w1
-400000	-400000	-0,0798	-0,0799	4,24E-05	fi1
	0	0,1418	0,1424	5,36E-04	u2
	0	0,0013	0,0013	3,44E-05	w2
	0	-0,0768	-0,0769	4,32E-05	fi2
	0	0,1161	0,1165	4,45E-04	u3
	0	0,0012	0,0012	3,44E-05	w3
	0	-0,0701	-0,0701	4,37E-05	fi3
	0	0,0936	0,0936	1,10E-05	u4
	0	0,0012	0,0011	3,57E-05	w4
	0	-0,0628	-0,0627	9,30E-05	fi4
	0	0,0737	0,0737	5,40E-06	u5
	0	0,0011	0,0011	3,72E-05	w5
	0	-0,0552	-0,0551	9,67E-05	fi5
	0	0,0564	0,0565	4,65E-05	u6
	0	0,0010	0,0010	3,57E-05	w6
	0	-0,0475	-0,0474	9,64E-05	fi6
	0	0,0417	0,0418	1,04E-04	u7
	0	0,0010	0,0009	3,56E-05	w7
	0	-0,0400	-0,0399	9,34E-05	fi7
	0	0,0294	0,0296	1,75E-04	u8
	0	0,0009	0,0009	3,56E-05	w8
	0	-0,0329	-0,0328	8,72E-05	fi8
	0	0,0194	0,0197	2,52E-04	u9
	0	0,0008	0,0008	3,56E-05	w9
	0	-0,0263	-0,0262	7,77E-05	fi9
	0	0,0116	0,0119	3,32E-04	u10
	0	0,0008	0,0007	3,56E-05	w10
	0	-0,0203	-0,0202	6,27E-05	fi10
	0	0,0057	0,0061	4,09E-04	u11
	0	0,0007	0,0007	3,56E-05	w11
	0	-0,0150	-0,0149	4,18E-05	fi11
	0	0,0014	0,0002	1,17E-03	u12
	0	0,0006	0,0006	3,49E-05	w12
	0	-0,0102	-0,0103	3,03E-05	fi12
	0	-0,0015	0,0009	5,64E-04	u13
	0	0,0006	0,0005	3,49E-05	w13
	0	-0,0063	-0,0063	6,16E-05	fi13
	0	-0,0030	0,0024	5,99E-04	u14
	0	0,0005	0,0005	3,49E-05	w14
	0	-0,0030	-0,0031	1,05E-04	fi14
	0	-0,0036	0,0030	6,15E-04	u15
	0	0,0004	0,0004	3,49E-05	w15
	0	-0,0005	-0,0007	1,63E-04	fi15
	0	-0,0035	0,0029	6,07E-04	u16
	0	0,0003	0,0003	3,49E-05	w16
	0	0,0013	0,0010	2,39E-04	fi16
	0	-0,0028	0,0023	5,69E-04	u17
	0	0,0003	0,0002	3,49E-05	w17
	0	0,0024	0,0020	3,35E-04	fi17
	0	-0,0019	0,0015	4,92E-04	u18
	0	0,0002	0,0002	3,49E-05	w18
	0	0,0028	0,0023	4,35E-04	fi18
	0	-0,0010	0,0006	3,69E-04	u19
	0	0,0001	0,0001	3,49E-05	w19
	0	0,0025	0,0019	6,02E-04	fi19
	0	-0,0003	0,0001	1,91E-04	u20
	0	0,0001	0,0000	3,49E-05	w20
	0	0,0016	0,0008	7,76E-04	fi20
	0	-0,0001	0,0000	7,77E-05	u21
	0	0,0000	0,0000	3,49E-05	w21
	0	0,0009	0,0000	8,74E-04	fi21

Tab. B.19: Jednotlivé globální matice tuhosti 10,5

PILOTA 10,5								
PRUT	l	[]	u	w	f _i	u	w	f _i
L (délka)	0,1751	m	56295438377	0	4928665630	-56295438377	0	4928665630
E	20140000000	Pa	0	14089948601	0	0	-14089948601	0
A	0,1225	m ²	4928665630	0	575339567,9	-4928665630	0	287669783,9
I	0,001250521	m ⁴	-56295438377	0	-4928665630	56295438377	0	-4928665630
g	90		0	-14089948601	0	0	14089948601	0
c	0		4928665630	0	287669783,9	-4928665630	0	575339567,9
s	1							
PRUT	2-5	[]	u	w	f _i	u	w	f _i
L (délka)	0,3502	m	7036929797	0	1232166407	-7036929797	0	1232166407
E	20140000000	Pa	0	7044974300	0	0	-7044974300	0
A	0,1225	m ²	1232166407	0	287669783,9	-1232166407	0	143834892
I	0,001250521	m ⁴	-7036929797	0	-1232166407	7036929797	0	-1232166407
g	90		0	-7044974300	0	0	7044974300	0
c	0		1232166407	0	143834892	-1232166407	0	287669783,9
s	1							
PRUT	6-14	[]	u	w	f _i	u	w	f _i
L (délka)	0,333333	m	8160123105	0	1360019158	-8160123105	0	1360019158
E	20140000000	Pa	0	7401457401	0	0	-7401457401	0
A	0,1225	m ²	1360019158	0	302226177,2	-1360019158	0	151113088,6
I	0,001250521	m ⁴	-8160123105	0	-1360019158	8160123105	0	-1360019158
g	90		0	-7401457401	0	0	7401457401	0
c	0		1360019158	0	151113088,6	-1360019158	0	302226177,2
s	1							
PRUT	15	[]	u	w	f _i	u	w	f _i
L (délka)	0,1666665	m	65280984843	0	5440076630	-65280984843	0	5440076630
E	20140000000	Pa	0	14802914803	0	0	-14802914803	0
A	0,1225	m ²	5440076630	0	604452354,5	-5440076630	0	302226177,2
I	0,001250521	m ⁴	-65280984843	0	-5440076630	65280984843	0	-5440076630
g	90		0	-14802914803	0	0	14802914803	0
c	0		5440076630	0	302226177,2	-5440076630	0	604452354,5
s	1							
PRUŽINA			u	u				
k			1027253	-1027253,333				
			-1027253,333	1027253,333				
PRUŽINA			u	u				
k			1111100	-1111100				
			-1111100	1111100				

Tab. B.20: Celková globální matice tuhosti 10,5

	u1	w1	fi1	u2	w2	fi2
u1	56295438377	0	4928665630	-56295438377	0	4928665630
w1	0	14089948601	0	0	-14089948601	0
fi1	4928665630	0	575339567,9	-4928665630	0	287669783,9
u2	-56295438377	0	-4928665630	63333395428	0	-3696499222
w2	0	-14089948601	0	0	21134922901	0
fi2	4928665630	0	287669783,9	-3696499222	0	863009351,8
u3	0	0	0	-7036929797	0	-1232166407
w3	0	0	0	0	-7044974300	0
fi3	0	0	0	1232166407	0	143834892
u4	0	0	0	0	0	0
w4	0	0	0	0	0	0
fi4	0	0	0	0	0	0
u5	0	0	0	0	0	0
w5	0	0	0	0	0	0
fi5	0	0	0	0	0	0
u6	0	0	0	0	0	0
w6	0	0	0	0	0	0
fi6	0	0	0	0	0	0
u7	0	0	0	0	0	0
w7	0	0	0	0	0	0
fi7	0	0	0	0	0	0
u8	0	0	0	0	0	0
w8	0	0	0	0	0	0
fi8	0	0	0	0	0	0
u9	0	0	0	0	0	0
w9	0	0	0	0	0	0
fi9	0	0	0	0	0	0
u10	0	0	0	0	0	0
w10	0	0	0	0	0	0
fi10	0	0	0	0	0	0
u11	0	0	0	0	0	0
w11	0	0	0	0	0	0
fi11	0	0	0	0	0	0
u12	0	0	0	0	0	0
w12	0	0	0	0	0	0
fi12	0	0	0	0	0	0
u13	0	0	0	0	0	0
w13	0	0	0	0	0	0
fi13	0	0	0	0	0	0
u14	0	0	0	0	0	0
w14	0	0	0	0	0	0
fi14	0	0	0	0	0	0
u15	0	0	0	0	0	0
w15	0	0	0	0	0	0
fi15	0	0	0	0	0	0
u16	0	0	0	0	0	0
w16	0	0	0	0	0	0
fi16	0	0	0	0	0	0
	u1	w1	fi1	u2	w2	fi2

Tab. B.21: Celková globální matice tuhosti 10,5

[illegible]

Tab. B.22: Celková globální matice tuhosti 10,5

[illegible]

Tab. B.23: Celková globální matice tuhosti 10,5

[illegible]

Tab. B.24: Celková globální matice tuhosti 10,5

u9	w9	fi9	u10	w10	fi10
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
-8160123105	0	1360019158	0	0	0
0	-7401457401	0	0	0	0
-1360019158	0	151113088,6	0	0	0
16321357311	0	0	-8160123105	0	1360019158
0	14802914803	0	0	-7401457401	0
0	0	604452354,5	-1360019158	0	151113088,6
-8160123105	0	-1360019158	16321357311	0	0
0	-7401457401	0	0	14802914803	0
1360019158	0	151113088,6	0	0	604452354,5
0	0	0	-8160123105	0	-1360019158
0	0	0	0	-7401457401	0
0	0	0	1360019158	0	151113088,6
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
u9	w9	fi9	u10	w10	fi10

Tab. B.25: Celková globální matice tuhosti 10,5

u11	w11	f11	u12	w12	f12
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
-8160123105	0	1360019158	0	0	0
0	-7401457401	0	0	0	0
-1360019158	0	151113088,6	0	0	0
16321357311	0	0	-8160123105	0	1360019158
0	14802914803	0	0	-7401457401	0
0	0	604452354,5	-1360019158	0	151113088,6
-8160123105	0	-1360019158	16321357311	0	0
0	-7401457401	0	0	14802914803	0
1360019158	0	151113088,6	0	0	604452354,5
0	0	0	-8160123105	0	-1360019158
0	0	0	0	-7401457401	0
0	0	0	1360019158	0	151113088,6
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
u11	w11	f11	u12	w12	f12

Tab. B.26: Celková globální matice tuhosti 10,5

u13	w13	f13	u14	w14	f14
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
-8160123105	0	1360019158	0	0	0
0	-7401457401	0	0	0	0
-1360019158	0	151113088,6	0	0	0
16321357311	0	0	-8160123105	0	1360019158
0	14802914803	0	0	-7401457401	0
0	0	604452354,5	-1360019158	0	151113088,6
-8160123105	0	-1360019158	16321357311	0	0
0	-7401457401	0	0	14802914803	0
1360019158	0	151113088,6	0	0	604452354,5
0	0	0	-8160123105	0	-1360019158
0	0	0	0	-7401457401	0
0	0	0	1360019158	0	151113088,6
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
u13	w13	f13	u14	w14	f14

Tab. B.27: Celková globální matice tuhosti 10,5

u15	w15	fi15	u16	w16	fi16	
0	0	0	0	0	0	u1
0	0	0	0	0	0	w1
0	0	0	0	0	0	fi1
0	0	0	0	0	0	u2
0	0	0	0	0	0	w2
0	0	0	0	0	0	fi2
0	0	0	0	0	0	u3
0	0	0	0	0	0	w3
0	0	0	0	0	0	fi3
0	0	0	0	0	0	u4
0	0	0	0	0	0	w4
0	0	0	0	0	0	fi4
0	0	0	0	0	0	u5
0	0	0	0	0	0	w5
0	0	0	0	0	0	fi5
0	0	0	0	0	0	u6
0	0	0	0	0	0	w6
0	0	0	0	0	0	fi6
0	0	0	0	0	0	u7
0	0	0	0	0	0	w7
0	0	0	0	0	0	fi7
0	0	0	0	0	0	u8
0	0	0	0	0	0	w8
0	0	0	0	0	0	fi8
0	0	0	0	0	0	u9
0	0	0	0	0	0	w9
0	0	0	0	0	0	fi9
0	0	0	0	0	0	u10
0	0	0	0	0	0	w10
0	0	0	0	0	0	fi10
0	0	0	0	0	0	u11
0	0	0	0	0	0	w11
0	0	0	0	0	0	fi11
0	0	0	0	0	0	u12
0	0	0	0	0	0	w12
0	0	0	0	0	0	fi12
0	0	0	0	0	0	u13
0	0	0	0	0	0	w13
0	0	0	0	0	0	fi13
-8160123105	0	1360019158	0	0	0	u14
0	-7401457401	0	0	0	0	w14
-1360019158	0	151113088,6	0	0	0	fi14
73442219048	0	4080057473	-65280984843	0	5440076630	u15
0	22204372204	0	0	-14802914803	0	w15
4080057473	0	906678531,7	-5440076630	0	302226177,2	fi15
-65280984843	0	-5440076630	65280984843	0	-5440076630	u16
0	-14802914803	0	0	14802914803	0	w16
5440076630	0	302226177,2	-5440076630	0	604452354	fi16
u15	w15	fi15	u16	w16	fi16	

Tab. B.28: Celková inverzní matice tuhosti 10,5

	u1	w1	fi1	u2	w2	fi2
u1	0	0	-1,13756E-07	2,54449E-07	0	-1,13147E-07
w1	0	1,98984E-09	0	0	1,91887E-09	0
fi1	-1,13756E-07	0	8,94109E-08	-9,8709E-08	0	8,24585E-08
u2	2,54449E-07	0	-9,8709E-08	0	0	-9,8709E-08
w2	0	1,91887E-09	0	0	1,91887E-09	0
fi2	-1,13147E-07	0	8,24585E-08	-9,8709E-08	0	8,24585E-08
u3	2,15461E-07	0	-7,22379E-08	2,02812E-07	0	-7,22379E-08
w3	0	1,77692E-09	0	0	1,77692E-09	0
fi3	-1,08914E-07	0	6,88006E-08	-9,68674E-08	0	6,88006E-08
u4	1,78522E-07	0	-5,04423E-08	1,6969E-07	0	-5,04423E-08
w4	0	1,63498E-09	0	0	1,63498E-09	0
fi4	-1,01624E-07	0	5,58171E-08	-9,185E-08	0	5,58171E-08
u5	1,44526E-07	0	-3,30291E-08	1,38742E-07	0	-3,30291E-08
w5	0	1,49303E-09	0	0	1,49303E-09	0
fi5	-9,22603E-08	0	4,38148E-08	-8,45883E-08	0	4,38148E-08
u6	1,14051E-07	0	-1,96155E-08	1,10616E-07	0	-1,96155E-08
w6	0	1,35109E-09	0	0	1,35109E-09	0
fi6	-8,16326E-08	0	3,30026E-08	-7,58539E-08	0	3,30026E-08
u7	8,86142E-08	0	-1,016E-08	8,68352E-08	0	-1,016E-08
w7	0	1,21598E-09	0	0	1,21598E-09	0
fi7	-7,09365E-08	0	2,39378E-08	-6,6745E-08	0	2,39378E-08
u8	6,67691E-08	0	-3,51629E-09	6,61534E-08	0	-3,51629E-09
w8	0	1,08087E-09	0	0	1,08087E-09	0
fi8	-6,01563E-08	0	1,61397E-08	-5,73303E-08	0	1,61397E-08
u9	4,84771E-08	0	7,44315E-10	4,86074E-08	0	7,44315E-10
w9	0	9,4576E-10	0	0	9,4576E-10	0
fi9	-4,9673E-08	0	9,64206E-09	-4,79847E-08	0	9,64206E-09
u10	3,35895E-08	0	3,05698E-09	3,41248E-08	0	3,05698E-09
w10	0	8,10651E-10	0	0	8,10651E-10	0
fi10	-3,9769E-08	0	4,45148E-09	-3,89895E-08	0	4,45148E-09
u11	2,18777E-08	0	3,85617E-09	2,25529E-08	0	3,85617E-09
w11	0	6,75543E-10	0	0	6,75543E-10	0
fi11	-3,06453E-08	0	5,58708E-10	-3,05475E-08	0	5,58708E-10
u12	1,30574E-08	0	3,57177E-09	1,36829E-08	0	3,57177E-09
w12	0	5,40434E-10	0	0	5,40434E-10	0
fi12	-2,24381E-08	0	-2,05321E-09	-2,27976E-08	0	-2,05321E-09
u13	6,80769E-09	0	2,62766E-09	7,26779E-09	0	2,62766E-09
w13	0	4,05326E-10	0	0	4,05326E-10	0
fi13	-1,52328E-08	0	-3,40247E-09	-1,58286E-08	0	-3,40247E-09
u14	2,7855E-09	0	1,44206E-09	3,03801E-09	0	1,44206E-09
w14	0	2,70217E-10	0	0	2,70217E-10	0
fi14	-9,07823E-09	0	-3,50427E-09	-9,69183E-09	0	-3,50427E-09
u15	6,36189E-10	0	4,28981E-10	7,11304E-10	0	4,28981E-10
w15	0	1,35109E-10	0	0	1,35109E-10	0
fi15	-3,99783E-09	0	-2,36858E-09	-4,41257E-09	0	-2,36858E-09
u16	1,51519E-10	0	1,158E-10	1,71795E-10	0	1,158E-10
w16	0	6,75543E-11	0	0	6,75543E-11	0
fi16	-1,8634E-09	0	-1,33827E-09	-2,09773E-09	0	-1,33827E-09
	u1	w1	fi1	u2	w2	fi2

Tab. B.29: Celková inverzní matice tuhosti 10,5

u3	w3	fi3	u4	w4	fi4
2,15461E-07	0	-1,08914E-07	1,78522E-07	0	-1,01624E-07
0	1,77692E-09	0	0	1,63498E-09	0
-7,22379E-08	0	6,88006E-08	-5,04423E-08	0	5,58171E-08
2,02812E-07	0	-9,68674E-08	0	0	-9,185E-08
0	1,77692E-09	0	0	1,63498E-09	0
-7,22379E-08	0	6,88006E-08	-5,04423E-08	0	5,58171E-08
0	0	-7,27452E-08	1,51975E-07	0	-7,2276E-08
0	1,77692E-09	0	0	1,63498E-09	0
-7,27452E-08	0	6,90428E-08	-5,08668E-08	0	5,60468E-08
1,51975E-07	0	-5,08668E-08	1,33919E-07	0	-5,25201E-08
0	1,63498E-09	0	0	1,63498E-09	0
-7,2276E-08	0	5,60468E-08	-5,25201E-08	0	5,69167E-08
1,27135E-07	0	-3,33761E-08	1,15248E-07	0	-3,47351E-08
0	1,49303E-09	0	0	1,49303E-09	0
-6,92197E-08	0	4,40264E-08	-5,36827E-08	0	4,48342E-08
1,03714E-07	0	-1,98922E-08	9,65887E-08	0	-2,09816E-08
0	1,35109E-09	0	0	1,35109E-09	0
-6,42742E-08	0	3,31923E-08	-5,25429E-08	0	3,39222E-08
8,32518E-08	0	-1,03772E-08	7,9492E-08	0	-1,12369E-08
0	1,21598E-09	0	0	1,21598E-09	0
-5,83425E-08	0	2,41047E-08	-4,9806E-08	0	2,47514E-08
6,49027E-08	0	-3,68174E-09	6,35172E-08	0	-4,34044E-09
0	1,08087E-09	0	0	1,08087E-09	0
-5,16614E-08	0	1,62831E-08	-4,5877E-08	0	1,68425E-08
4,88539E-08	0	6,22744E-10	4,90009E-08	0	1,35841E-10
0	9,4576E-10	0	0	9,4576E-10	0
-4,4594E-08	0	9,76207E-09	-4,11063E-08	0	1,02336E-08
3,51853E-08	0	2,97163E-09	3,61759E-08	0	2,62758E-09
0	8,10651E-10	0	0	8,10651E-10	0
-3,74192E-08	0	4,549E-09	-3,57697E-08	0	4,93513E-09
2,38968E-08	0	3,79976E-09	2,51942E-08	0	3,57077E-09
0	6,75543E-10	0	0	6,75543E-10	0
-3,03429E-08	0	6,3511E-10	-3,0076E-08	0	9,40207E-10
1,49297E-08	0	3,53754E-09	1,61482E-08	0	3,39754E-09
0	5,40434E-10	0	0	5,40434E-10	0
-2,351E-08	0	-1,99619E-09	-2,41756E-08	0	-1,76633E-09
8,18588E-09	0	2,60948E-09	9,08884E-09	0	2,53448E-09
0	4,05326E-10	0	0	4,05326E-10	0
-1,70155E-08	0	-3,36288E-09	-1,81697E-08	0	-3,20155E-09
3,54213E-09	0	1,43447E-09	4,0399E-09	0	1,40281E-09
0	2,70217E-10	0	0	2,70217E-10	0
-1,09162E-08	0	-3,48003E-09	-1,21204E-08	0	-3,38E-09
8,61325E-10	0	4,27202E-10	1,00985E-09	0	4,19711E-10
0	1,35109E-10	0	0	1,35109E-10	0
-5,24075E-09	0	-2,35755E-09	-6,05968E-09	0	-2,31133E-09
2,12298E-10	0	1,1537E-10	2,52438E-10	0	1,1355E-10
0	6,75543E-11	0	0	6,75543E-11	0
-2,56578E-09	0	-1,33303E-09	-3,0294E-09	0	-1,31087E-09
u3	w3	fi3	u4	w4	fi4

Tab. B.30: Celková inverzní matice tuhosti 10,5

u5	w5	fi5	u6	w6	fi6
1,44526E-07	0	-9,22603E-08	1,14051E-07	0	-8,16326E-08
0	1,49303E-09	0	0	1,35109E-09	0
-3,30291E-08	0	4,38148E-08	-1,96155E-08	0	3,30026E-08
1,38742E-07	0	-8,45883E-08	0	0	-7,58539E-08
0	1,49303E-09	0	0	1,35109E-09	0
-3,30291E-08	0	4,38148E-08	-1,96155E-08	0	3,30026E-08
1,27135E-07	0	-6,92197E-08	1,03714E-07	0	-6,42742E-08
0	1,49303E-09	0	0	1,35109E-09	0
-3,33761E-08	0	4,40264E-08	-1,98922E-08	0	3,31923E-08
1,15248E-07	0	-5,36827E-08	9,65887E-08	0	-5,25429E-08
0	1,49303E-09	0	0	1,35109E-09	0
-3,47351E-08	0	4,48342E-08	-2,09816E-08	0	3,39222E-08
1,02618E-07	0	-3,77123E-08	8,88656E-08	0	-4,04179E-08
0	1,49303E-09	0	0	1,35109E-09	0
-3,77123E-08	0	4,65456E-08	-2,33847E-08	0	3,54845E-08
8,88656E-08	0	-2,33847E-08	0	0	-2,75653E-08
0	1,35109E-09	0	0	1,35109E-09	0
-4,04179E-08	0	3,54845E-08	-2,75653E-08	0	3,81116E-08
7,5259E-08	0	-1,31463E-08	7,01166E-08	0	-1,64924E-08
0	1,21598E-09	0	0	1,21598E-09	0
-4,0919E-08	0	2,61484E-08	-3,13776E-08	0	2,85226E-08
6,17676E-08	0	-5,81356E-09	5,93137E-08	0	-8,41446E-09
0	1,08087E-09	0	0	1,08087E-09	0
-3,97879E-08	0	1,80618E-08	-3,31244E-08	0	2,01553E-08
4,88778E-08	0	-9,61136E-10	4,82279E-08	0	-2,91299E-09
0	9,4576E-10	0	0	9,4576E-10	0
-3,73603E-08	0	1,12711E-08	-3,3123E-08	0	1,30708E-08
3,69747E-08	0	1,84635E-09	3,73967E-08	0	4,44983E-10
0	8,10651E-10	0	0	8,10651E-10	0
-3,39076E-08	0	5,79295E-09	-3,16369E-08	0	7,2967E-09
2,63633E-08	0	3,04642E-09	2,72783E-08	0	2,09775E-09
0	6,75543E-10	0	0	6,75543E-10	0
-2,96401E-08	0	1,62511E-09	-2,8876E-08	0	2,83918E-09
1,72879E-08	0	3,07402E-09	1,82701E-08	0	2,48336E-09
0	5,40434E-10	0	0	5,40434E-10	0
-2,4713E-08	0	-1,24437E-09	-2,49987E-08	0	-3,08028E-10
9,94935E-09	0	2,35944E-09	1,07242E-08	0	2,03675E-09
0	4,05326E-10	0	0	4,05326E-10	0
-1,92334E-08	0	-2,83049E-09	-2,01168E-08	0	-2,15615E-09
4,51964E-09	0	1,32814E-09	4,96261E-09	0	1,18904E-09
0	2,70217E-10	0	0	2,70217E-10	0
-1,3268E-08	0	-3,14658E-09	-1,43013E-08	0	-2,71626E-09
1,15408E-09	0	4,01827E-10	1,28944E-09	0	3,68139E-10
0	1,35109E-10	0	0	1,35109E-10	0
-6,8522E-09	0	-2,20167E-09	-7,59056E-09	0	-1,99627E-09
2,91531E-10	0	1,09177E-10	3,28449E-10	0	1,00892E-10
0	6,75543E-11	0	0	6,75543E-11	0
-3,4803E-09	0	-1,25781E-09	-3,90486E-09	0	-1,15756E-09
u5	w5	fi5	u6	w6	fi6

Tab. B.31: Celková inverzní matice tuhosti 10,5

u7	w7	fi7	u8	w8	fi8
8,86142E-08	0	-7,09365E-08	6,67691E-08	0	-6,01563E-08
0	1,21598E-09	0	0	1,08087E-09	0
-1,016E-08	0	2,39378E-08	-3,51629E-09	0	1,61397E-08
0	0	-6,6745E-08	6,61534E-08	0	-5,73303E-08
0	1,21598E-09	0	0	1,08087E-09	0
-1,016E-08	0	2,39378E-08	-3,51629E-09	0	1,61397E-08
8,32518E-08	0	-5,83425E-08	6,49027E-08	0	-5,16614E-08
0	1,21598E-09	0	0	1,08087E-09	0
-1,03772E-08	0	2,41047E-08	-3,68174E-09	0	1,62831E-08
7,9492E-08	0	-4,9806E-08	6,35172E-08	0	-4,5877E-08
0	1,21598E-09	0	0	1,08087E-09	0
-1,12369E-08	0	2,47514E-08	-4,34044E-09	0	1,68425E-08
7,5259E-08	0	-4,0919E-08	6,17676E-08	0	-3,97879E-08
0	1,21598E-09	0	0	1,08087E-09	0
-1,31463E-08	0	2,61484E-08	-5,81356E-09	0	1,80618E-08
7,01166E-08	0	-3,13776E-08	5,93137E-08	0	-3,31244E-08
0	1,21598E-09	0	0	1,08087E-09	0
-1,64924E-08	0	2,85226E-08	-8,41446E-09	0	2,01553E-08
0	0	-2,13456E-08	5,59151E-08	0	-2,59393E-08
0	1,21598E-09	0	0	1,08087E-09	0
-2,13456E-08	0	3,18564E-08	-1,22156E-08	0	2,31276E-08
5,59151E-08	0	-1,22156E-08	5,09958E-08	0	-1,75843E-08
0	1,08087E-09	0	0	1,08087E-09	0
-2,59393E-08	0	2,31276E-08	-1,75843E-08	0	2,71956E-08
4,68085E-08	0	-5,78779E-09	4,4234E-08	0	-9,88114E-09
0	9,4576E-10	0	0	9,4576E-10	0
-2,83613E-08	0	1,56536E-08	-2,25768E-08	0	1,92312E-08
3,72209E-08	0	-1,63559E-09	3,62056E-08	0	-4,62248E-09
0	8,10651E-10	0	0	8,10651E-10	0
-2,88634E-08	0	9,47852E-09	-2,52206E-08	0	1,25365E-08
2,77567E-08	0	6,77569E-10	2,76594E-08	0	-1,37843E-09
0	6,75543E-10	0	0	6,75543E-10	0
-2,76515E-08	0	4,62062E-09	-2,57128E-08	0	7,14727E-09
1,89593E-08	0	1,59143E-09	1,92854E-08	0	2,89037E-10
0	5,40434E-10	0	0	5,40434E-10	0
-2,48848E-08	0	1,0822E-09	-2,421E-08	0	3,07813E-09
1,13268E-08	0	1,54503E-09	1,17283E-08	0	8,20631E-10
0	4,05326E-10	0	0	4,05326E-10	0
-2,06779E-08	0	-1,14229E-09	-2,08272E-08	0	3,31777E-10
5,32582E-09	0	9,75044E-10	5,60106E-09	0	6,56895E-10
0	2,70217E-10	0	0	2,70217E-10	0
-1,5105E-08	0	-2,06053E-09	-1,56405E-08	0	-1,09452E-09
1,40406E-09	0	3,15789E-10	1,49706E-09	0	2,37221E-10
0	1,35109E-10	0	0	1,35109E-10	0
-8,20685E-09	0	-1,67872E-09	-8,69228E-09	0	-1,20438E-09
3,60081E-10	0	8,79482E-11	3,8635E-10	0	6,84279E-11
0	6,75543E-11	0	0	6,75543E-11	0
-4,26658E-09	0	-1,00137E-09	-4,56369E-09	0	-7,664E-10
u7	w7	fi7	u8	w8	fi8

Tab. B.32: Celková inverzní matice tuhosti 10,5

u9	w9	fi9	u10	w10	fi10
4,84771E-08	0	-4,9673E-08	3,35895E-08	0	-3,9769E-08
0	9,4576E-10	0	0	8,10651E-10	0
7,44315E-10	0	9,64206E-09	3,05698E-09	0	4,45148E-09
4,86074E-08	0	-4,79847E-08	3,41248E-08	0	-3,89895E-08
0	9,4576E-10	0	0	8,10651E-10	0
7,44315E-10	0	9,64206E-09	3,05698E-09	0	4,45148E-09
4,88539E-08	0	-4,4594E-08	3,51853E-08	0	-3,74192E-08
0	9,4576E-10	0	0	8,10651E-10	0
6,22744E-10	0	9,76207E-09	2,97163E-09	0	4,549E-09
4,90009E-08	0	-4,11063E-08	3,61759E-08	0	-3,57697E-08
0	9,4576E-10	0	0	8,10651E-10	0
1,35841E-10	0	1,02336E-08	2,62758E-09	0	4,93513E-09
4,88778E-08	0	-3,73603E-08	3,69747E-08	0	-3,39076E-08
0	9,4576E-10	0	0	8,10651E-10	0
-9,61136E-10	0	1,12711E-08	1,84635E-09	0	5,79295E-09
4,82279E-08	0	-3,3123E-08	3,73967E-08	0	-3,16369E-08
0	9,4576E-10	0	0	8,10651E-10	0
-2,91299E-09	0	1,30708E-08	4,44983E-10	0	7,2967E-09
4,68085E-08	0	-2,83613E-08	3,72209E-08	0	-2,88634E-08
0	9,4576E-10	0	0	8,10651E-10	0
-5,78779E-09	0	1,56536E-08	-1,63559E-09	0	9,47852E-09
4,4234E-08	0	-2,25768E-08	3,62056E-08	0	-2,52206E-08
0	9,4576E-10	0	0	8,10651E-10	0
-9,88114E-09	0	1,92312E-08	-4,62248E-09	0	1,25365E-08
4,00609E-08	0	-1,54162E-08	3,40185E-08	0	-2,03937E-08
0	9,4576E-10	0	0	8,10651E-10	0
-1,54162E-08	0	2,39284E-08	-8,69567E-09	0	1,66032E-08
3,40185E-08	0	-8,69567E-09	3,02687E-08	0	-1,40273E-08
0	8,10651E-10	0	0	8,10651E-10	0
-2,03937E-08	0	1,66032E-08	-1,40273E-08	0	2,17905E-08
2,6752E-08	0	-4,20607E-09	2,47548E-08	0	-7,9387E-09
0	6,75543E-10	0	0	6,75543E-10	0
-2,27893E-08	0	1,05499E-08	-1,8569E-08	0	1,49475E-08
1,9096E-08	0	-1,51756E-09	1,82072E-08	0	-3,92243E-09
0	5,40434E-10	0	0	5,40434E-10	0
-2,27521E-08	0	5,8001E-09	-2,02498E-08	0	9,3632E-09
1,18418E-08	0	-1,92948E-10	1,15611E-08	0	-1,55348E-09
0	4,05326E-10	0	0	4,05326E-10	0
-2,03943E-08	0	2,36777E-09	-1,9175E-08	0	5,06673E-09
5,7492E-09	0	2,07809E-10	5,72196E-09	0	-4,00032E-10
0	2,70217E-10	0	0	2,70217E-10	0
-1,57918E-08	0	2,57132E-10	-1,54177E-08	0	2,07147E-09
1,55851E-09	0	1,25323E-10	1,57607E-09	0	-2,73923E-11
0	1,35109E-10	0	0	1,35109E-10	0
-8,98775E-09	0	-5,31853E-10	-9,02001E-09	0	3,82207E-10
4,04765E-10	0	4,05012E-11	4,12202E-10	0	2,22911E-12
0	6,75543E-11	0	0	6,75543E-11	0
-4,76636E-09	0	-4,30993E-10	-4,83732E-09	0	2,77139E-11
u9	w9	fi9	u10	w10	fi10

Tab. B.33: Celková inverzní matice tuhosti 10,5

u11	w11	fi11	u12	w12	fi12
2,18777E-08	0	-3,06453E-08	1,30574E-08	0	-2,24381E-08
0	6,75543E-10	0	0	5,40434E-10	0
3,85617E-09	0	5,58708E-10	3,57177E-09	0	-2,05321E-09
2,25529E-08	0	-3,05475E-08	1,36829E-08	0	-2,27976E-08
0	6,75543E-10	0	0	5,40434E-10	0
3,85617E-09	0	5,58708E-10	3,57177E-09	0	-2,05321E-09
2,38968E-08	0	-3,03429E-08	1,49297E-08	0	-2,351E-08
0	6,75543E-10	0	0	5,40434E-10	0
3,79976E-09	0	6,3511E-10	3,53754E-09	0	-1,99619E-09
2,51942E-08	0	-3,0076E-08	1,61482E-08	0	-2,41756E-08
0	6,75543E-10	0	0	5,40434E-10	0
3,57077E-09	0	9,40207E-10	3,39754E-09	0	-1,76633E-09
2,63633E-08	0	-2,96401E-08	1,72879E-08	0	-2,4713E-08
0	6,75543E-10	0	0	5,40434E-10	0
3,04642E-09	0	1,62511E-09	3,07402E-09	0	-1,24437E-09
2,72783E-08	0	-2,8876E-08	1,82701E-08	0	-2,49987E-08
0	6,75543E-10	0	0	5,40434E-10	0
2,09775E-09	0	2,83918E-09	2,48336E-09	0	-3,08028E-10
2,77567E-08	0	-2,76515E-08	1,89593E-08	0	-2,48848E-08
0	6,75543E-10	0	0	5,40434E-10	0
6,77569E-10	0	4,62062E-09	1,59143E-09	0	1,0822E-09
2,76594E-08	0	-2,57128E-08	1,92854E-08	0	-2,421E-08
0	6,75543E-10	0	0	5,40434E-10	0
-1,37843E-09	0	7,14727E-09	2,89037E-10	0	3,07813E-09
2,6752E-08	0	-2,27893E-08	1,9096E-08	0	-2,27521E-08
0	6,75543E-10	0	0	5,40434E-10	0
-4,20607E-09	0	1,05499E-08	-1,51756E-09	0	5,8001E-09
2,47548E-08	0	-1,8569E-08	1,82072E-08	0	-2,02498E-08
0	6,75543E-10	0	0	5,40434E-10	0
-7,9387E-09	0	1,49475E-08	-3,92243E-09	0	9,3632E-09
2,13449E-08	0	-1,27026E-08	1,64044E-08	0	-1,64048E-08
0	6,75543E-10	0	0	5,40434E-10	0
-1,27026E-08	0	2,04413E-08	-7,01699E-09	0	1,38728E-08
1,64044E-08	0	-7,01699E-09	1,34432E-08	0	-1,08861E-08
0	5,40434E-10	0	0	5,40434E-10	0
-1,64048E-08	0	1,38728E-08	-1,08861E-08	0	1,94188E-08
1,07612E-08	0	-3,31832E-09	9,29792E-09	0	-5,54218E-09
0	4,05326E-10	0	0	4,05326E-10	0
-1,69321E-08	0	8,52562E-09	-1,3397E-08	0	1,2833E-08
5,46175E-09	0	-1,19474E-09	4,90166E-09	0	-2,20373E-09
0	2,70217E-10	0	0	2,70217E-10	0
-1,43509E-08	0	4,42497E-09	-1,23997E-08	0	7,39061E-09
1,53486E-09	0	-2,28609E-10	1,41743E-09	0	-4,85951E-10
0	1,35109E-10	0	0	1,35109E-10	0
-8,70121E-09	0	1,58193E-09	-7,92883E-09	0	3,11076E-09
4,04879E-10	0	-4,83907E-11	3,78347E-10	0	-1,13361E-10
0	6,75543E-11	0	0	6,75543E-11	0
-4,73157E-09	0	6,33258E-10	-4,39623E-09	0	1,40909E-09
u11	w11	fi11	u12	w12	fi12

Tab. B.34: Celková inverzní matice tuhosti 10,5

u13	w13	f13	u14	w14	f14
6,80769E-09	0	-1,52328E-08	2,7855E-09	0	-9,07823E-09
0	4,05326E-10	0	0	2,70217E-10	0
2,62766E-09	0	-3,40247E-09	1,44206E-09	0	-3,50427E-09
7,26779E-09	0	-1,58286E-08	3,03801E-09	0	-9,69183E-09
0	4,05326E-10	0	0	2,70217E-10	0
2,62766E-09	0	-3,40247E-09	1,44206E-09	0	-3,50427E-09
8,18588E-09	0	-1,70155E-08	3,54213E-09	0	-1,09162E-08
0	4,05326E-10	0	0	2,70217E-10	0
2,60948E-09	0	-3,36288E-09	1,43447E-09	0	-3,48003E-09
9,08884E-09	0	-1,81697E-08	4,0399E-09	0	-1,21204E-08
0	4,05326E-10	0	0	2,70217E-10	0
2,53448E-09	0	-3,20155E-09	1,40281E-09	0	-3,38E-09
9,94935E-09	0	-1,92334E-08	4,51964E-09	0	-1,3268E-08
0	4,05326E-10	0	0	2,70217E-10	0
2,35944E-09	0	-2,83049E-09	1,32814E-09	0	-3,14658E-09
1,07242E-08	0	-2,01168E-08	4,96261E-09	0	-1,43013E-08
0	4,05326E-10	0	0	2,70217E-10	0
2,03675E-09	0	-2,15615E-09	1,18904E-09	0	-2,71626E-09
1,13268E-08	0	-2,06779E-08	5,32582E-09	0	-1,5105E-08
0	4,05326E-10	0	0	2,70217E-10	0
1,54503E-09	0	-1,14229E-09	9,75044E-10	0	-2,06053E-09
1,17283E-08	0	-2,08272E-08	5,60106E-09	0	-1,56405E-08
0	4,05326E-10	0	0	2,70217E-10	0
8,20631E-10	0	3,31777E-10	6,56895E-10	0	-1,09452E-09
1,18418E-08	0	-2,03943E-08	5,7492E-09	0	-1,57918E-08
0	4,05326E-10	0	0	2,70217E-10	0
-1,92948E-10	0	2,36777E-09	2,07809E-10	0	2,57132E-10
1,15611E-08	0	-1,9175E-08	5,72196E-09	0	-1,54177E-08
0	4,05326E-10	0	0	2,70217E-10	0
-1,55348E-09	0	5,06673E-09	-4,00032E-10	0	2,07147E-09
1,07612E-08	0	-1,69321E-08	5,46175E-09	0	-1,43509E-08
0	4,05326E-10	0	0	2,70217E-10	0
-3,31832E-09	0	8,52562E-09	-1,19474E-09	0	4,42497E-09
9,29792E-09	0	-1,3397E-08	4,90166E-09	0	-1,23997E-08
0	4,05326E-10	0	0	2,70217E-10	0
-5,54218E-09	0	1,2833E-08	-2,20373E-09	0	7,39061E-09
7,00994E-09	0	-8,27423E-09	3,96596E-09	0	-9,34858E-09
0	4,05326E-10	0	0	2,70217E-10	0
-8,27423E-09	0	1,80631E-08	-3,4524E-09	0	1,10339E-08
3,96596E-09	0	-3,4524E-09	2,57101E-09	0	-4,96249E-09
0	2,70217E-10	0	0	2,70217E-10	0
-9,34858E-09	0	1,10339E-08	-4,96249E-09	0	1,54083E-08
1,20385E-09	0	-8,06654E-10	8,71906E-10	0	-1,19714E-09
0	1,35109E-10	0	0	1,35109E-10	0
-6,58628E-09	0	5,00944E-09	-4,54416E-09	0	7,31355E-09
3,27498E-10	0	-1,94601E-10	2,46613E-10	0	-2,93841E-10
0	6,75543E-11	0	0	6,75543E-11	0
-3,77077E-09	0	2,37759E-09	-2,78754E-09	0	3,55876E-09
u13	w13	f13	u14	w14	f14

Tab. B.35: Celková inverzní matice tuhosti 10,5

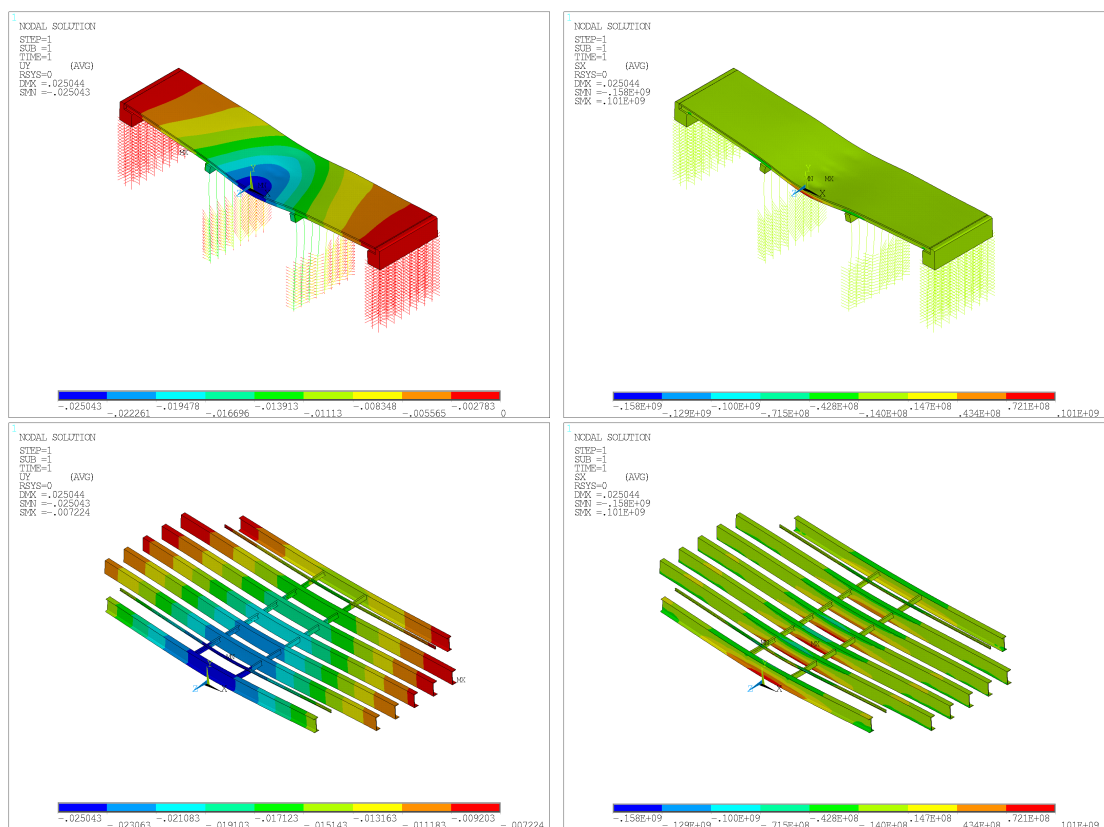
u15	w15	fi15	u16	w16	fi16	
6,36189E-10	0	-3,99783E-09	1,51519E-10	0	-1,8634E-09	u1
0	1,35109E-10	0	0	6,75543E-11	0	w1
4,28981E-10	0	-2,36858E-09	1,158E-10	0	-1,33827E-09	fi1
7,11304E-10	0	-4,41257E-09	1,71795E-10	0	-2,09773E-09	u2
0	1,35109E-10	0	0	6,75543E-11	0	w2
4,28981E-10	0	-2,36858E-09	1,158E-10	0	-1,33827E-09	fi2
8,61325E-10	0	-5,24075E-09	2,12298E-10	0	-2,56578E-09	u3
0	1,35109E-10	0	0	6,75543E-11	0	w3
4,27202E-10	0	-2,35755E-09	1,1537E-10	0	-1,33303E-09	fi3
1,00985E-09	0	-6,05968E-09	2,52438E-10	0	-3,0294E-09	u4
0	1,35109E-10	0	0	6,75543E-11	0	w4
4,19711E-10	0	-2,31133E-09	1,1355E-10	0	-1,31087E-09	fi4
1,15408E-09	0	-6,8522E-09	2,91531E-10	0	-3,4803E-09	u5
0	1,35109E-10	0	0	6,75543E-11	0	w5
4,01827E-10	0	-2,20167E-09	1,09177E-10	0	-1,25781E-09	fi5
1,28944E-09	0	-7,59056E-09	3,28449E-10	0	-3,90486E-09	u6
0	1,35109E-10	0	0	6,75543E-11	0	w6
3,68139E-10	0	-1,99627E-09	1,00892E-10	0	-1,15756E-09	fi6
1,40406E-09	0	-8,20685E-09	3,60081E-10	0	-4,26658E-09	u7
0	1,35109E-10	0	0	6,75543E-11	0	w7
3,15789E-10	0	-1,67872E-09	8,79482E-11	0	-1,00137E-09	fi7
1,49706E-09	0	-8,69228E-09	3,8635E-10	0	-4,56369E-09	u8
0	1,35109E-10	0	0	6,75543E-11	0	w8
2,37221E-10	0	-1,20438E-09	6,84279E-11	0	-7,664E-10	fi8
1,55851E-09	0	-8,98775E-09	4,04765E-10	0	-4,76636E-09	u9
0	1,35109E-10	0	0	6,75543E-11	0	w9
1,25323E-10	0	-5,31853E-10	4,05012E-11	0	-4,30993E-10	fi9
1,57607E-09	0	-9,02001E-09	4,12202E-10	0	-4,83732E-09	u10
0	1,35109E-10	0	0	6,75543E-11	0	w10
-2,73923E-11	0	3,82207E-10	2,22911E-12	0	2,77139E-11	fi10
1,53486E-09	0	-8,70121E-09	4,04879E-10	0	-4,73157E-09	u11
0	1,35109E-10	0	0	6,75543E-11	0	w11
-2,28609E-10	0	1,58193E-09	-4,83907E-11	0	6,33258E-10	fi11
1,41743E-09	0	-7,92883E-09	3,78347E-10	0	-4,39623E-09	u12
0	1,35109E-10	0	0	6,75543E-11	0	w12
-4,85951E-10	0	3,11076E-09	-1,13361E-10	0	1,40909E-09	fi12
1,20385E-09	0	-6,58628E-09	3,27498E-10	0	-3,77077E-09	u13
0	1,35109E-10	0	0	6,75543E-11	0	w13
-8,06654E-10	0	5,00944E-09	-1,94601E-10	0	2,37759E-09	fi13
8,71906E-10	0	-4,54416E-09	2,46613E-10	0	-2,78754E-09	u14
0	1,35109E-10	0	0	6,75543E-11	0	w14
-1,19714E-09	0	7,31355E-09	-2,93841E-10	0	3,55876E-09	fi14
3,97438E-10	0	-1,6625E-09	1,29448E-10	0	-1,37285E-09	u15
0	1,35109E-10	0	0	6,75543E-11	0	w15
-1,6625E-09	0	1,00504E-08	-4,12487E-10	0	4,96869E-09	fi15
1,29448E-10	0	-4,12487E-10	0	0	0	u16
0	6,75543E-11	0	0	0	0	w16
-1,37285E-09	0	4,96869E-09	0	0	0	fi16
u15	w15	fi15	u16	w16	fi16	

Tab. B.36: Výsledné deformace ODM + porovnání ANSYS 6,5

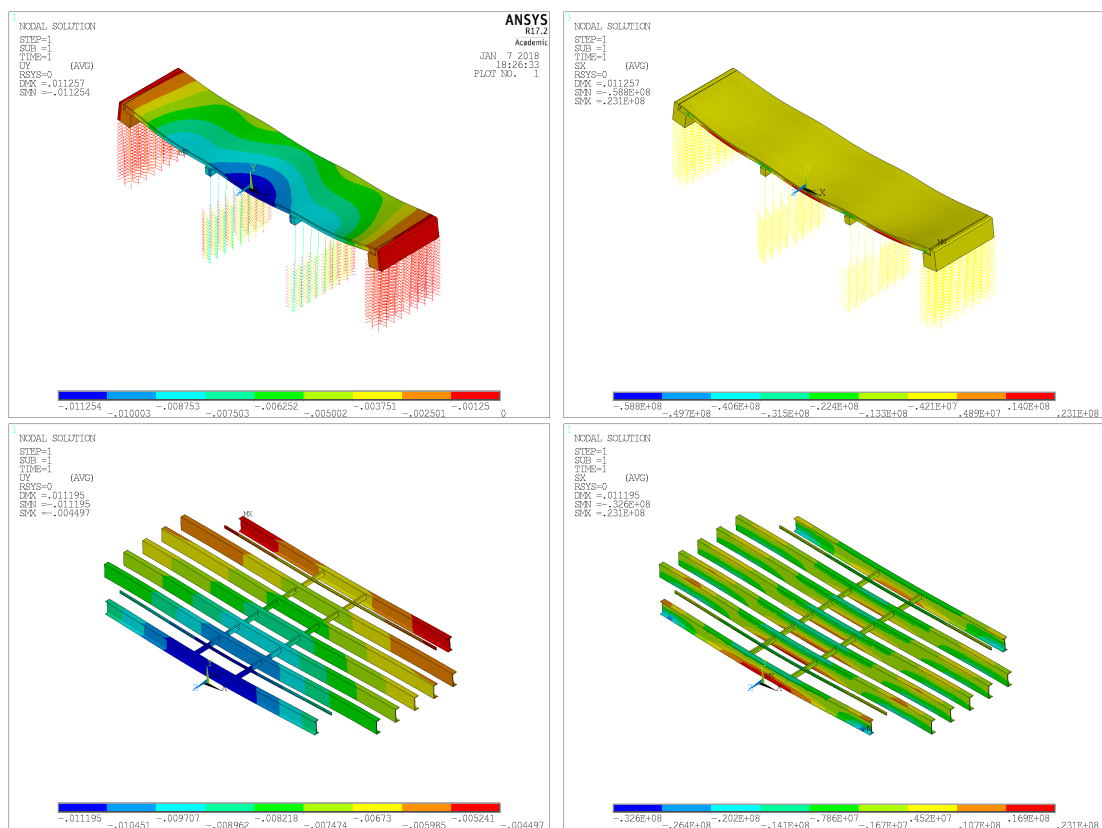
UZLOVÉ SÍLY	ODM	ANSYS	ROZDÍL	
300000	0,1278	0,1281	-3,18E-04	u1
500000	0,0010	0,0010	3,21E-05	w1
-400000	-0,0699	-0,0701	-1,83E-04	fi1
0	0,1158	0,1160	-2,22E-04	u2
0	0,0010	0,0009	3,21E-05	w2
0	-0,0669	-0,0671	-1,82E-04	fi2
0	0,0935	0,0936	-8,85E-05	u3
0	0,0009	0,0009	3,21E-05	w3
0	-0,0602	-0,0604	-1,83E-04	fi3
0	0,0737	0,0737	9,62E-06	u4
0	0,0008	0,0008	3,21E-05	w4
0	-0,0528	-0,0530	-1,85E-04	fi4
0	0,0566	0,0565	7,94E-05	u5
0	0,0007	0,0007	3,21E-05	w5
0	-0,0452	-0,0454	-1,89E-04	fi5
0	0,0421	0,0419	1,26E-04	u6
0	0,0007	0,0006	3,21E-05	w6
0	-0,0377	-0,0379	-1,93E-04	fi6
0	0,0306	0,0302	4,16E-04	u7
0	0,0006	0,0006	3,38E-05	w7
0	-0,0309	-0,0309	-3,09E-05	fi7
0	0,0214	0,0211	3,87E-04	u8
0	0,0005	0,0005	3,38E-05	w8
0	-0,0245	-0,0245	-4,62E-05	fi8
0	0,0142	0,0139	3,41E-04	u9
0	0,0005	0,0004	3,38E-05	w9
0	-0,0188	-0,0188	-5,93E-05	fi9
0	0,0089	0,0086	3,00E-04	u10
0	0,0004	0,0004	3,38E-05	w10
0	-0,0137	-0,0138	-6,67E-05	fi10
0	0,0050	0,0048	2,56E-04	u11
0	0,0003	0,0003	3,38E-05	w11
0	-0,0094	-0,0095	-6,95E-05	fi11
0	0,0025	0,0023	2,09E-04	u12
0	0,0003	0,0002	3,38E-05	w12
0	-0,0059	-0,0060	-6,47E-05	fi12
0	0,0010	0,0008	1,59E-04	u13
0	0,0002	0,0002	3,38E-05	w13
0	-0,0032	-0,0033	-5,13E-05	fi13
0	0,0003	0,0002	1,02E-04	u14
0	0,0001	0,0001	3,38E-05	w14
0	-0,0013	-0,0014	-2,88E-05	fi14
0	0,0000	0,0000	1,93E-06	u15
0	0,0001	0,0000	3,38E-05	w15
0	-0,0003	-0,0001	1,97E-04	fi15
0	0,0000	0,0000	8,64E-07	u16
0	0,0000	0,0000	3,38E-05	w16
0	0,0000	0,0000	2,37E-05	fi16

C STATICKÝ VÝPOČET

C.1 Posouzení plně sprážených ocelových nosníků



Obr. C.1: Deformace UY, normálové napětí ve směru x (zatížení KOMB.1 – TS)



Obr. C.2: Deformace UY, normálové napětí ve směru x (zatížení KOMB.2 – UDL)

C.1.1 Zatížení

Hodnota maximálního momentu $M_{z,I,U}$ $M_{Ed,z} = 2980 \text{ [kNm]}$

Hodnota maximální posouvající síly $V_{Ed,max,y,I,U}$ $V_{Ed,y} = 1049 \text{ [kN]}$

C.1.2 Ověření únosnosti

Materiálové charakteristiky

Ocel S 235 $f_{yk} = 235 \text{ [MPa]}$ $f_{yd} = 235 \text{ [MPa]}$

Průřezové charakteristiky

Plocha I profilu	$A_c = 0,0254 \text{ [m}^2\text{]}$
Plocha U profilu	$A_c = 0,0237 \text{ [m}^2\text{]}$
Plocha horní pásnice I profilu	$A_1 = 0,0067 \text{ [m}^2\text{]}$
Plocha horní pásnice U profilu	$A_1 = 0,0063 \text{ [m}^2\text{]}$
Moment setrvačnosti I profilu	$I_y = 0,00139 \text{ [m}^4\text{]}$
Moment setrvačnosti U profilu	$I_y = 0,00129 \text{ [m}^4\text{]}$
Elastický modul průřezu I profilu	$W_{el,y} = 0,00463 \text{ [m}^3\text{]}$
Elastický modul průřezu U profilu	$W_{el,y} = 0,00421 \text{ [m}^3\text{]}$
Plastický modul průřezu I profilu	$W_{pl,y} = 0,00545 \text{ [m}^3\text{]}$
Plastický modul průřezu U profilu	$W_{pl,y} = 0,00498 \text{ [m}^3\text{]}$
Tloušťka stojiny I profilu	$t_w = 0,0216 \text{ [m]}$
Tloušťka stojiny U profilu	$t_w = 0,02 \text{ [m]}$
Výška průřezu I profilu	$h_c = 0,6 \text{ [m]}$
Výška průřezu U profilu	$h_c = 0,6 \text{ [m]}$
Výška stojiny I profilu	$h_w = 0,538 \text{ [m]}$
Výška stojiny U profilu	$h_w = 0,537 \text{ [m]}$
Vzdálenost výztuh (největší)	$a = 2,17 \text{ [m]}$
Plocha ŽB desky	$A_d = 0,1124 \text{ [m}^2\text{]}$
Délka nosníku mezi podporami	$L = 10,95 \text{ [m]}$
Výška ŽB desky	$h_d = 0,12 \text{ [m]}$

Výpočet efektivní šířky

$$b_{eff} = \frac{L}{8}; \quad b_{eff,i} = \frac{b_{eff}}{2} \quad (C.1)$$

$$b_{eff} \text{ pro I profil} \quad b_{eff,n} = 1,369 \text{ [m]} \quad \text{z geometrie} \Rightarrow \quad b_{eff} = 0,965 \text{ [m]}$$

$$b_{eff,2} = 0,685 \text{ [m]}$$

$$\text{z AUTOCAD} \quad b_{eff,1} = 0,280 \text{ [m]}$$

$$b_{eff} \text{ pro U profil} \quad b_{eff} = 1,369 \text{ [m]}$$

$$b_{eff2} = 0,685 \text{ [m]}$$

$$b_{eff1} = 0,685 \text{ [m]}$$

Výpočet plastické osy

$$N_{a,i} = A_{a,i} \cdot f_{yd} \quad (C.2)$$

$$N_c = A_c \cdot 0,85 \cdot f_{cd} \quad (C.3)$$

$$A_c = b_{eff} \cdot h_c \quad (C.4)$$

$$\sum F_i = 0 \quad (C.5)$$

$$N_{a,celk} = \sum N_{a,i} \quad (C.6)$$

$$x_{pl} = \frac{N_{a,i}}{t_w \cdot f_{yd}} \quad (C.7)$$

Poloha x_{pl} pro I profil

$$\begin{aligned} N_{a,celk} &= 5969 \text{ [kN]} \\ N_c &= 584,7048 \text{ [kN]} \\ N_{a,1} &= 1574,5 \text{ [kN]} \\ N_{a,4} &= 1574,5 \text{ [kN]} \\ N_{a,3} + N_{a,2} &= 2820 \text{ [kN]} \\ N_{a,3} &= 1702,3524 \text{ [kN]} \\ N_{a,2} &= 1117,6476 \text{ [kN]} \\ x_{pl} &= 0,220182742 \text{ [m]} \end{aligned}$$

Poloha x_{pl} pro U profil

$$\begin{aligned} N_{a,celk} &= 5569,5 \text{ [kN]} \\ N_c &= 854,4285 \text{ [kN]} \\ N_{a,1} &= 1480,5 \text{ [kN]} \\ N_{a,4} &= 1480,5 \text{ [kN]} \\ N_{a,3} + N_{a,2} &= 2608,5 \text{ [kN]} \\ N_{a,3} &= 1731,46425 \text{ [kN]} \\ N_{a,2} &= 877,03575 \text{ [kN]} \\ x_{pl} &= 0,186603351 \text{ [m]} \end{aligned}$$

Posouzení na ohyb

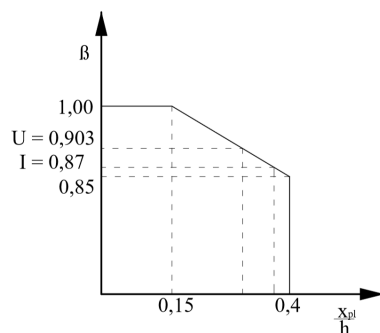
$$M_{pl,Rd} = \frac{\sum(N_{a,i} \cdot r_i)}{\gamma_{M1}} \quad (C.8)$$

Redukce únosnosti součinitelem β za podmínky:

$$\frac{x_{pl}}{h} > 0,15 \quad (C.9)$$

Pro I profil $\beta = 0,87$
 $M_{pl,Rd} = 1263,63 \text{ [kN/m]}$

Pro U profil $\beta = 0,90$
 $M_{pl,Rd} = 1297,65 \text{ [kN/m]}$



Obr. C.3: součinitel redukce únosnosti β

Posudek I profil $M_{pl,Rd} = 1263,63 \text{ [kN/m]} \cdot 0,8 \quad M_{pl,Rd} = 1010,90 \text{ [kN/m]}$
 $M_{Ed}/M_{pl,Rd} = 2,95 \quad \not\leq 1$

NEVYHOVUJE

Posudek U profil $M_{pl,Rd} = 1297,65 \text{ [kN/m]} \cdot 0,8 \quad M_{pl,Rd} = 1038,12 \text{ [kN/m]}$
 $M_{Ed}/M_{pl,Rd} = 2,87 \quad \not\leq 1$

NEVYHOVUJE

Posouzení smyk

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (\text{C.10})$$

$$k_\tau = 5,34 + 4 \cdot \left(\frac{h_w}{a}\right)^2 \quad (\text{C.11})$$

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{37,4 \cdot t_w \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\tau}} \quad (\text{C.12})$$

$$\chi_w = \frac{0,83}{\bar{\lambda}_w} \quad (\text{C.13})$$

$$V_{b,Rd} = \frac{\chi_w \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_{yd}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} \quad (\text{C.14})$$

Posudek I profil $k_\tau = 5,59$
 $\varepsilon = 1$
 $\bar{\lambda}_w = 0,28$
 $\chi_w = 2,94$
 $V_{b,Rd} = 4221,99 \text{ [kN]} \cdot 0,8 \quad V_{b,Rd} = 3377,59 \text{ [kN]}$
 $V_{Ed,max}/V_{b,Rd} = 0,31 < 1$

VYHOVUJE

Posudek U profil $k_{\tau} = 5,59$

$$\varepsilon = 1$$

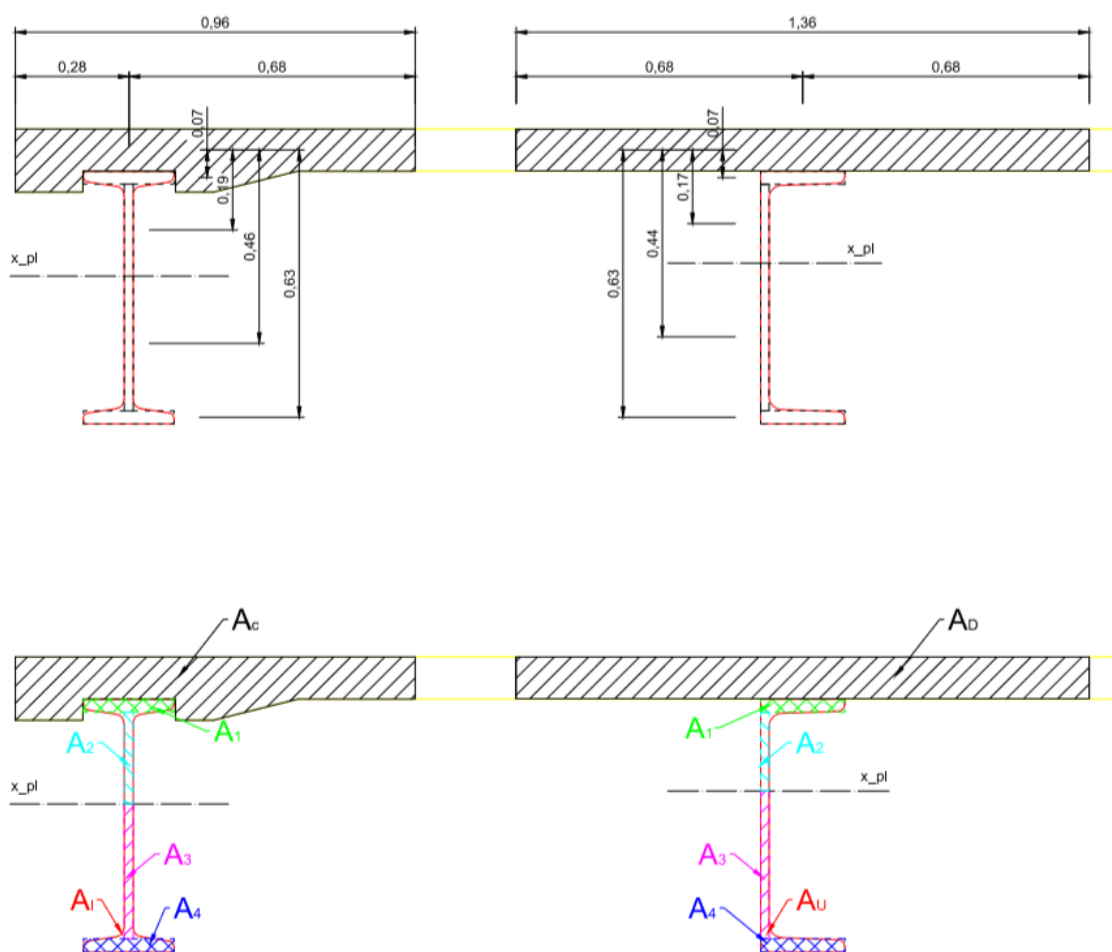
$$\bar{\lambda}_w = 0,30$$

$$\chi_w = 2,73$$

$$V_{b,Rd} = 3619,44 \text{ [kN]} \cdot 0,8 \quad V_{b,Rd} = 2895,55 \text{ [kN]}$$

$$V_{Ed,max}/V_{b,Rd} = 0,36 < 1$$

VYHOVUJE

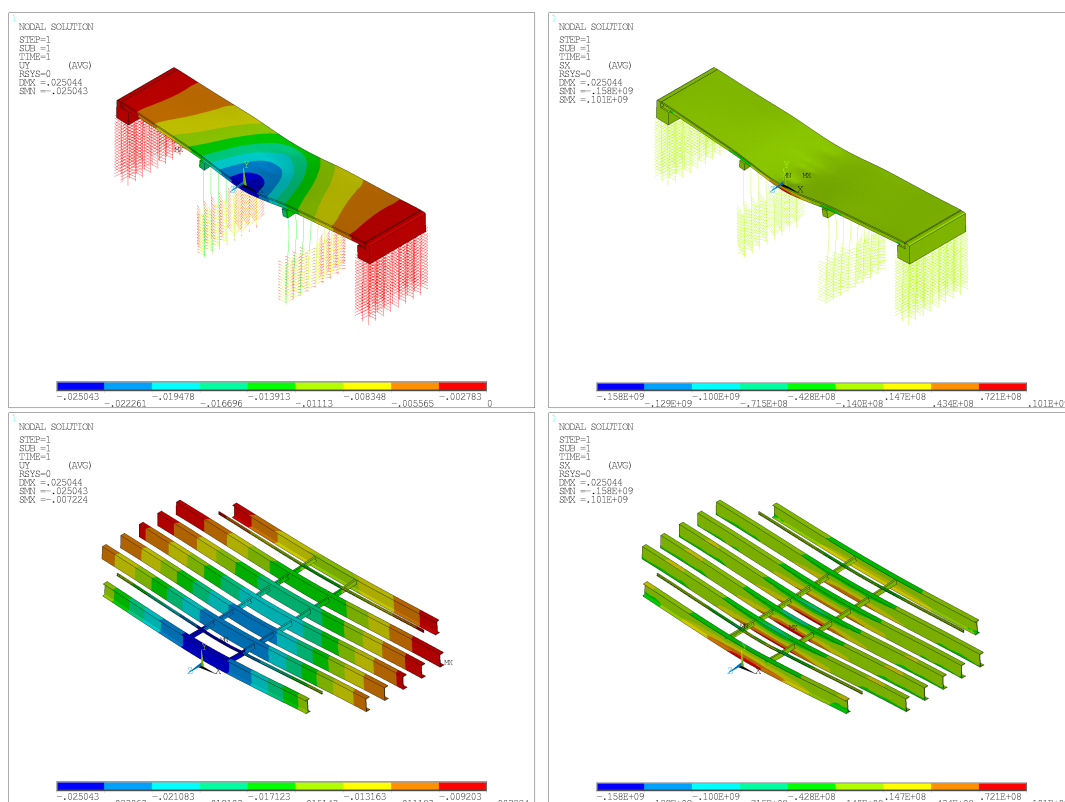


Obr. C.4: Plastická osa I 600, U 600 a rozdělení ploch

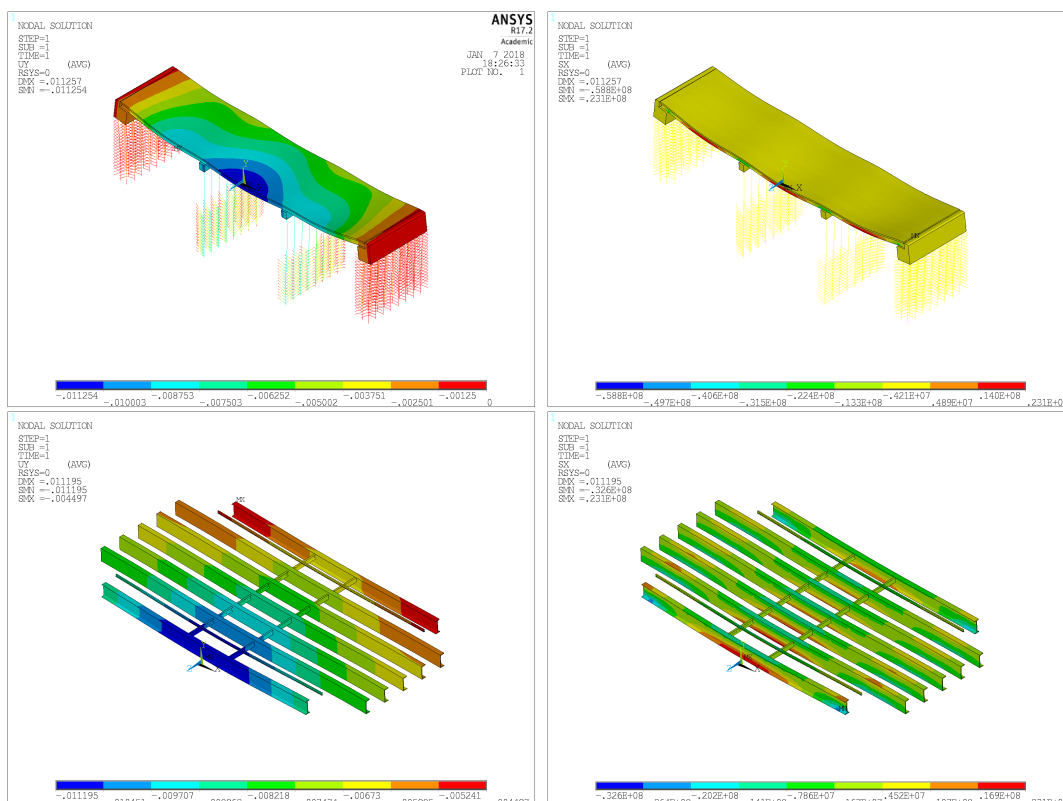
D STATICKÝ VÝPOČET, PŘÍPAD PORUŠE- NÉHO SPŘAŽENÍ

D.1 Posouzení železobetonové desky

Zde je uveden výpočet únosnosti železobetonové desky v případě nutnosti výměny poškozeného nebo zkorodovaného ocelového nosníku a v případě porušení plného spřažení s ocelovými profily. Hodnoty zatížení ve výpočtu jsou dosazeny z výsledků počítaných v této diplomové práci pro posouzení dle platných norem.



Obr. D.1: Deformace UY, normálové napětí ve směru x (zatížení KOMB. 1 – TS)



Obr. D.2: Deformace UY, normálové napětí ve směru x (zatížení KOMB.2 – UDL)

D.1.1 Zatížení

Hodnota maximálního momentu $M_{z,I,U}$ $M_{Ed,z} = 2980 \text{ [kNm]}$

Hodnota maximálního momentu $M_{z,deska}$ $M_{Ed,z} = 2910 \text{ [kNm]}$

Hodnota maximální posouvající síly $V_{Ed,max,y,I,U}$ $V_{Ed,y} = 1049 \text{ [kN]}$

D.1.2 Ověření únosnosti

Materiálové charakteristiky

Beton	C 10/12	$f_{ck} = 10,2 \text{ [MPa]}$	$f_{cd} = 6,12 \text{ [MPa]}$
		$f_{ctm} = 1,258 \text{ [MPa]}$	$f_c = 10 \text{ [MPa]}$
		$E_{cm} = 10,26 \text{ [MPa]}$	
		$\varepsilon_{cu3} = 3,5 \text{ ‰}$	
Ocel	R 10 512	$f_{yk} = 380 \text{ [MPa]}$	$f_{yd} = 330,43 \text{ [MPa]}$
	$\phi = 0,012 \text{ [mm]}$	$E_s = 200 \text{ [MPa]}$	
		$\varepsilon_{yd} = 1,652 \text{ ‰}$	

Krytí

$$c = 0,016 \text{ [m]}$$

$$d_1 = 0,034 \text{ [m]}$$

$$d = 0,086 \text{ [m]}$$

Potřebná plocha výztuže

$$A_{s,req} = b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}} \right) \quad (\text{D.1})$$

Vypočítaná plocha výztuže: $A_{s,req}$

Nelze vypočítat pro dané zatížení a danou výšku desky, předpoklad redistribuce do hlavní nosné konstrukce.

Stávající plocha výztuže: $A_s = 0,000707 \text{ [m}^2\text{]}$

NEVYHOVUJE

Je zde navržen ϕ R 12 po 160 [mm].

Ověření vyztužení

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} \quad (\text{D.2})$$

$$A_s \leq A_{s,max}; \quad A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c \quad (\text{D.3})$$

$$\rho_{st} = \frac{A_{s,prov}}{b \cdot d} < 1,0 \% \quad (\text{D.4})$$

Minimální plocha výztuže: $A_{s,min} = 7,4 \cdot 10^{-5} \text{ [m}^2\text{]}$

Maximální plocha výztuže: $A_{s,max} = 0,00344 \text{ [m}^2\text{]}$

Stupeň vyztužení: $\rho = 0,00822093 \text{ \%}$

VYHOVUJE

Poloha neutrální osy

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}} \quad (\text{D.5})$$

$$x = 0,04771597 \text{ [m]}$$

Ověření využití výztuže nad mezí kluzu

$$x_{bal,1} = \xi_{bal,1} \cdot d = \frac{|\varepsilon_{cu3}|}{|\varepsilon_{cu3}| + \varepsilon_{yd}} \cdot d \quad (D.6)$$

$$\varepsilon_s = \frac{|\varepsilon_{cu3}|}{x} (d - x) \quad (D.7)$$

Pomocí x_{bal} : $x_{bal} = 0,058421941 \text{ [m]}$

Přes mez přetvoření: $\varepsilon_s = 2,8081605 \text{ ‰}$

VYHOVUJE

Posouzení

$$z_c = \frac{h}{2} - \frac{\lambda \cdot x}{2} \quad (D.8)$$

$$z_s = d - \frac{h}{2} \quad (D.9)$$

$$F_c = \lambda \cdot x \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd} \quad (D.10)$$

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} \quad (D.11)$$

$$M_{Rd} = F_c \cdot z_c + F_s \cdot z_s \quad (D.12)$$

$$z_c = 0,041 \text{ [m]}$$

$$z_s = 0,026 \text{ [m]}$$

$$F_c = 233,62 \text{ [kN]}$$

$$F_s = 233,61 \text{ [kN]}$$

$$M_{Rd} = 15,63 \text{ [kN/m]} \cdot 0,8 \quad M_{Rd} = 12,51 \text{ [kN/m]}$$

$$M_{Ed}/M_{Rd} = 232 \quad \not\leq 1$$

NEVYHOVUJE

Návrh rozdělovací výztuže

$$A_{s,req} = 0,2 \cdot A_s \quad (D.13)$$

$$s_r \leq \min \left\{ \frac{3h}{400} \right\} \quad (D.14)$$

Vypočítaná plocha výztuže: $A_{sr,req} = 0,00014 \text{ [m}^2\text{]}$

Stávající plocha výztuže: $A_s = 0,00050 \text{ [m}^2\text{]}$

$s_r = 0,1 \text{ [m]}$

VYHOVUJE

Jsou zde navrženy třmínky $\phi R 8$ po 100 [mm] .

Únosnost betonu nad smykovou trhlinou

$$V_{Ed,1} = V_{Ed} - f_d \cdot (a + d) \quad (\text{D.15})$$

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_t \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \cdot b_w \cdot d \geq \nu_{min} \cdot b_w \cdot d \quad (\text{D.16})$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} \quad (\text{D.17})$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2 \quad (\text{D.18})$$

$$\rho_t = \frac{A_s}{b_w \cdot d} \quad (\text{D.19})$$

$$\nu_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} \quad (\text{D.20})$$

$$V_{Ed,1} = 1046,74 \text{ [kN]}$$

$$V_{Rd,c} = 41,93 \text{ [kN]} \quad \geq \quad 38,57 \text{ [kN]}$$

$$C_{Rd,c} = 0,12$$

$$k = 2,53 \quad \leq 2 \Rightarrow 2$$

$$\rho = 0,0082$$

$$\nu_{min} = 0,45$$

$$V_{Ed,1}/V_{Rd,c} = 24,96 \quad \not\leq 1$$

NEVYHOVUJE

Posouzení tlačené diagonály

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot \nu \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d \quad (\text{D.21})$$

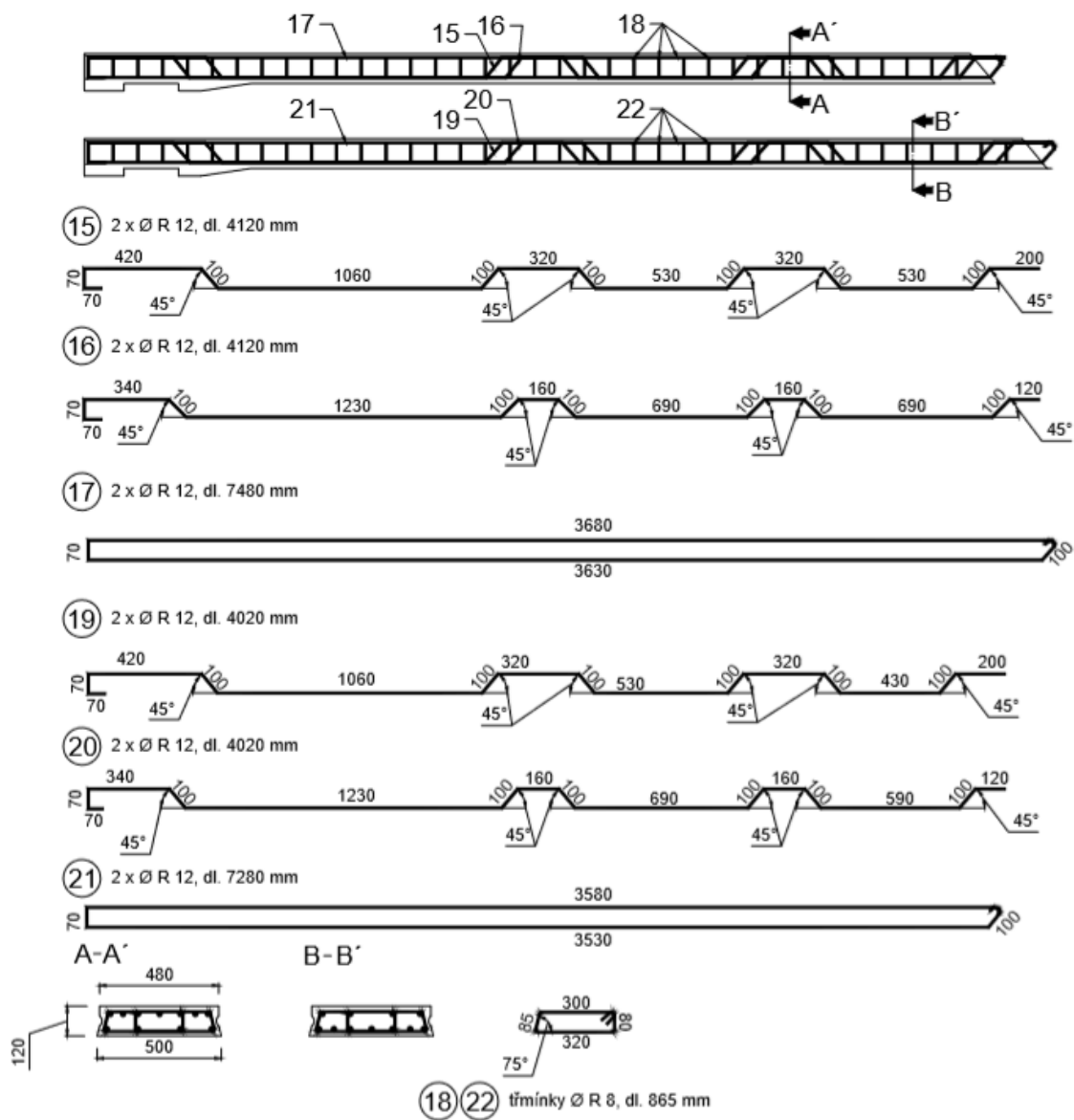
$$\nu = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \quad (\text{D.22})$$

$$V_{Rd,max} = 151,45 \text{ [kN]}$$

$$\nu = 0,58$$

$$V_{Ed}/V_{Rd,max} = 6,91 \quad \not\leq 1$$

NEVYHOVUJE



Obr. D.3: Schéma výztuže ŽB desek

D.2 Posouzení nosníků na ohyb

Hodnoty zatížení, průřezových a materiálových charakteristik jsou vypsány v Příloze C.

Posudek

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_{yd}}{\gamma_{M1}} \quad (D.23)$$

Posudek I profil	$M_{pl,Rd} = 1280,75 \text{ [kN/m]}$	$\cdot 0,8$	$M_{pl,Rd} = 1024,6 \text{ [kN/m]}$
	$M_{Ed}/M_{pl,Rd} = 2,9$	$\not\leq 1$	
Posudek U profil	$M_{pl,Rd} = 1169,13 \text{ [kN/m]}$	$\cdot 0,8$	$M_{pl,Rd} = 935,30 \text{ [kN/m]}$
	$M_{Ed}/M_{pl,Rd} = 3,1$	$\not\leq 1$	

NEVYHOVUJE

D.3 Závěr

Při poškození spřažení, případně chátrajícím stavu jakéhokoliv z nosníků, není možné, aby konstrukce dále fungovala bez dostatečného zajištění únosnosti na KOMB. 1.

E POSOUZENÍ JEDINÉHO VOZIDLA

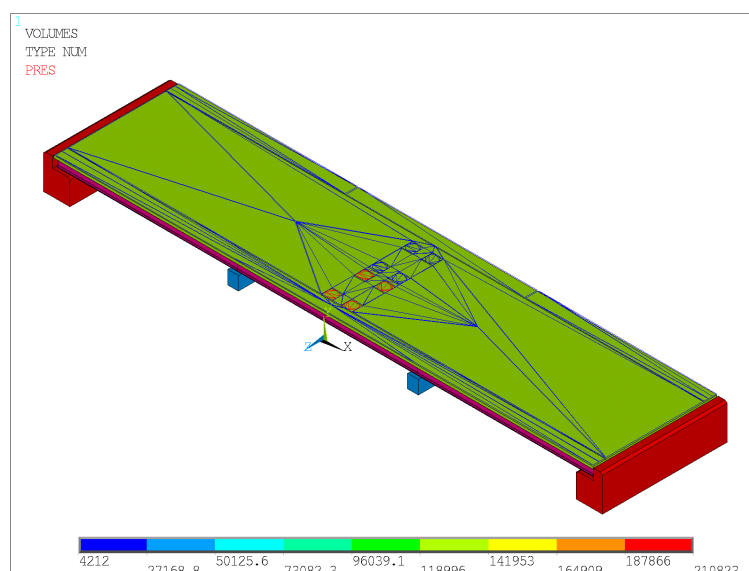
V této příloze bude konstrukce mostu posouzena na zatížení jediným vozidlem o tíze 24 t tj. 12 t na nápravu. Toto posouzení je zde uvedeno z důvodu nevyhovujících posouzení konstrukce dle současných norem. Ověřuje se zde jestli značka omezení hmotnosti vozidel je dostatečná pro současnou únosnost mostu.

Posouzení bude provedeno pro plně spřaženou konstrukci. Zatížení osamělým vozidlem bude aplikováno na plochy určené pro TS. Toto zjednodušení je na stranu bezpečnou.

E.1 Zatěžovací stav

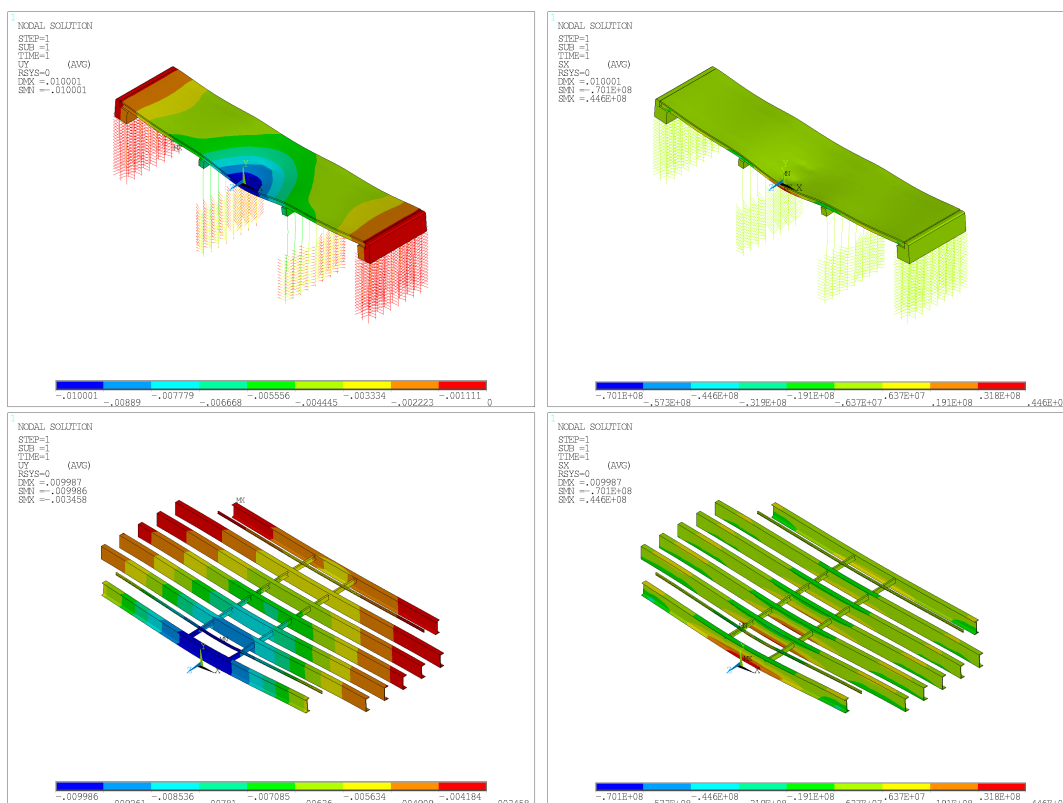
Tab. E.1: Aplikovaná zatížení na statický model, vozidlo 24 t

	Druh	Plocha [m ²]	ρ [kg/m ³]	g_d [kN/m ²]
Stálé	Vozovka	0,13	2400	4,21
	Římsa	0,276	2500	9,32
	Záchytná zařízení	—	—	3,38
		Plocha [m ²]	F/A	q_d [kN/m ²]
Proměnné	Samostatné vozidlo	0,4356	60/0,4356	206,60



Obr. E.1: Zatížení vozidlo 24 t

E.2 Zatížení



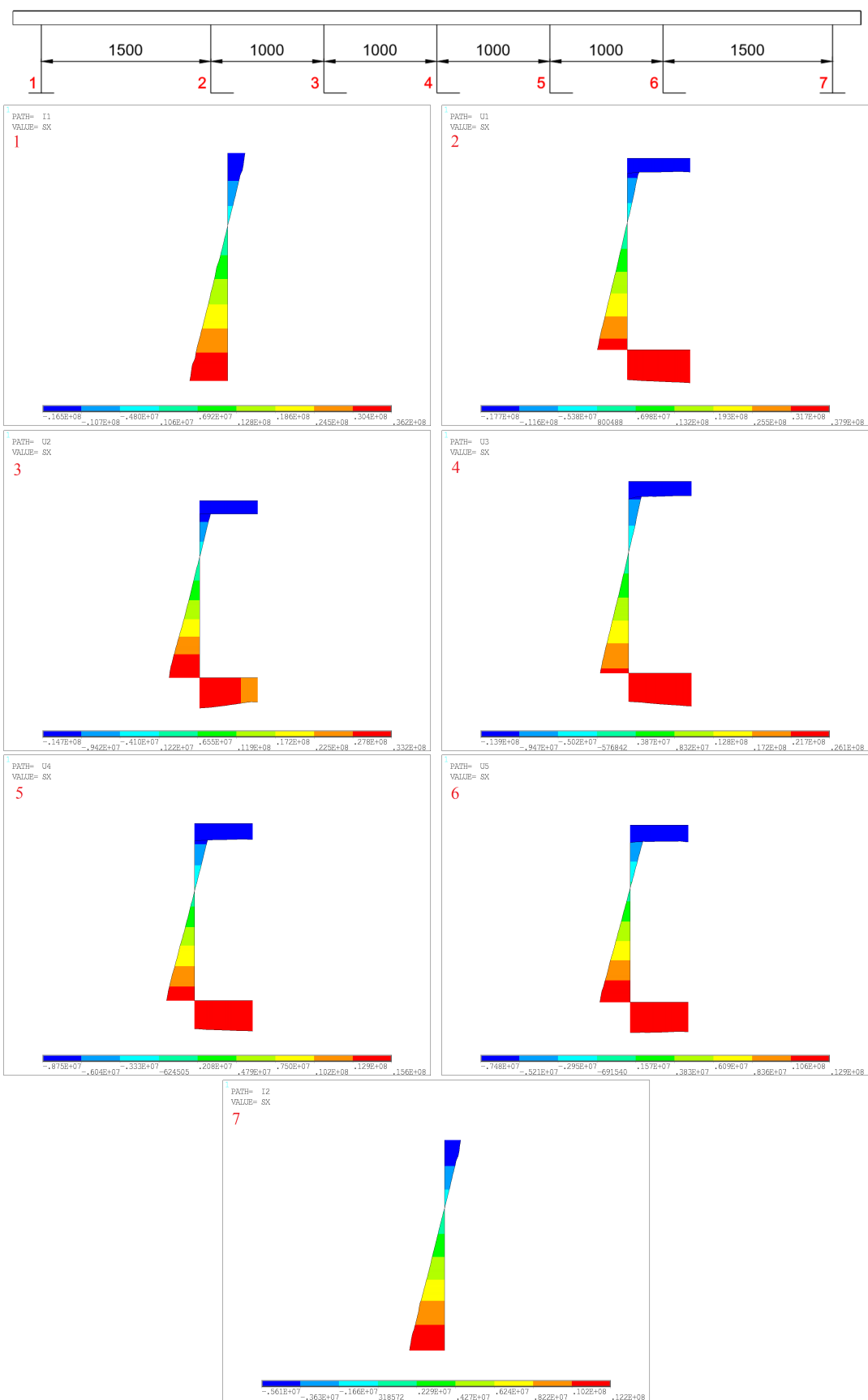
Obr. E.2: Deformace UY, normálové napětí ve směru x (zatížení osamělým vozidlem 24 t)

Hodnota maximálního momentu $M_{z,I,U}$

$$M_{Ed,z} = 1008 \text{ [kNm]}$$

Hodnota maximální posouvající síly $V_{Ed,max,y,I,U}$

$$V_{Ed,y} = 645,1 \text{ [kN]}$$



Obr. E.3: Normálové napětí ve směru x pro každý nosník

E.3 Posouzení

Všechny potřebné normativní vztahy jsou uvedeny v Příloze C.

E.3.1 Posudek na ohyb

$$\begin{array}{llll} \text{Posudek I profil} & M_{\text{pl,Rd}} = 1263,63 \text{ [kN/m]} & \cdot 0,8 & M_{\text{pl,Rd}} = 1010,90 \text{ [kN/m]} \\ & M_{\text{Ed}}/M_{\text{pl,Rd}} = 0,99 & & < 1 \end{array}$$

VYHOVUJE

$$\begin{array}{llll} \text{Posudek U profil} & M_{\text{pl,Rd}} = 1297,65 \text{ [kN/m]} & \cdot 0,8 & M_{\text{pl,Rd}} = 1038,12 \text{ [kN/m]} \\ & M_{\text{Ed}}/M_{\text{pl,Rd}} = 0,97 & & < 1 \end{array}$$

VYHOVUJE

E.3.2 Posudek na smyk

$$\begin{array}{llll} \text{Posudek I profil} & V_{\text{b,Rd}} = 4221,99 \text{ [kN]} & \cdot 0,8 & V_{\text{b,Rd}} = 3377,59 \text{ [kN]} \\ & V_{\text{Ed,max}}/V_{\text{b,Rd}} = 0,19 & & < 1 \end{array}$$

VYHOVUJE

$$\begin{array}{llll} \text{Posudek U profil} & V_{\text{b,Rd}} = 3619,44 \text{ [kN]} & \cdot 0,8 & V_{\text{b,Rd}} = 2895,55 \text{ [kN]} \\ & V_{\text{Ed,max}}/V_{\text{b,Rd}} = 0,22 & & < 1 \end{array}$$

VYHOVUJE

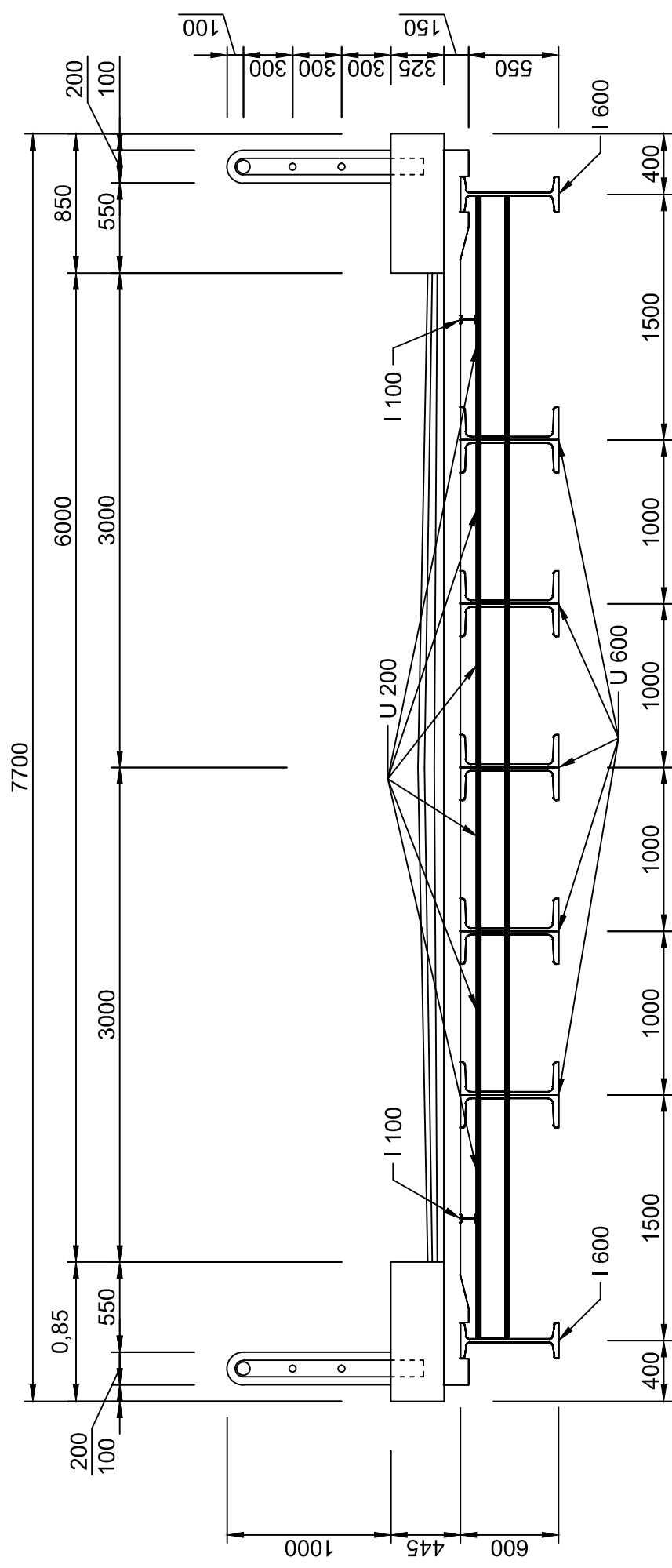
E.4 Závěr

Při zatížení konstrukce osamělým vozidlem, konstrukce vyhoví. Tudíž značka omezující hmotnost je stále platná a není ji nutno měnit. Konstrukce je však při takovémto zatížení využita téměř na hranici své únosnosti, proto by bylo dobré v budoucnu zvážit rekonstrukci, případně dále snížit hranici pro tíhu vozidel na mostě.

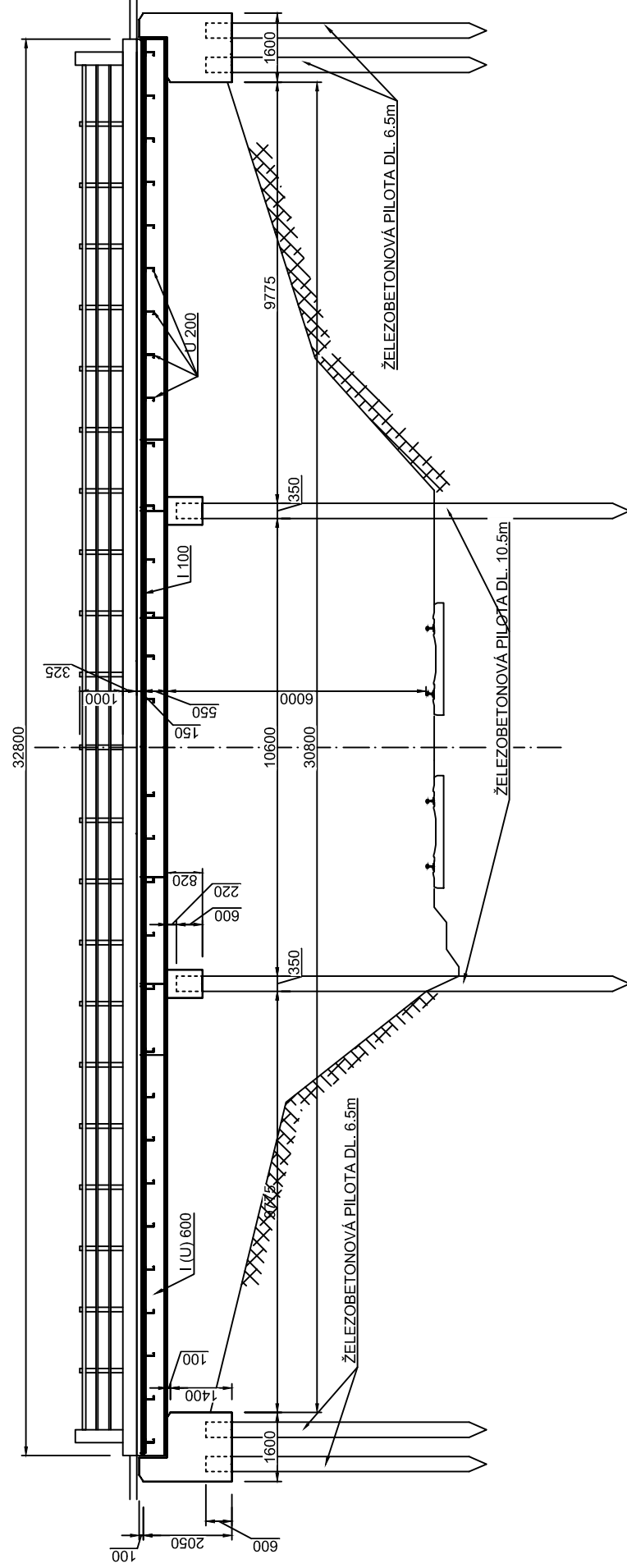
F SCHÉMATA V PLNÉM ROZLIŠENÍ

Schémata, obrázky uvedené v textu v lepším rozlišení.

PŘÍČNÝ ŘEZ KONSTRUKCÍ MOSTU



PODÉLNÝ ŘEZ KONSTRUKCÍ MOSTU



PŮDORYS KONSTRUKCE MOSTU

