

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STAVEBNÍ**



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

2022

STANISLAV MAŠEK

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Mašek** Jméno: **Stanislav** Osobní číslo: **477522**
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra betonových a zděných konstrukcí**
Studijní program: **Stavební inženýrství**
Studijní obor: **Konstrukce a dopravní stavby**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Studie vlivu šikmosti na návrh integrovaného mostu

Název bakalářské práce anglicky:

Study of skewness influence on integral bridge design

Pokyny pro vypracování:

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Michal Drahorád, Ph.D. katedra betonových a zděných konstrukcí FSv

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **21.02.2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **22.05.2022**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

Ing. Michal Drahorád, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Jiří Máca, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Studie vlivu šikmosti na návrh integrovaného mostu** zpracoval samostatně za použití uvedené literatury a pramenů a za odborného vedení bakalářské práce Ing. Michala Drahoráda, PhD.

Dále prohlašuji, že nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 12. 5. 2022

Stanislav Mašek

Poděkování

Rád bych poděkoval panu Ing. Michalovi Drahorádovi, PhD. za jeho trpělivost, ochotu konzultovat kdykoliv to bylo jen možné, kvalitu poskytnutých rad a za předání cenných zkušeností a postřehů v oblasti projektování betonových mostů.

Poděkování patří také mé rodině a přítelkyni, kteří mi během studia byli vždy oporou a měli se mnou dostatek trpělivosti.

**Studie vlivu šikmosti na návrh
integrovaného mostu**

Study of skewness influence on integral
bridge design

Anotace

Předmětem bakalářské práce je na základě šikmosti integrovaného mostu vyhodnotit vzniklé vnitřní síly a rozšířit si tím znalosti v oblasti chování konstrukcí.

V rámci bakalářské práce bylo vytvořeno pět výpočetních modelů v programu SCIA Engineer s totožným konstrukčním řešením mostu, každý s jinou šikmostí. Bakalářská práce obsahuje část teorie, praktickou část a vyhodnocení.

Klíčová slova

Integrovaný most, šikmost, výpočetní model, vyhodnocení, vliv šikmosti.

Summary

The subject of the bachelor's thesis is based on the skewness of the integral bridge to evaluate the generated internal forces and thus expand knowledge in the field of structural behavior.

As part of the bachelor's thesis, five computational models were created in the SCIA Engineer program with the same bridge design, each with a different skewness. The bachelor's thesis contains a part of theory, practical part and evaluation.

Key words

Integral bridge, skewness, computational model, evaluation, skewness influence.

Seznam příloh

1. Vzorový příčný řez

Obsah

1.	Úvod.....	11
2.	Popis mostu.....	12
2.1	Základní pojmy.....	12
2.2	Popis konstrukčního řešení a geometrie.....	14
3.	Zatížení mostu.....	15
3.1	Stálé zatížení.....	15
3.1.1	Vlastní tíha.....	15
3.1.2	Ostatní stálé.....	15
3.2	Proměnné zatížení.....	16
3.2.1	Proměnné zatížení dopravou.....	16
3.2.2	Proměnné zatížení teplotou.....	18
3.3	Zatížení zemním tlakem.....	20
3.3.1	Zemní tlak v klidu.....	20
3.3.2	Aktivní zemní tlak.....	21
3.3.3	Pasivní zemní tlak.....	22
4	Kombinace zatížení.....	23
5	Popis výpočetních modelů.....	24
5.1	Základní prvky mostu.....	24
5.2	Podpory.....	26
6	Vyhodnocení vnitřních sil.....	27
6.1	Vyhodnocení normálových sil N	28
6.2	Vyhodnocení posouvajících sil V_y	33
6.3	Vyhodnocení posouvajících sil V_z	36
6.4	Vyhodnocení momentů M_x	42
6.5	Vyhodnocení momentů M_y	45
6.6	Vyhodnocení momentů M_z	51

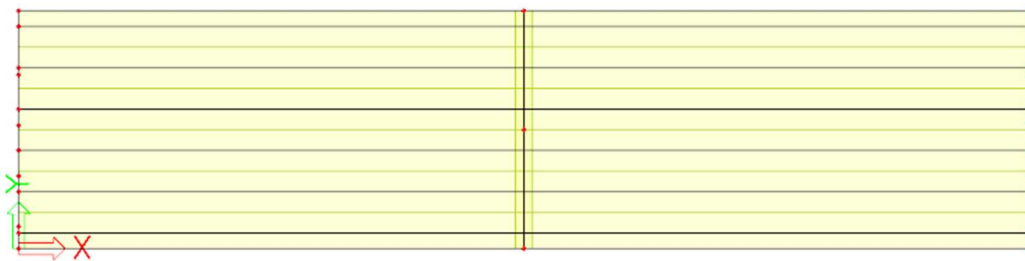
7	Závěr	55
---	-------------	----

1. Úvod

Bakalářskou práci na téma Studie vlivu šikmosti na návrh integrovaného mostu jsem si zvolil z důvodu toho, že integrované mosty jsou v dnešní době velice oblíbenými konstrukcemi. Pro případné investory je to velice výhodné, jelikož integrované mosty nemají mostní závěry a mostní ložiska, jsou ve své podstatě skoro bezúdržbové, což se projeví kladně na údržbových nákladech v rámci životnosti mostu.

V rámci této práce jsem vytvořil pět výpočetních modelů v programu SCIA Enginner totožného mostu, avšak každý s jinou šikmostí (90° , 75° , 60° , 45° , 30°).

Hlavním cílem této práce je tedy porovnání vzniklých vnitřních sil vlivem šikmosti. V každém výpočetním modelu je namodelováno stejné zatížení a stejné konstrukční řešení mostu, rozdíl mezi vnitřními silami je tedy čistě jen vlivem šikmosti.



Obr.1.1: Půdorys modelu o šikmosti 90° [vlastní tvorba]

2. Popis mostu

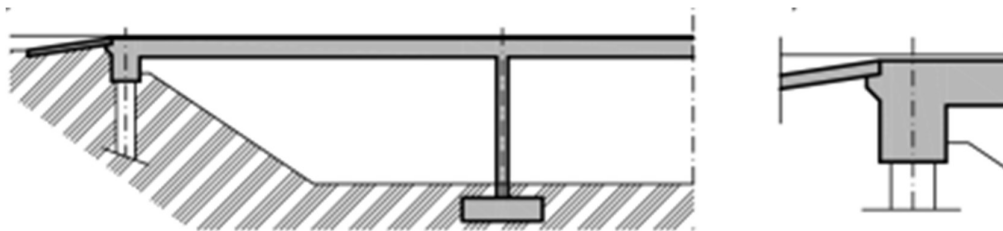
Navrhovaný most se nachází v intravilánu, návrhová kategorie převáděné silnice je S11,5/90.

V rámci popisu konstrukčního řešení navrženého mostu je nejprve potřeba vysvětlit některé základní pojmy, které se budou v popisu nacházet. Tyto pojmy se pokusím vysvětlit v následující podkapitole.

2.1 Základní pojmy

Most je mostní objekt nebo jeho část, která má kolmou světlost větší než 2 m. Slouží k převedení dopravních cest, vodních koryt nebo i jen ke stavebně montážním účelům. Most je tvořen jednou nebo více nosnými konstrukcemi, spodní stavbou, mostním svrškem, mostním vybavením a přidruženými částmi jako jsou například opěrné zdi.

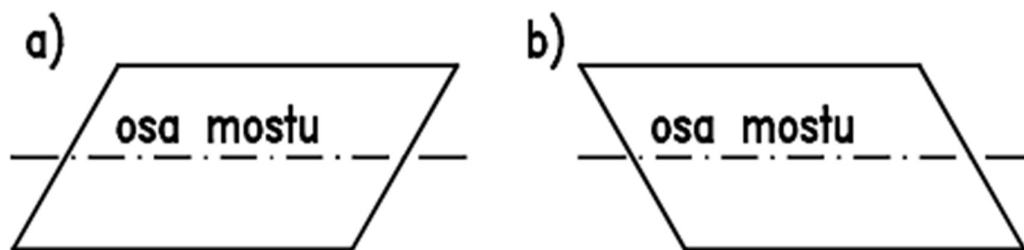
Integrovaný most je definován jako most, jehož nosná konstrukce spolupůsobí s jeho spodní stavbou a je ovlivňována zemním tělesem, které se nachází v přechodové oblasti. Nosná konstrukce je trvale propojena neposuvně se spodní stavbou a v tomto důsledku na mostě nejsou provedena ložiska a mostní závěry.



Obr.2.1: Příklad podélného řezu integrovaného mostu [9]

Trámový most je typ mostu, jehož hlavní nosná konstrukce je tvořena z trámů, které působí převážně v podélném směru a z mostovkové desky.

Šikmost mostu je pojem, který na základě půdorysného uspořádání rozeznává most kolmý a šikmý. Kolmý most má všechny úložné úhly rovny 90° . O šikmý most se tedy jedná v případě, pokud se alespoň jeden z úložných úhlů nerovná úhlu pravému. V rámci šikmosti se rozeznává šikmost levá a pravá viz Obr.2.2.



Obr.2.2: Šikmost mostu (a-levá; b-pravá) [11]

Šikmost mostu má mnoho dopadů na chování celé konstrukce, především má za následek nadlehčování ostrých rohů, kvůli kterým může přispět ke vzniku kladných tahových reakcí v jejich místě. V místech tupých rohů dochází naopak k jejich přitěžování.

Nosná konstrukce mostu je ta část mostu, která přenáší účinky zatížení z mostního svršku do spodní stavby mostu. Součástí nosné konstrukce je hlavní nosná konstrukce, která je ukládána na podpěry, dále do součástí patří také mostovka, ztužení, ložiska a mostní závěry.

Spodní stavba mostu je část mostu, kterou tvoří základy, podpěry, kotevní bloky, závěrné zdi a mostní křídla.

Mostní svršek je část mostu, která je přímo nebo nepřímo uložená na nosnou konstrukci mostu a jeho složení závisí na druhu převáděné dopravní cesty.

Mostní vybavení je soubor zařízení, kterými se most vybavuje hlavně kvůli zvýšení bezpečnosti jeho uživatelů, k usnadnění mostních prohlídek a údržby, a tedy k prodloužení jeho životnosti. Mezi jeho součásti patří záchytné bezpečnostní vybavení, odpadní zařízení, zábrany a osvětlovací či revizní zařízení.

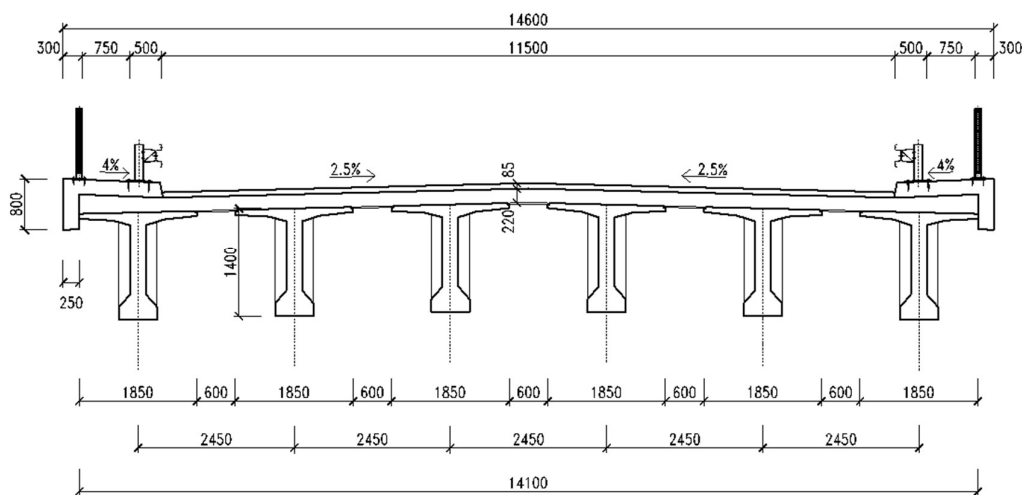


Obr.2.3: Základní části mostu [11]

2.2 Popis konstrukčního řešení a geometrie

Pro bakalářskou práci jsem si zvolil integrovaný trémový most o dvou polích. Každé mostní pole má rozpětí 30 m. Hlavní nosná konstrukce je tvořena šesti předem předpjatými tyčovými prefabrikáty typu SMP – Petra v osové vzdálenosti 2,45 m a výšky 1,4 m z betonu C45/55 a spřaženou monolitickou deskou výšky 0,22 m z betonu C30/37. Prefabrikované nosníky jsou na obou svých koncích vetknuty do podpěr, resp. na jedné straně do opěry a na druhé straně jsou zmonolitněny společně s příčnickem a pilířem. Záporné ohybové momenty nad pilířem budou vykryty betonářskou výztuží, nebude použit kabel spojitosti, každý nosník je předepnut samostatně, a proto jsem v této práci výpočet předpětí neuvažoval.

Příčné uspořádání na mostě a šířka mostu vyplývá z kategoriální šířky převáděné vozovky která je S11,5/90. Vzhledem k tomu, že most je delší než 50 m jsem na obou stranách mostu navrhl revizní chodník se šířkou 0,75 m.



Obr.2.4.: Příčné uspořádání mostu [vlastní tvorba]

Geometrii opěr a pilířů jsem v rámci této práce navrhl odhadem. Délka opěr a příčnicku nad pilířem vyplývá ze šířky nosné konstrukce, šířku opěr a pilíře s příčnickem jsem odhadl. Vzhledem ke snaze rámového působení celé konstrukce jsem opěry navrhl široké 0,8m, šířku příčnicku a pilíře jsem odhadl 1 m. Výška opěr a pilíře je 5,5 m, výšku příčnicku jsem zvolil na základě výšky prefabrikovaných nosníků a připočetl malou rezervu ve spodní části nosníků, celkem je tedy příčník vysoký 1,8 m.

3. Zatížení mostu

Zatížení mostu jsem pro své potřeby vyhodnocování vnitřních sil pojal konzervativně, zanedbal jsem reologické vlivy jako je smršťování a dotvarování, dále jsem zanedbal poklesy podpor a zatížení teplotou jsem uvažoval pouze rovnoměrné na celé konstrukci.

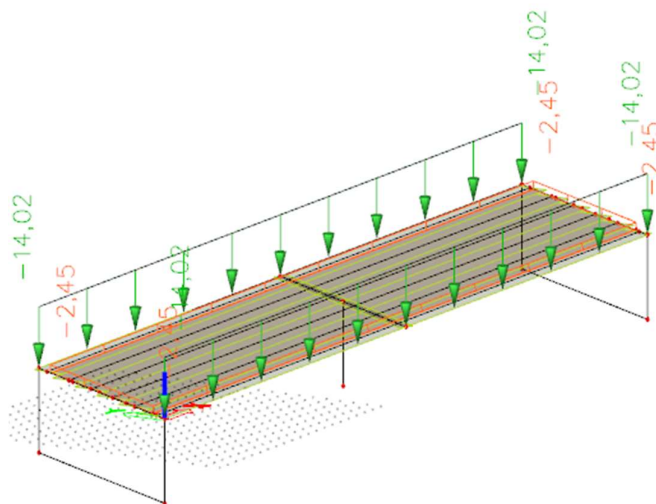
3.1 Stálé zatížení

3.1.1 Vlastní tíha

Vlastní tíhu konstrukce počítá SCIA Engineer sama.

3.1.2 Ostatní stálé

Římsa	A [m ²]	0,501
	f _k [kN/m]	12,519
	svodidlo a zábradlí – odhad [kN/m]	1,500
	<u>CELKEM SVISLÉ</u>	<u>14,019</u>
Hydroizolace	tloušťka vrstvy [m]	0,005
	<u>f_k [kN/m²]</u>	<u>0,120</u>
Asfaltové vrstvy	tloušťka vrstev [m]	0,080
	rezerva 20% tloušťky	
	tloušťka s rezervou [m]	0,096
	f _k [kN/m ²]	2,304
	<u>CELKEM PLOŠNÉ</u>	<u>2,424</u>



Obr.3.1: Ostatní stálé zatížení – šikmost 60° [vlastní tvorba]

Zatížení římsou, svodidlem a zábradlím je v modelu namodelováno na každé straně jako liniové zatížení na hraně plochy, zatížení vozovkovým souvrstvím je modelováno jako volné plošné zatížení.

3.2 Proměnné zatížení

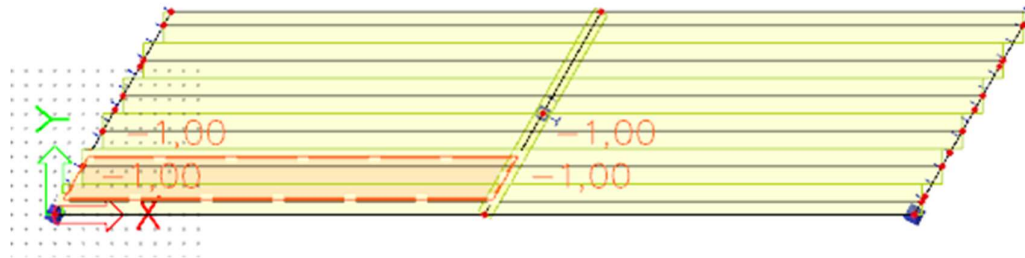
3.2.1 Proměnné zatížení dopravou

Dle ČSN EN 1991-2 ed. 2 (12/2018) Zatížení mostů dopravou [4], bylo uvažováno pro skupinu pozemních komunikací 1 model zatížení LM1.

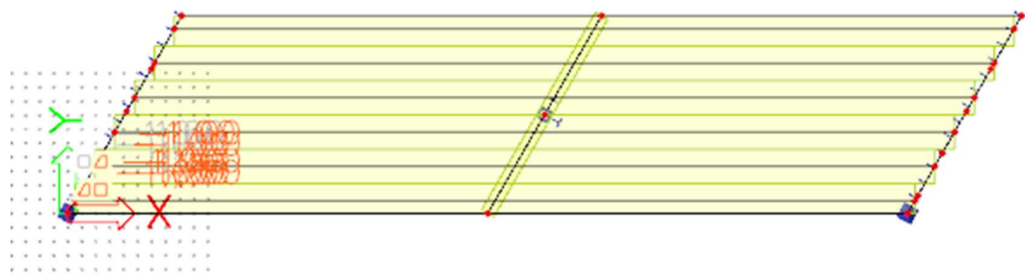
Skupina pozemních komunikací	1
Rozpětí polí	30 m
Průjezdná šířka	11,5 m
Počet zatěžovacích pruhů	3
Šířka zatěžovacích pruhů	w1= 3 m
	w2= 3 m
	w3= 3 m
zbývající plocha	w4= 2,5 m
Svislé síly:	
Nápravy TS pruh 1	600 kN
Nápravy TS pruh 2	400 kN
Nápravy TS pruh 3	200 kN
	Celkem: 1200 kN
Rovnoměrné zatížení UDL pruh 1	9 kN/m
Rovnoměrné zatížení UDL pruh 2	6 kN/m
Rovnoměrné zatížení UDL pruh 3	3 kN/m
Rovnoměrné zatížení UDL zbývající plochy	3 kN/m

Pro zjednodušení výpočetních modelů jsem šířku zbývající plochy uvažoval jako 3 m místo skutečné plochy 2,5 m, toto umělé navýšení slouží hlavně při kombinování zatížení, pro účely výpočetního modelu mi to značně snížilo počet kombinací a tím i pracnost celého modelu. Umělé navýšení je však na straně bezpečné. Rovnoměrné zatížení UDL pro model LM1 jsem v modelu definoval jako volné plošné zatížení vždy pro jednotlivé pole a jednotlivý pruh, při 2 polích a 4 pruzích jsem tedy definoval celkem 8 rovnoměrných zatížení UDL. Zatížení nápravami pro model LM1 jsem stanovil pomocí

pojezdů zatěžovacích soustav, krok pojezdu jsem zvolil 2 m. Zatížení UDL i zatížení od dvounápravy TS jsem v modelu stanovil jako jednotkové, později při vytváření kombinací zatěžovacích stavů jsem pomocí aktivních součinitelů toto zatížení definoval.



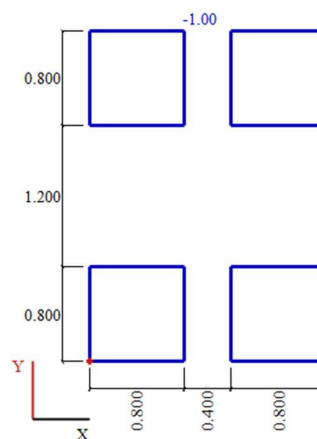
Obr.3.2: Rovnoměrné zatížení UDL pro model LM1-pole 1 pruh 1 - šikmost 60° [vlastní tvorba]



Obr.3.3: Zatížení dvounápravou TS pro model LM1-pruh 1 – šikmost 60° [vlastní tvorba]

Šablonu pro zatížení dvounápravou TS pro model LM1 jsem vytvořil pro působení ve střednici desky tzn., že ze základního rozměru 0,4 x 0,4 m jsem vytvořil pod roznášecím úhlem 45° a při tloušťce desky 0,22 m a tloušťce vozovky 0,085 m plochu odpovídající zaokrouhleně 0,8 x 0,8 m.

Hodnotu 0,8 m jsem stanovil následovně: $0,4 + 2 \times (0,22/2 + 0,085) = 0,79$ m, hodnotu jsem konzervativně zaokrouhlil na 0,8 m.

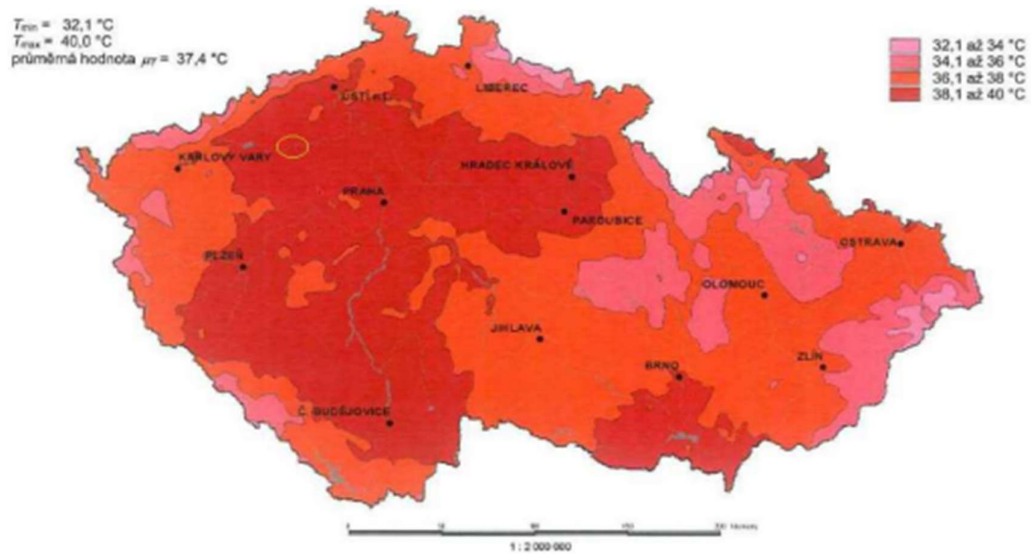


Obr.3.4: Šablona pro zatížení dvounápravou TS pro model LM1 [vlastní tvorba]

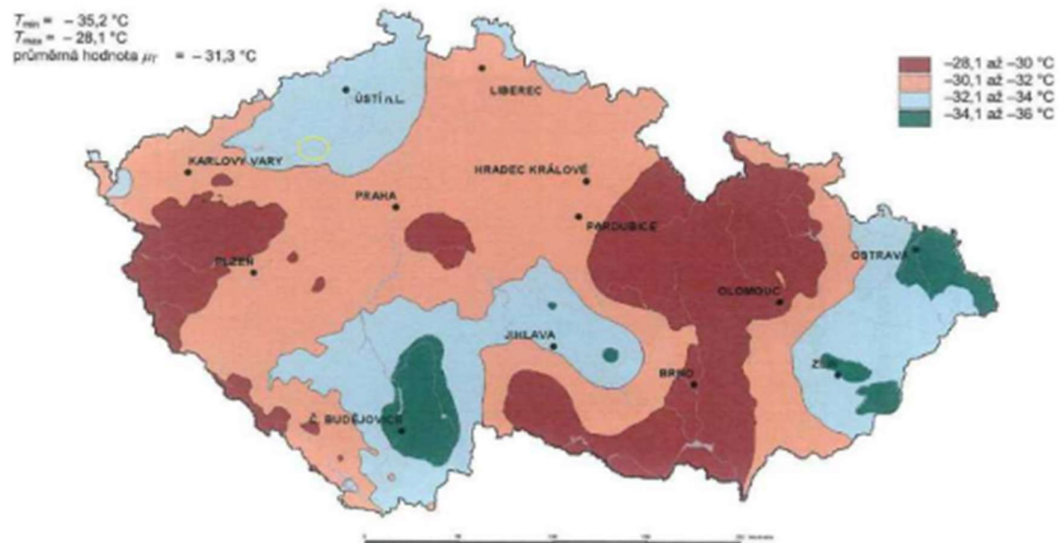
3.2.2 Proměnné zatížení teplotou

Zatížení bylo uvažováno dle ČSN EN 1991-1-5 Zatížení teplotou [3]. V rámci této práce jsem zanedbal nerovnoměrnou složku teploty a je tedy uvažována pouze rovnoměrná složka teploty.

Pro výpočet rovnoměrné složky teploty jsem maximální a minimální hodnoty teplot ve stínu odečetl z teplotních map dle ČSN EN 1991-1-5 [3]. Lokalitu mostu jsem zvolil v Žatci, což je v Ústeckém kraji. Stanovené hodnoty teplot jsem určil jako $T_{\max} = 39\text{ °C}$ a $T_{\min} = -31\text{ °C}$.



Obr.3.5: Mapa maximálních teplot ve stínu [3]



Obr.3.6: Mapa minimálních teplot ve stínu [3]

Dle ČSN EN 1991-1-5 Zatížení teplotou [3] se v tomto případě jedná o 3. typ nosné konstrukce (betonová nosná konstrukce). Maximální a minimální rovnoměrné složky teploty $T_{e,max}$ a $T_{e,min}$ jsem určil z následujících vztahů.

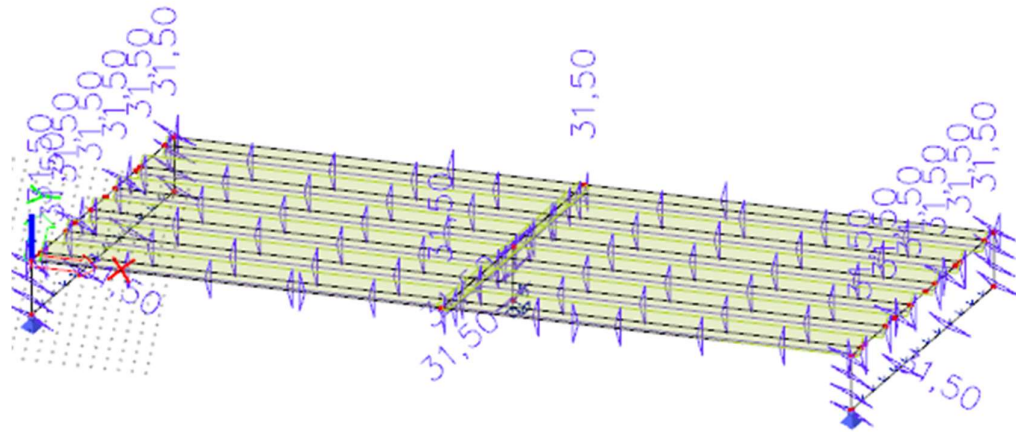
$$T_{e,max} = T_{max} + 1,5 \text{ °C} = 41,5 \text{ °C}$$

$$T_{e,min} = T_{min} + 8 \text{ °C} = -23 \text{ °C}$$

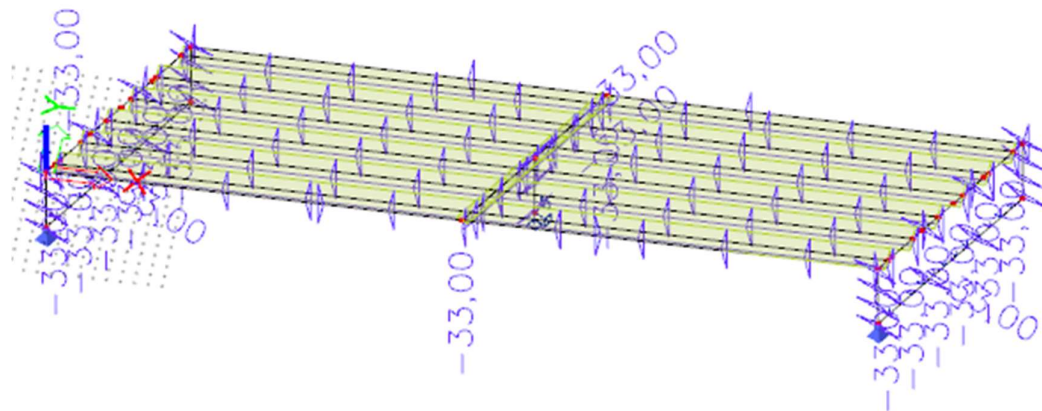
Výchozí teplota mostu T_0 v čase, kdy byla mostní konstrukce budována, jsem uvažoval jako $T_0 = 10 \text{ °C}$. Charakteristickou teplotu maximálního rozsahu rovnoměrné složky teploty pro výpočet prodloužení a zkrácení mostu jsem určil z následujících vztahů:

$$\Delta T_{N,exp} = T_{e,max} - T_0 = 31,5 \text{ °C}$$

$$\Delta T_{N,con} = T_0 - T_{e,min} = -33 \text{ °C}$$



Obr.3.7: Oteplení celého mostu-šikmost 60° [vlastní tvorba]



Obr.3.8: Ochlazení celého mostu-šikmost 60° [vlastní tvorba]

Pro zjednodušení modelu a usnadnění práce jsem rovnoměrnou složku teploty vyvodil na celé konstrukci.

3.3 Zatížení zemním tlakem

Zemní tlaky působící na opěry je nutno uvažovat jako zatížení konstrukce, které je závislé na její deformaci. Pro účely této práce jsem uvažoval se třemi zatěžovacími stavy, zemní tlak aktivní, zemní tlak pasivní a zemní tlak v klidu. Tyto zemní tlaky jsem následně kombinoval s těmi zatěžovacími stavy, které vyvolávají deformaci potřebnou právě pro vznik jednotlivých zemních tlaků.

Dle ČSN 73 6244 [5] jsem při stanovení zemních tlaků vycházel z řádně provedené přechodové oblasti, která je zhotovena z vhodných materiálů.

Pro stanovení charakteristik zemin jsem předpokládal její následující vlastnosti:

Úhel vnitřního tření: $\varphi_{ef,d} = 30^\circ$

Soudržnost: $c = 0$ kPa

Objemová tíha: $\gamma_z = 20$ kN/m³

Tyto charakteristiky zemin jsem v rámci práce odhadl.

3.3.1 Zemní tlak v klidu

Klidový zemní tlak nastane tehdy, pokud nedochází k žádným vodorovným posunům konstrukce, tedy v kombinacích bez teplotních účinků a bez vodorovných sil od dopravy. Zemní tlak v klidu jsem stanovil na základě použití součinitele K_0 . Ve výpočtu jsem uvažoval vliv překonsolidace materiálu vlivem hutnění za opěrou. Pro přechodové oblasti hutněné po vrstvách výšky 300 mm uvažuji napětí od hutnění 150kPa.

Hodnoty zemního tlaku jsem stanovil pomocí těchto vztahů:

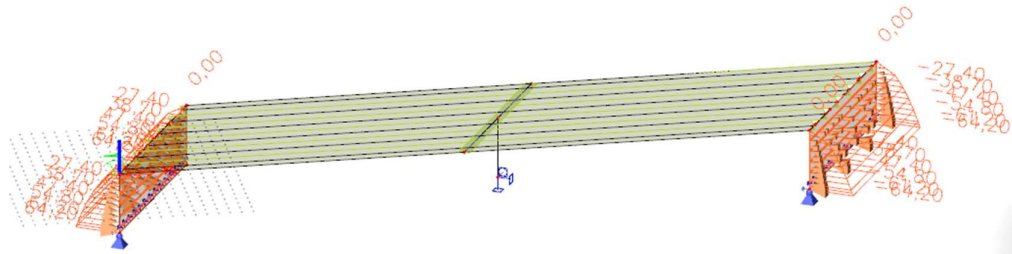
$$K_{0,oc} = (1 - \sin \varphi) * OCR^{sin \varphi} \leq K_p$$

$$\sigma_{z,real} = \gamma_z * z$$

$$OCR = \frac{\sigma_{z,max}}{\sigma_{z,real}} \quad f_{z,0} = K_0 * z * \gamma_z$$

	γ_z [kN/m ³]	$\sigma_{z,max}$ [kPa]	$\varphi_{ef,d}$		
	20	150	30	$f_{z,0}$	$f_{z,0}$
z [m]	$\sigma_{z,real}$ [kPa]	OCR	$K_{0,oc}$	[kPa]	[kPa]
0,00	0	0	0,0000	0,000	0,0
1,00	20	7,500	1,3693	27,386	27,4
2,00	40	3,750	0,9682	38,730	38,7
3,00	60	2,500	0,7906	47,434	47,4
4,00	80	1,875	0,6847	54,772	54,8
5,00	100	1,500	0,6124	61,237	61,2
5,50	110	1,364	0,5839	64,226	64,2

Tabulka č. 1: Výpočet hodnot zemního tlaku v klidu [vlastní tvorba]



Obr.3.9: Zemní tlak v klidu-šikmost 60° [vlastní tvorba]

3.3.2 Aktivní zemní tlak

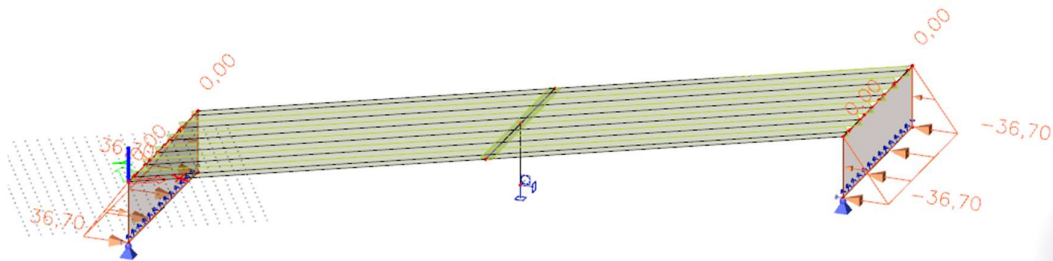
Aktivní zemní tlak nastane tehdy, pokud se konstrukce oddaluje od zeminy. S ohledem na to, že pro integrovaný most je aktivní zemní tlak spodní mezí zatížení zeminou, nezkoumal jsem, zda je dosaženo dostatečné deformace konstrukce pro jeho plnou mobilizaci. Plnou hodnotu aktivního zemního tlaku jsem stanovil na základě Rankineho teorie zemních tlaků, uvažoval jsem ho jako lineárně závislý na svislém napětí v příslušné hloubce pod terénem. Pro výpočet jsem použil součinitel aktivního tlaku, který je daný vztahem:

$$K_a = \tan^2(45 - \varphi/2)$$

$$\sigma_{A,y} = \sigma_{z,real} * K_a$$

z [m]	γ_z [kN/m ³]	K_a	$\sigma_{z,real}$ [kPa]	$\sigma_{A,y}$ [kPa]
	20			
0,00	0	0,33	0,000	0,0
1,00	20	0,33	6,667	6,7
2,00	40	0,33	13,333	13,3
3,00	60	0,33	20,000	20,0
4,00	80	0,33	26,667	26,7
5,00	100	0,33	33,333	33,3
5,50	110	0,33	36,667	36,7

Tabulka č. 2: Výpočet hodnot aktivního zemního tlaku [vlastní tvorba]



Obr.3.10: Aktivní zemní tlak-šikmost 60° [vlastní tvorba]

3.3.3 Pasivní zemní tlak

Pasivní zemní tlak nastane tehdy, pokud se konstrukce zatlačí směrem do zemního tělesa. Stanovil jsem ho na základě Vogtovy teorie, velikost působícího zemního tlaku je závislý na očekávaném zatlačení konstrukce do zeminy. Očekávanou hodnotu zatlačení jsem stanovil dle následujícího vztahu:

$$\Delta L_{max} = \Delta T_{max} * L/2 * \alpha = s_h = 39 * \frac{30}{2} * 0,00001 = 0,00585 \text{ m}$$

Hodnotu mobilizovaného pasivního tlaku jsem poté stanovil ze vtaů:

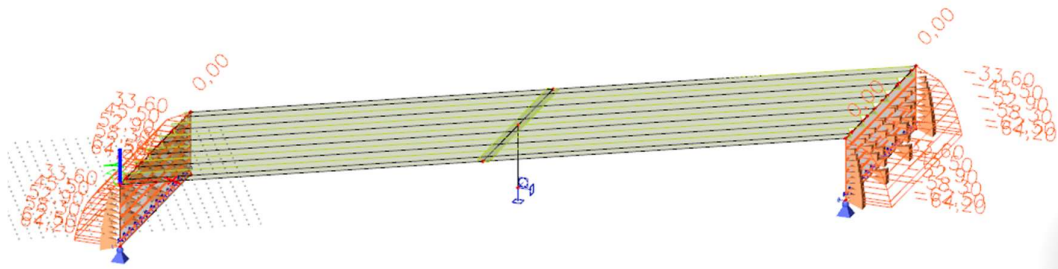
$$K_{p,mob}(z) = K_0 + (K_p - K_0) * \frac{v(z)/z}{a + v(z)/z}$$

$$K_p = tg^2(45 + \varphi/2)$$

$$v(z) = s_h * \left(1 - \frac{z}{h}\right)$$

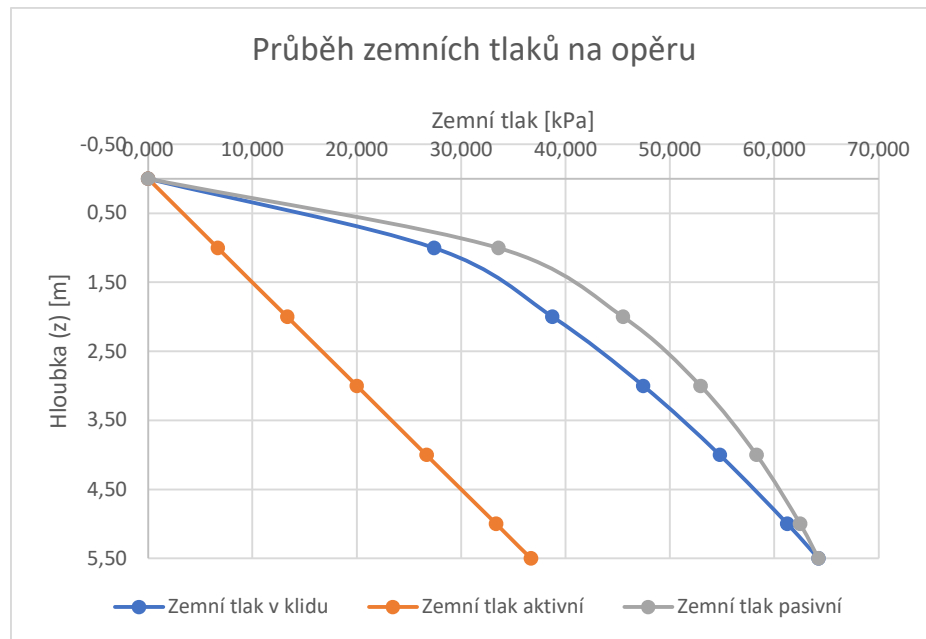
z [m]	K _p	K ₀	v(z)	K _{p,mob}	F _{y,p} [kPa]	F _{y,p} [kPa]
0,00	3,00	0,0000	0,005850	0	0	0
1,00	3,00	1,3693	0,004786	1,684201	33,68402	33,7
2,00	3,00	0,9682	0,003723	1,141237	45,649499	45,6
3,00	3,00	0,7906	0,002659	0,884332	53,059919	53,1
4,00	3,00	0,6847	0,001595	0,729926	58,394056	58,4
5,00	3,00	0,6124	0,000532	0,625003	62,50031	62,5
5,50	3,00	0,5839	0,000000	0,583874	64,226163	64,2

Tabulka č. 3: Výpočet hodnot pasivního zemního tlaku [vlastní tvorba]



Obr.3.11: Pasivní zemní tlak-šikmost 60° [vlastní tvorba]

V následujícím grafu jsem porovnal hodnoty účinků všech zemních tlaků působící na opěru.



Graf č. 1: Porovnání zemních tlaků [vlastní tvorba]

4 Kombinace zatížení

Vzhledem k tomu, že v rámci této práce potřebuji pouze vzniklé vnitřní síly a konstrukci nebudu posuzovat na MSP ani MSÚ, kombinoval jsem zatížení takovým způsobem, aby na celé konstrukci vyvolalo maximální možné vnitřní síly.

V modelech mám tři pomyslné skupiny kombinací, odlišují se na základě toho, jaký se v konkrétní kombinaci objevuje zemní tlak.

Každá kombinace obsahuje:

- Vlastní tíhu,
- ostatní stálé zatížení,
- rovnoměrné zatížení UDL pro model LM1,
- zatížení od dvounápravy TS pro model LM1.

1. skupina obsahuje navíc oteplení konstrukce a pasivní zemní tlak.
2. skupina obsahuje navíc ochlazení konstrukce a aktivní zemní tlak.
3. skupina obsahuje pouze zemní tlak v klidu, bez teplot.

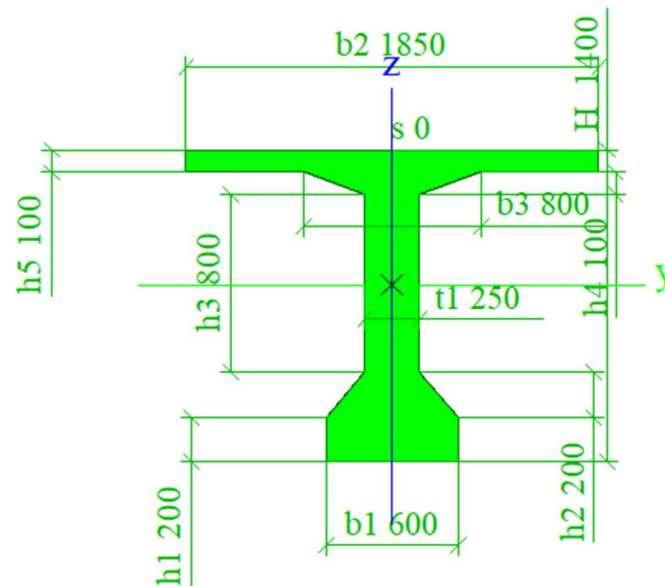
V každém modelu a v každé skupině kombinací jsem vytvořil na základě rovnoměrného zatížení UDL pro model LM1 celkem 24 kombinací, podle toho, jaký konkrétní pruh rovnoměrného zatížení UDL je zrovna dominantní. V každém modelu se tedy celkem nachází 72 kombinací zatížení.

5 Popis výpočetních modelů

V této kapitole se budu zabývat popisem výpočetních modelů v programu SCIA Engineer. Pomocí obrázků popíšu, jak jsem modely vytvářel a jak jsou definované jednotlivé konstrukční části mostu.

5.1 Základní prvky mostu

Konstrukce je modelována pomocí desky, ke které jsou připojena žebra. Žebra jsou nosníky s vlastnostmi tyčových prefabrikátů SMP – Petra. Opěry jsem modeloval jako stěny vetknuté s nosníky a deskou. Příčník nad pilířem je modelovaný jako žebro a pilíř jsem namodeloval jako sloup.

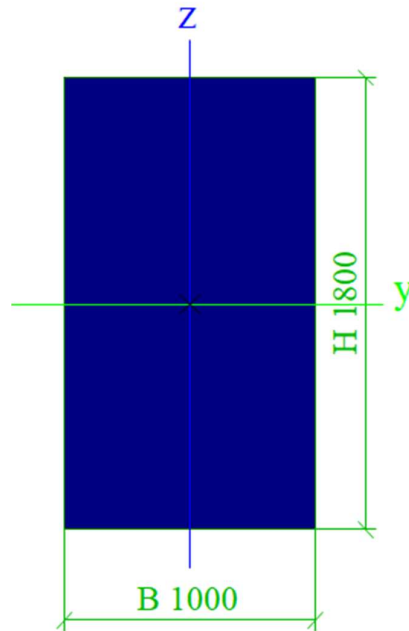


Orb.5.1: Žebro desky s rozměry a vlastnostmi SMP-Petra [vlastní tvorba]

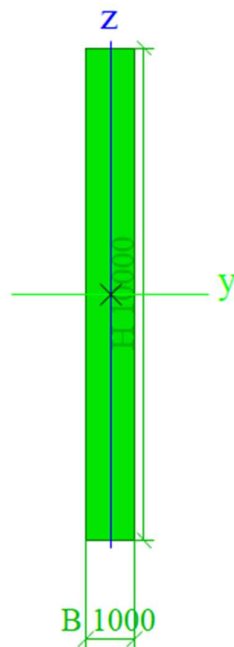


Obr.5.2: Opěra vymodelovaná pomocí stěny [vlastní tvorba]

Délka opěry je v každém modelu jiná, vlivem šikmosti mostu se od nejkratší opěry, která je v modelu se šikmostí 90° postupně prodlužuje. Geometrii každého mostu jsem si předem nakreslil v programu AutoCAD, následně jsem si veškeré důležité body modelu vyhledával pomocí funkce ID, která mi řekla přesné souřadnice, díky kterým jsem byl schopný model přesně zadat souřadnicemi.



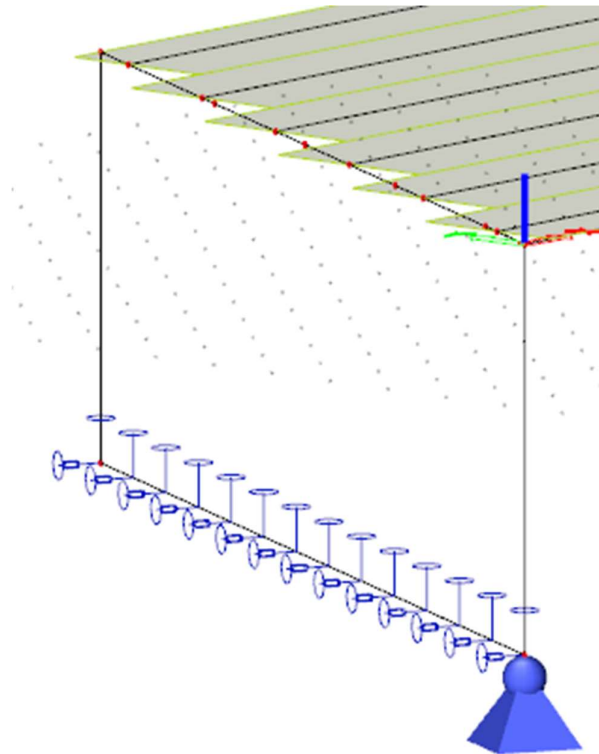
Obr.5.3: Podélný řez příčnickem nad pilířem [vlastní tvorba]



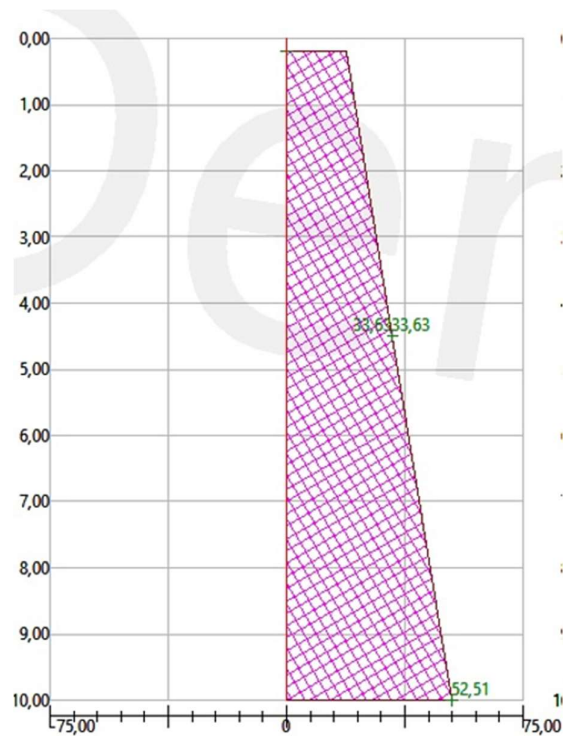
Obr.5.4: Půdorys pilíře [vlastní tvorba]

5.2 Podpory

Podpory na opěrách jsem modeloval jako liniové podpory, které zabraňují pohybu v podélném směru mostu a ve svislém směru. Liniová podpora ve svislém směru mostu je tuhá a v podélném směru mostu jsem ji namodeloval jako pružnou, zahrnul jsem tedy vliv reakce podloží. Vzhledem k tomu, že se jedná o podporu liniovou tak je povolené pootočení ve všech směrech, jako liniová podpora se nemůže pootočit. Pohyb v příčném směru mostu jsem nechal volný z důvodu roztažnosti opěr vlivem teploty, model pak funguje, jak má. Na začátek obou opěr jsem vložil pevný kloub jako pevný bod, opěra se tedy může volně roztahovat či smršťovat. Modul Kh jsem stanovil na základě již zmíněných odhadnutých charakteristik zemin, namodeloval jsem založení s pilotami o průměru 1300 mm a délce 10 m.



Obr.5.5: Podpory modelu u opěr [vlastní tvorba]



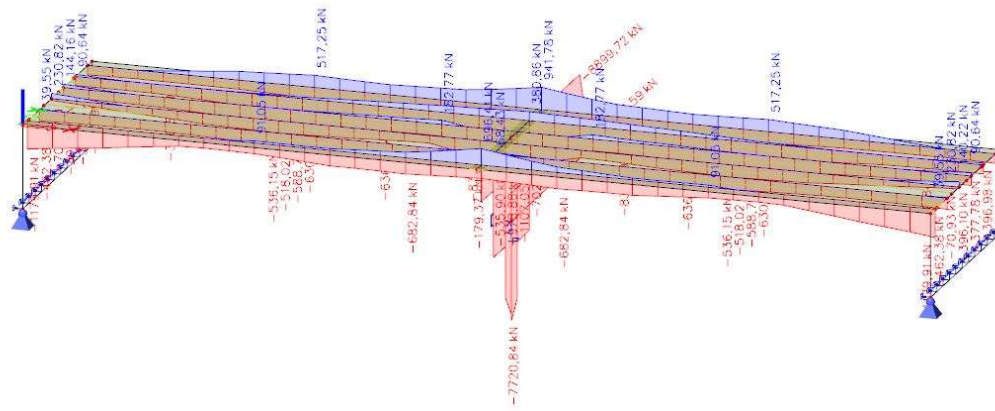
Obr.5.6: Modul reakce podloží Kh [vlastní tvorba]

6 Vyhodnocení vnitřních sil

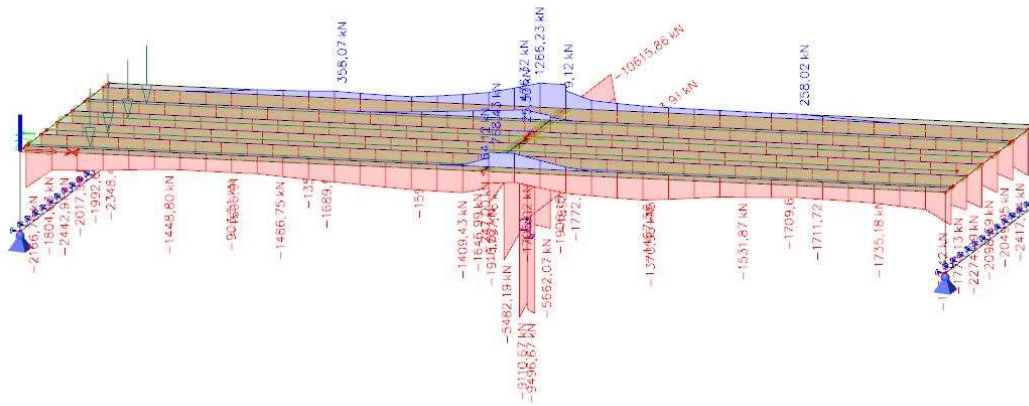
V této kapitole porovnám vznik všech vnitřních sil na pěti modelech o různé šikmosti. Porovnávání vnitřních sil budu dělat na nosnících, resp. na žebrech modelu v místech nad opěrou, v polovině rozpětí pole a nad pilířem. Porovnání budu provádět pomocí obálky vnitřních sil, kterou jsem nadefinoval pomocí skupiny výsledků. V této kapitole vyobrazím všechny obálky všech vnitřních sil a poté shrnu výsledky do přehledných tabulek.

6.1 Vyhodnocení normálových sil N

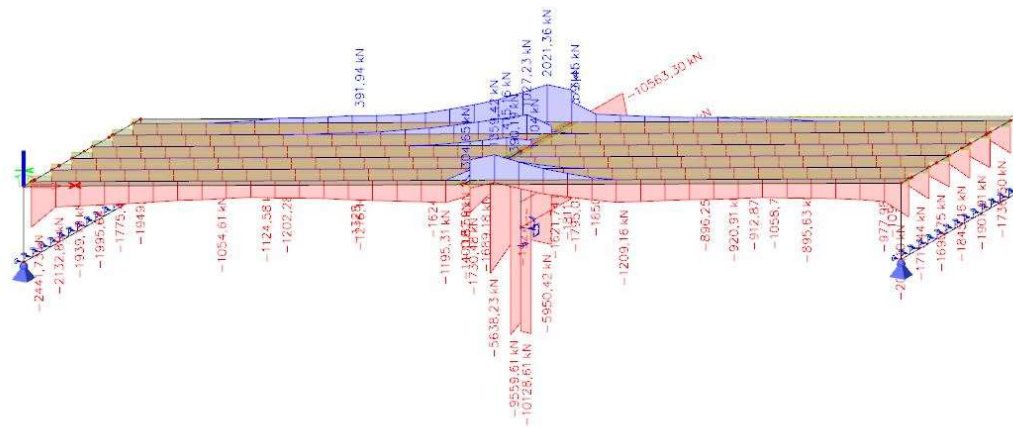
V této podkapitole zobrazím všechny obálky normálových sil a jejich shrnutí v tabulce pro průřezy nad opěrou, v polovině rozpětí, nad pilířem a pilíř.



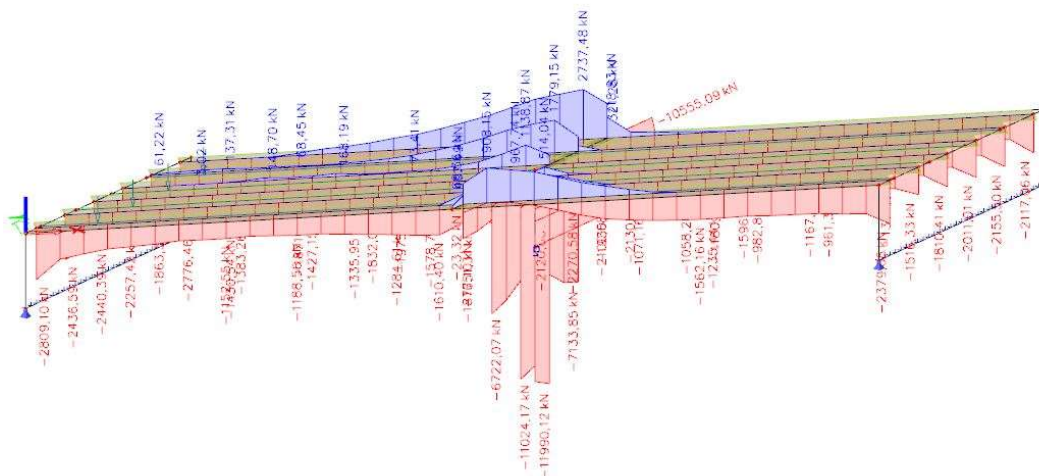
Obr.6.1: Obálka normálových sil-šikmost 90° [vlastní tvorba]



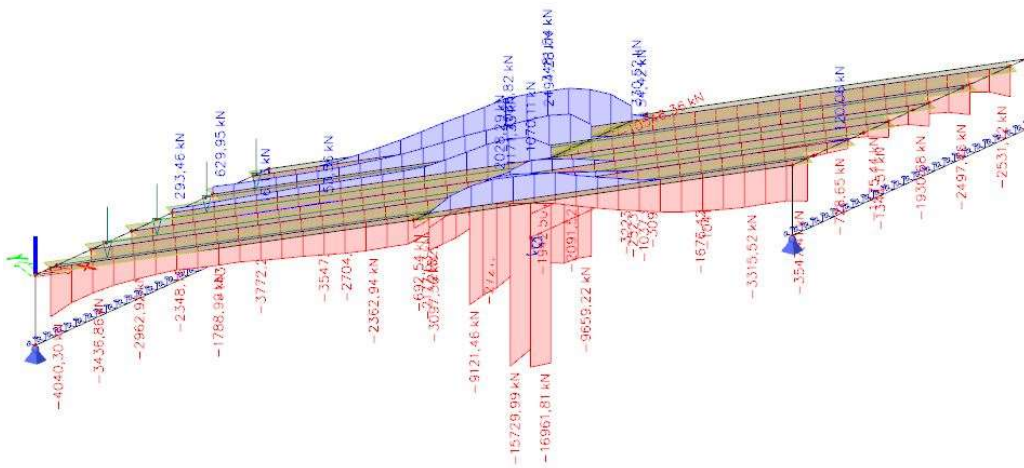
Obr.6.2: Obálka normálových sil-šikmost 75° [vlastní tvorba]



Obr.6.3: Obálka normálových sil-šikmost 60° [vlastní tvorba]



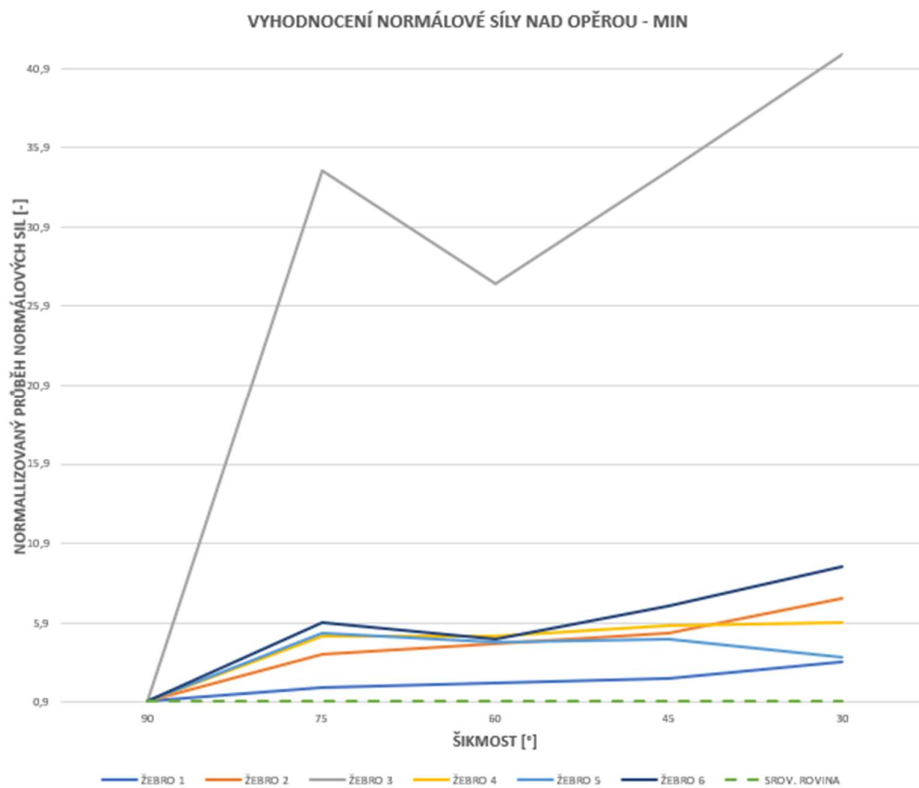
Obr.6.4: Obálka normálových sil-šikmost 45° [vlastní tvorba]



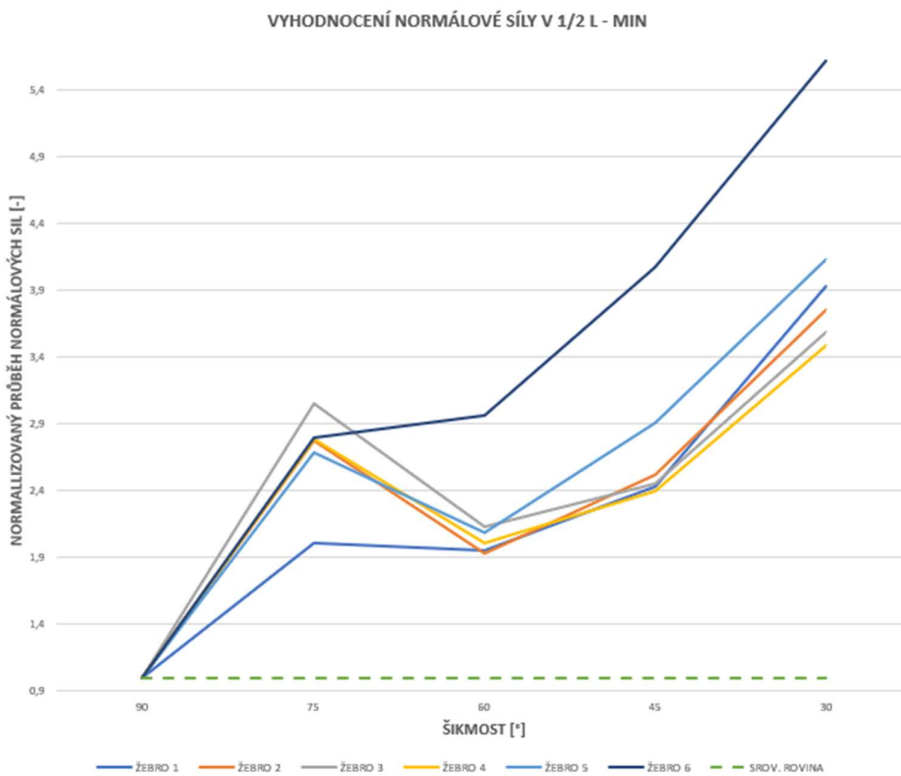
Obr.6.5: Obálka normálových sil-šikmost 30° [vlastní tvorba]

ŠÍKMOST	POSUZOVANÉ MÍSTO	ŽEBRO 1		ŽEBRO 2		ŽEBRO 3		ŽEBRO 4		ŽEBRO 5		ŽEBRO 6		
		MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
90°	NAD OPĚROU	-1179,91	0	-462,38	39,55	-70,93	230,82	-396,1	44,16	-380,04	90,64	-397,99	0	
	1/2 L	-449,74	91,053	-536,15	0	-518,02	0	-588,77	8,59	-630,34	64,44	-484,38	517,25	
	NAD PILÍŘEM	ZLEVA	-560,87	696,41	-535,9	68,43	-978,88	0	-1107,05	0	-702,36	380,86	-782,52	941,78
	ZPRAVA	-560,87	696,41	-535,9	68,43	-978,88	0	-1107,05	0	-702,36	380,86	-782,52	941,78	
	PILÍŘ	HLAVA	-8899,72											
PATA	-10248,59													
75°	NAD OPĚROU	-2166,73	0	-1804,03	0	-2442,91	0	-2017,97	0	-1992,65	0	-2348,43	0	
	1/2 L	-902,82	0	-1486,75	0	-1582,99	0	-1637,25	0	-1689,99	0	-1355,91	358,07	
	NAD PILÍŘEM	ZLEVA	-1117,27	478,62	-1454,97	0	-1638,17	0	-1895,4	25,3	-1433,13	244,99	-1062,45	1252,35
	ZPRAVA	-855,26	768,43	-1356,35	0	-1705,02	0	-1746,03	0	-1569,14	136,1	-1230,42	931,2	
	PILÍŘ	HLAVA	-10615,86											
PATA	-12333,91													
60°	NAD OPĚROU	-2441,73	0	-2132,89	0	-1939,19	0	-1995,64	0	-1775,72	0	-1949,08	0	
	1/2 L	-875,97	0	-1032,59	0	-1105,29	0	-1183,09	0	-1317,3	62,02	-1437,68	391,94	
	NAD PILÍŘEM	ZLEVA	-812,44	558,59	-1170,57	0	-1606,63	0	-1927,92	279,55	-1388,33	423,52	-963,42	1731,9
	ZPRAVA	-422,53	1102,89	-887,72	0	-1567,54	0	-1585,11	0	-1594,89	100,12	-1313,94	1099,74	
	PILÍŘ	HLAVA	-10563,3											
PATA	-11912,18													
45°	NAD OPĚROU	-2809,1	0	-2436,59	0	-2440,39	0	-2257,42	0	-1863,31	61,22	-2776,46	0	
	1/2 L	-1093,02	0	-1353,44	0	-1271,59	0	-1413,68	168,19	-1832,04	114,37	-1975,92	655,61	
	NAD PILÍŘEM	ZLEVA	-1007,43	554,75	-1050,89	0	-2077,75	0	-2120,66	532,96	-1443,41	810,8	-1088,85	1904,79
	ZPRAVA	-457,75	1139,48	-860,11	131,45	-1653,37	2,01	-1936,61	0	-1575,19	318,31	-1531,29	1150,98	
	PILÍŘ	HLAVA	-10555,09											
PATA	-11903,97													
30°	NAD OPĚROU	-4040,3	0	-3436,86	0	-2962,92	0	-2348,19	293,46	-1431,6	629,95	-3772,22	0	
	1/2 L	-1768,69	0	-2009,92	0	-1857,6	53,56	-2049,81	613,02	-2600,78	1046,97	-2721,69	2100,28	
	NAD PILÍŘEM	ZLEVA	-1577,29	0	-1583,43	0	-2337,16	372,8	-1942,5	1012,13	-1571,88	1217,02	-2025,31	1224,19
	ZPRAVA	-1206,93	0	-873,61	196,69	-1571,16	471,99	-1709,8	0	-2037,79	205,42	-2394,23	546,68	
	PILÍŘ	HLAVA	-10546,36											
PATA	-11895,24													

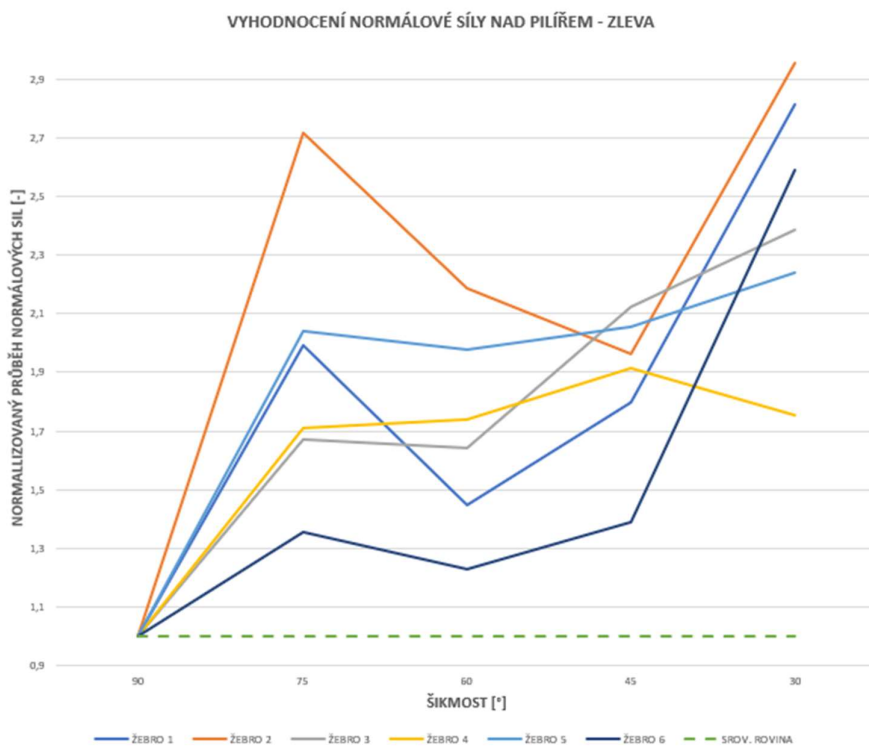
Tabulka č. 4: Vyhodnocení normálových sil [vlastní tvorba]



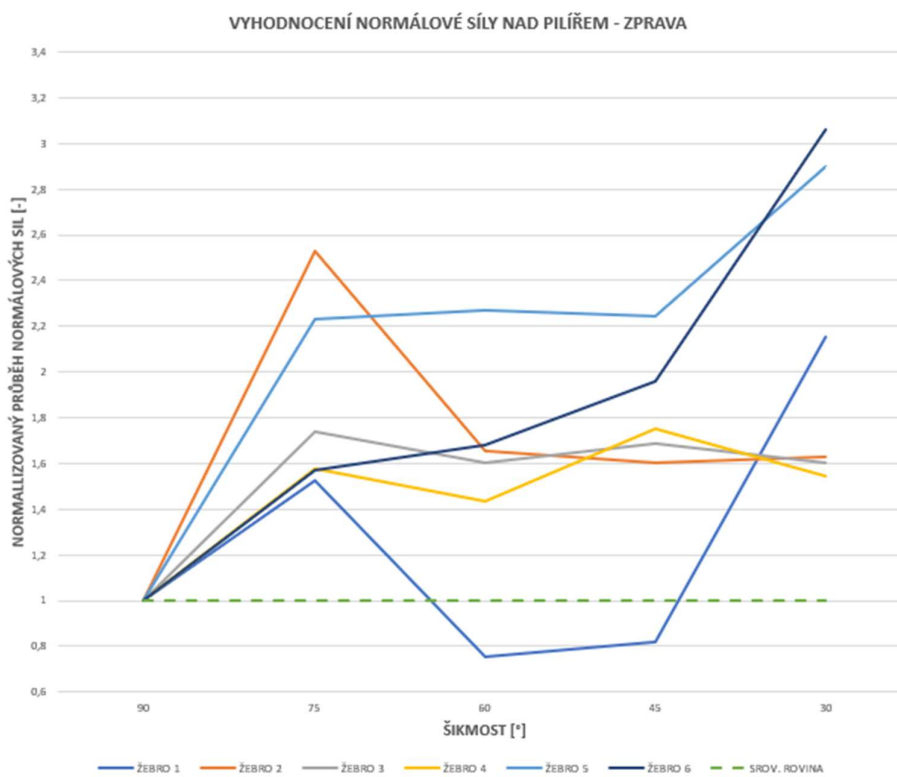
Graf č.2: Grafické vyhodnocení normálové síly nad opěrou – normalizovaný průběh tlaku [vlastní tvorba]



Graf č.3: Grafické vyhodnocení normálové síly v 1/2L – normalizovaný průběh tlaku [vlastní tvorba]



Graf č.4: Grafické vyhodnocení normálové síly nad pilířem – normalizovaný průběh zleva
[vlastní tvorba]

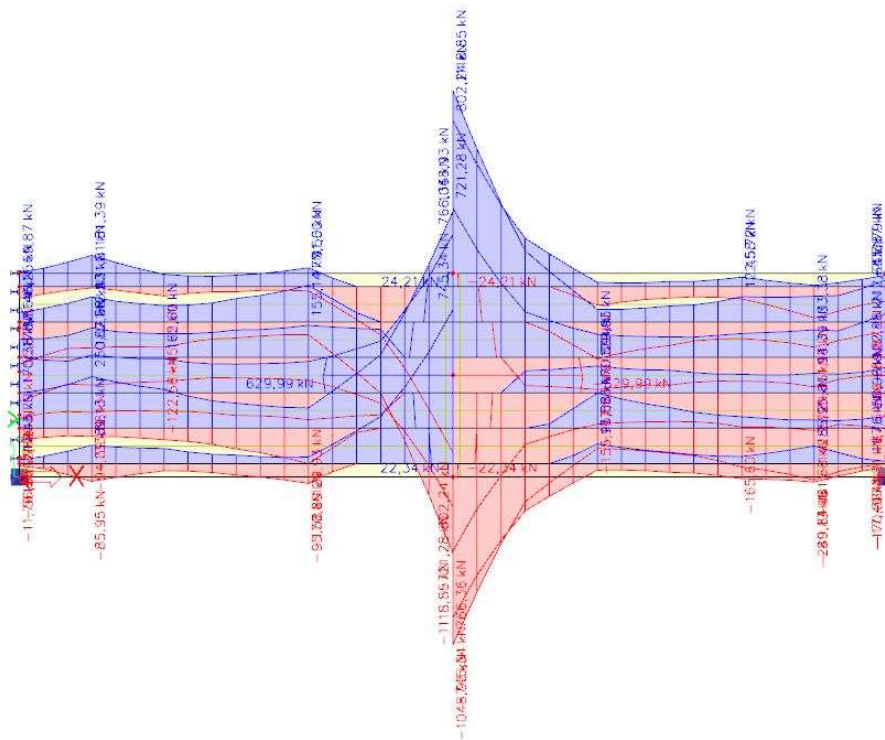


Graf č.5: Grafické vyhodnocení normálové síly nad pilířem – normalizovaný průběh zprava
[vlastní tvorba]

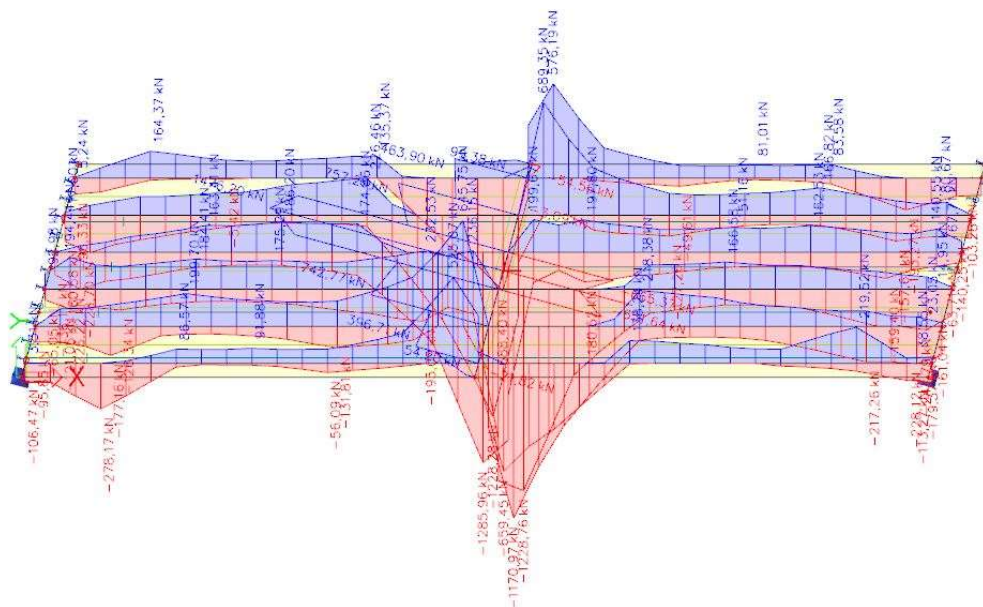
Z číselných hodnot v tabulce č. 4 lze říct, že vlivem šikmosti dochází k velkým změnám normálových sil v nosnicích. Pro srovnání budu vycházet z hodnot modelu o šikmosti 90° . Lze vidět, jak tlak v nosnicích nad opěrou značně narostl při změně šikmosti z 90° na 75° a postupně se vlivem šikmosti zvyšuje. Další velký nárůst vzniká mezi šikmostí 45° a 30° . To samé lze říct i o tlaku uprostřed pole, dále pozoruji, že uprostřed pole u žebra 4, 5 a 6 se zvyšující se šikmostí vzniká čím dál větší tah. U žebra 5 a 6 je toto pozorování nejvíce vidět, zejména tedy skokový nárůst tahu mezi šikmostí 45° a 30° . Nad pilířem se tlak zvýšil skokově ze šikmosti 90° a 75° , poté se zvedá nebo snižuje značně menším rozdílem, s výjimkou u žebra 6 mezi šikmostí 45° a 30° , kde se přibližně zdvojnásobil. Tah nad pilířem je poměrně konstantní u žebra 1, žebro 2 není skoro vůbec taženo, u žebra 3 vzniká tah až při šikmosti 30° , u žebra 4, 5 a 6 vzniká značný tah postupně se zvyšující s narůstající šikmostí. Tlak v pilíři se zdá skoro nijak ovlivněný šikmostí.

6.2 Vyhodnocení posouvajících sil V_y

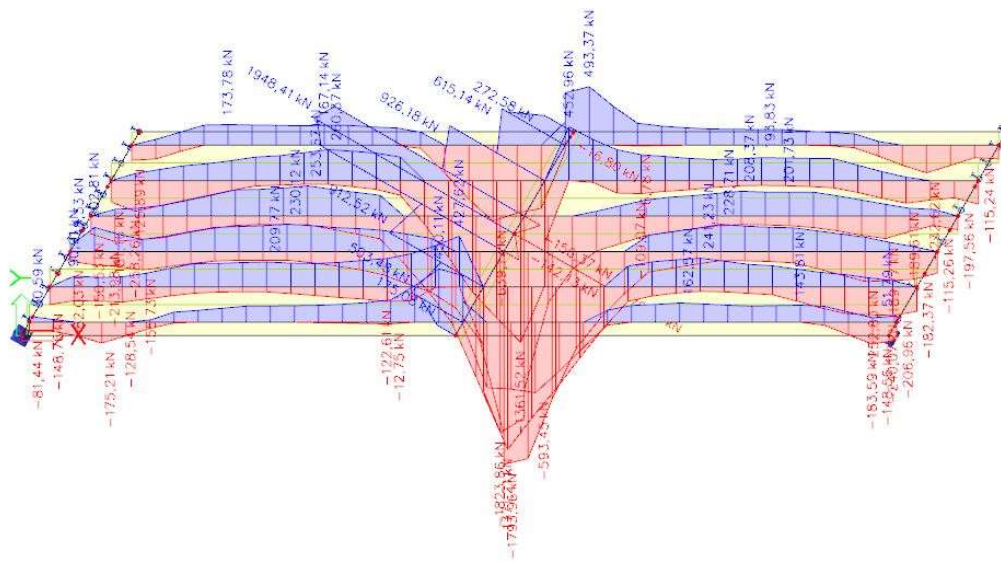
V této podkapitole zobrazím všechny obálky posouvajících sil V_y . Shrnutí v tabulce jsem vytvořil pouze pro pilíř, neboť na nosnicích je posouvající síla V_y zanedbatelná, její účinky budou zachyceny spráženou deskou, která je ve své rovině velmi tuhá.



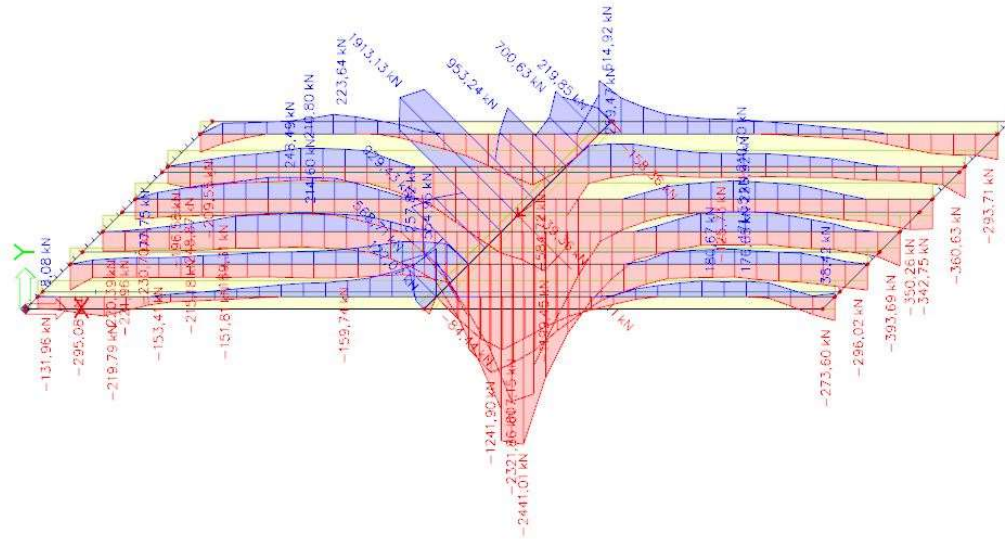
Obr.6.6: Obálka posouvající síly V_y -šikmost 90° [vlastní tvorba]



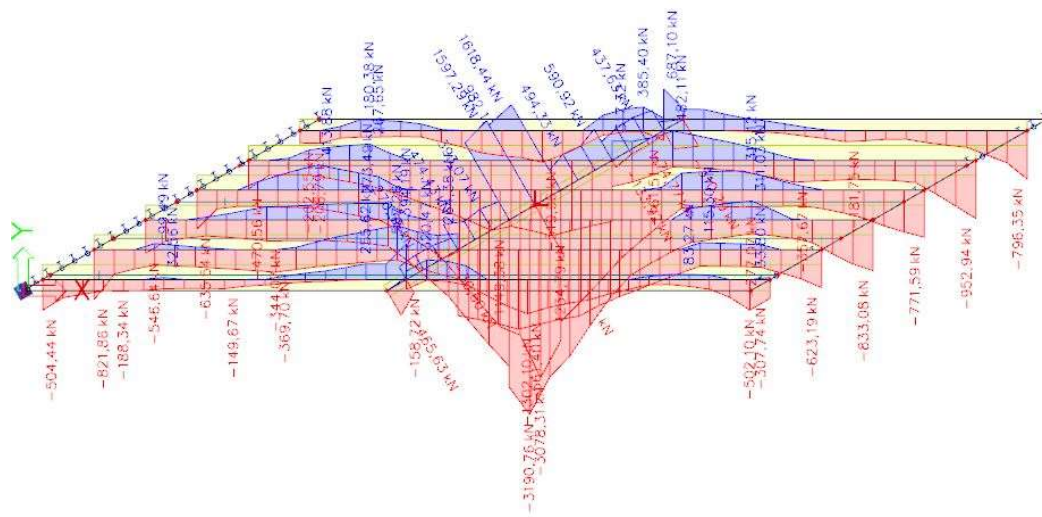
Obr.6.7: Obálka posouvající síly Vy-šikmost 75° [vlastní tvorba]



Obr.6.8: Obálka posouvající síly Vy-šikmost 60° [vlastní tvorba]



Obr.6.9: Obálka posouvající síly Vy-šikmost 45° [vlastní tvorba]



Obr.6.10: Obálka posouvající síly Vy-šikmost 30° [vlastní tvorba]

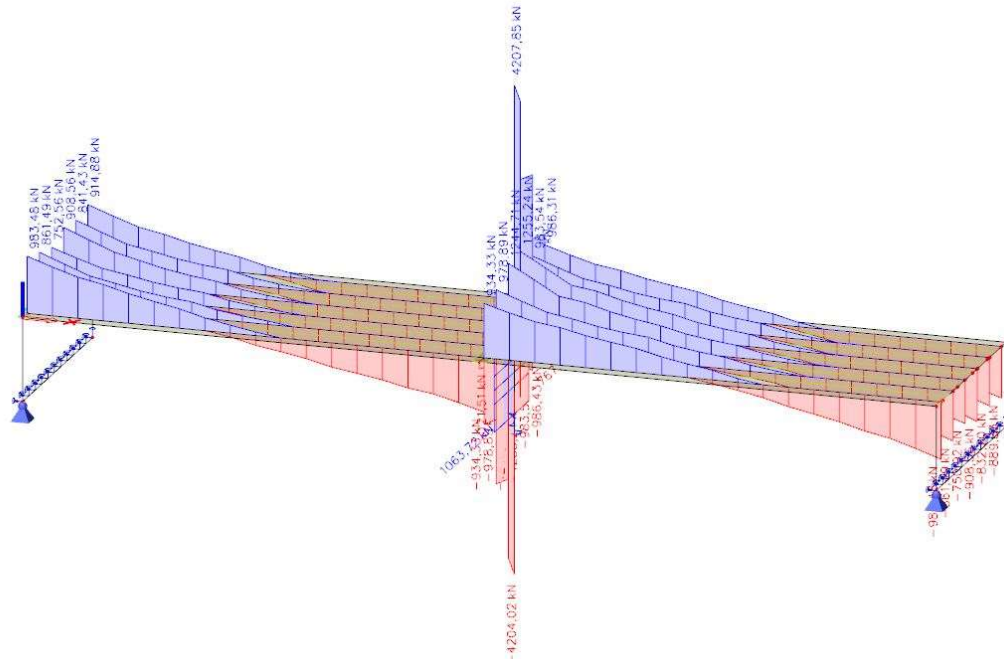
ŠIKMOST	POSUZOVANÉ MÍSTO		PILÍŘ
			MAX RESP. MIN
			[kN]
90°	PILÍŘ	HLAVA	519,34 ABS. HODNOTA
		PATA	519,34 ABS. HODNOTA
75°	PILÍŘ	HLAVA	819,31 resp. -816,14
		PATA	819,31 resp. -816,14
60°	PILÍŘ	HLAVA	886,79 resp. -879,36
		PATA	886,79 resp. -879,36
45°	PILÍŘ	HLAVA	859,1 resp. -878,11
		PATA	859,1 resp. -878,11
30°	PILÍŘ	HLAVA	982,12 resp. -977,01
		PATA	982,12 resp. -977,01

Tabulka č. 5: Vyhodnocení posouvajících sil V_y na pilíři [vlastní tvorba]

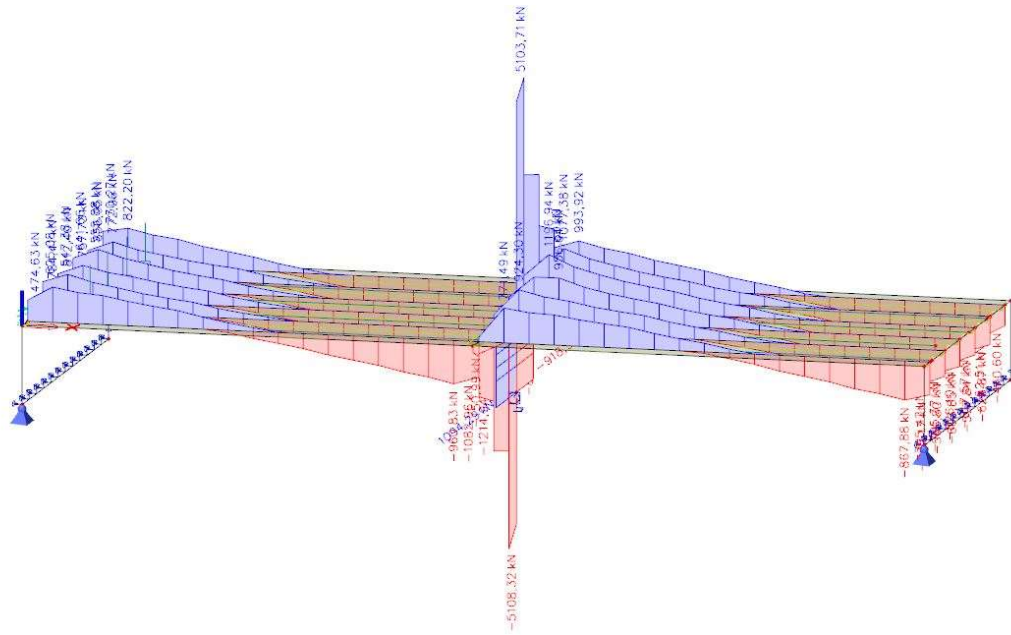
Posouvající síla v pilíři V_y se vlivem šikmosti zvyšuje, z tabulky č. 5 je zřejmé, že velký skok nastal hlavně mezi šikmostí 90° a 75°, další nárůst je zanedbatelný.

6.3 Vyhodnocení posouvajících sil V_z

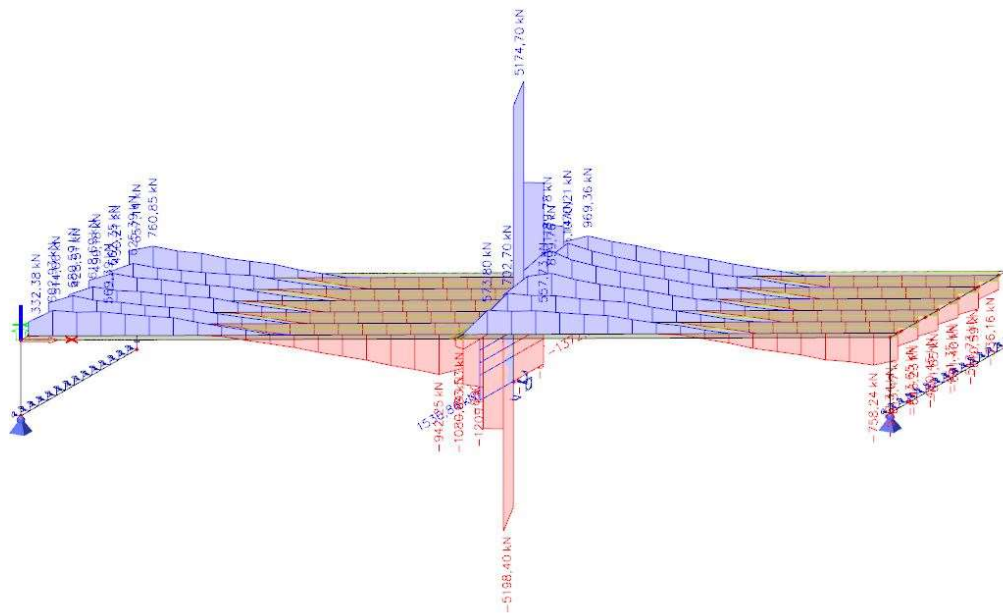
V této podkapitole zobrazím všechny obálky posouvajících sil V_z a jejich shrnutí v tabulce pro průřezy nad opěrou, v polovině rozpětí, nad pilířem, pilíř a stativo.



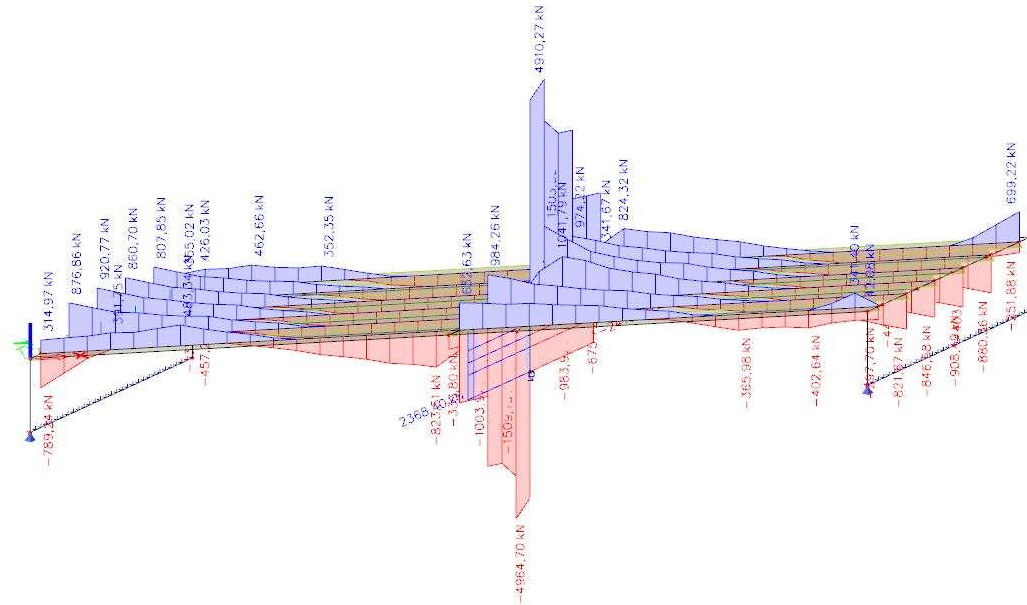
Obr.6.11: Obálka posouvající síly V_z -šikmost 90° [vlastní tvorba]



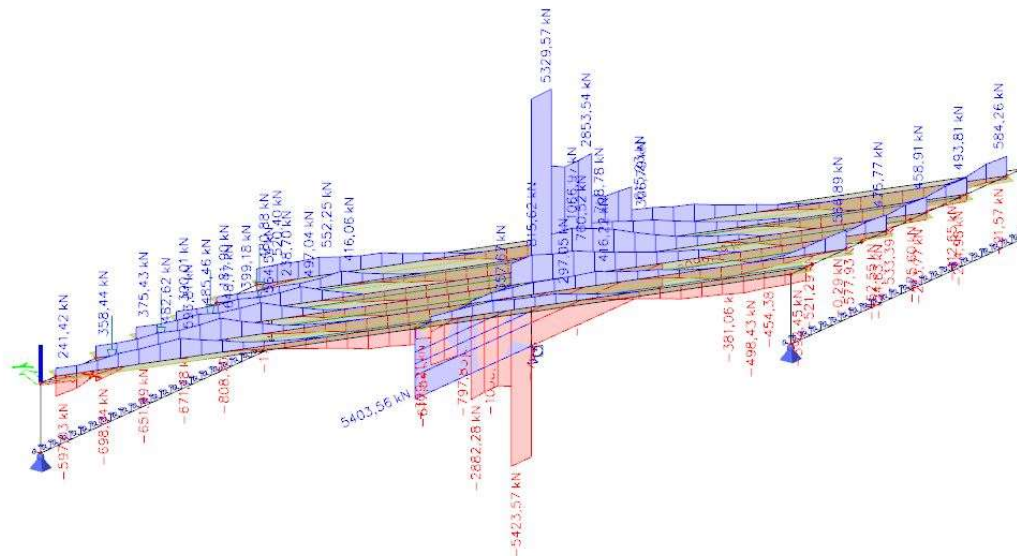
Obr.6.12: Obálka posouvající síly Vz-šikmost 75° [vlastní tvorba]



Obr.6.13: Obálka posouvající síly Vz-šikmost 60° [vlastní tvorba]



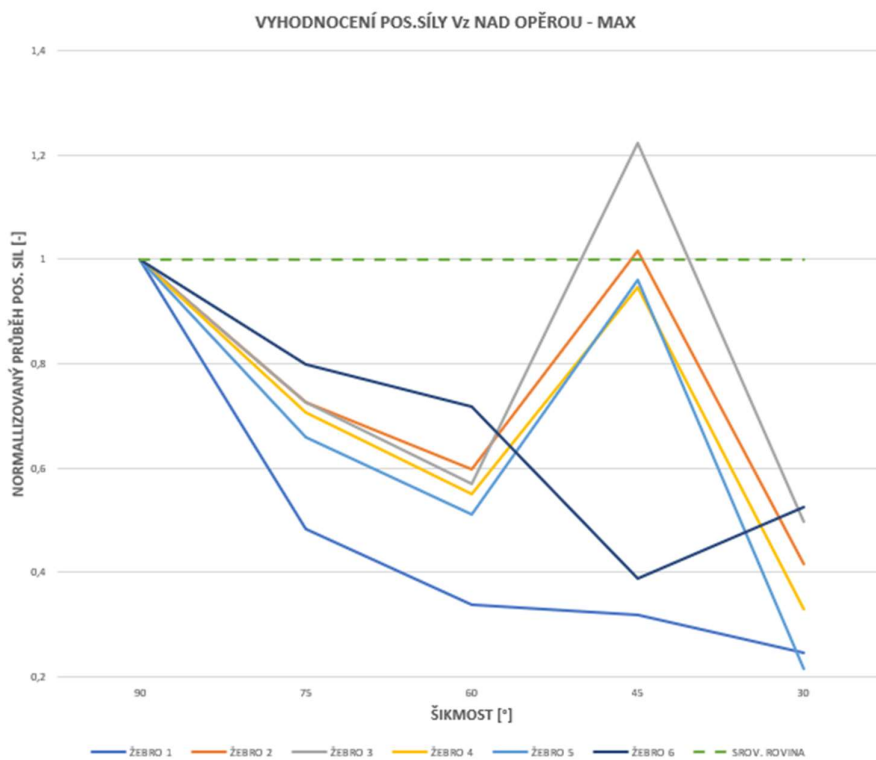
Obr.6.14: Obálka posouvající síly Vz-šikmost 45° [vlastní tvorba]



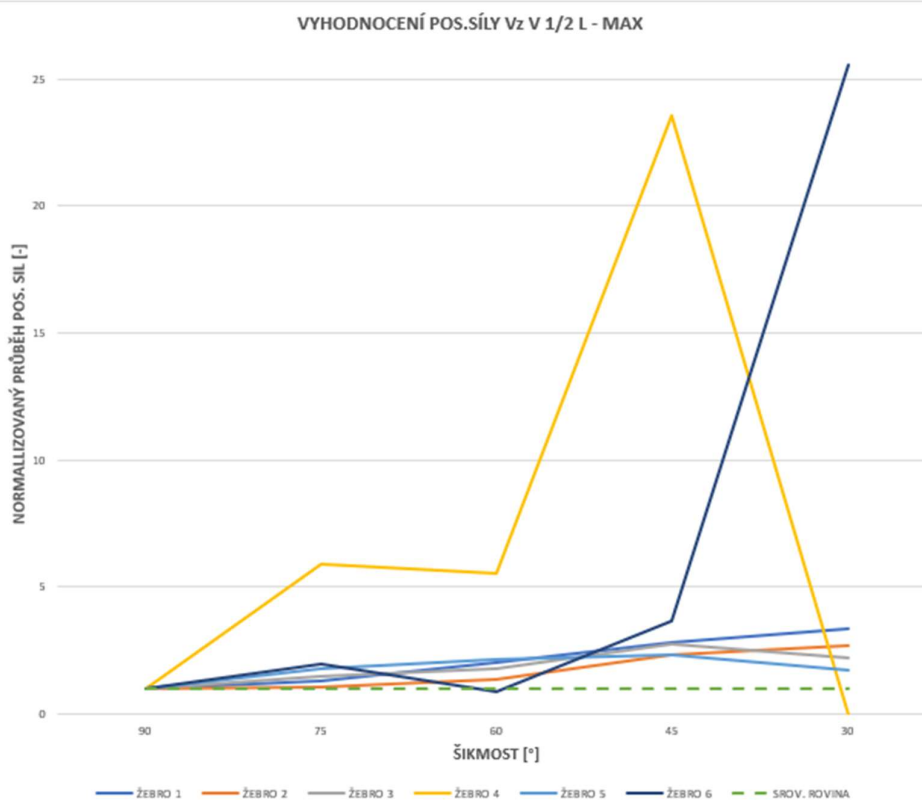
Obr.6.15: Obálka posouvající síly Vz-šikmost 30° [vlastní tvorba]

ŠIKMOST	POSUZOVANÉ MÍSTO	ŽEBRO 1		ŽEBRO 2		ŽEBRO 3		ŽEBRO 4		ŽEBRO 5		ŽEBRO 6		
		MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
90°	NAD OPĚROU	0	983,48	0	861,49	0	752,56	0	908,56	0	841,43	0	914,88	
	1/2 L	-167,03	61,96	-199,8	59,37	-211,52	35,74	-213,34	30,38	-204,92	31,99	-180,71	5,83	
	NAD	ZLEVA	-934,33	0	-978,89	0	-1244,71	0	-1255,24	0	-983,54	0	-986,43	0
	PILŮŘEM	ZPRAVA	0	934,33	0	978,89	0	1244,71	0	1255,24	0	983,54	0	986,43
	STATIVO	ZLEVA	-1147,38	0	-2361,64	0	-3824,25	0	0	2493,14	0	1279,97	0	152,52
		ZPRAVA	-162,34	0	-1255,24	0	-2469,8	0	0	3836,2	0	2384,99	0	1171,82
	PILÍŘ	HLAVA	1063,72 resp. -767,69											
		PATA	1063,72 resp. -767,69											
	75°	NAD OPĚROU	0	474,63	0	625,08	0	547,38	0	641,66	0	555,88	0	730,27
		1/2 L	-156,46	81,14	-214,58	64,75	-219,39	52,93	-233,84	111,22	-204,6	56,93	-203,66	11,34
NAD		ZLEVA	-791,23	0	-539,38	0	-712,46	0	-490,86	180,23	-361,02	141,1	-113,46	285,72
PILŮŘEM		ZPRAVA	-271,53	98,7	-145,03	342,25	-198,01	483,02	0	701,73	0	532,28	0	818,39
STATIVO		ZLEVA	-1224,06	0	-2679,26	0	-5108,32	0	0	2944,68	0	1538,91	0	324,49
		ZPRAVA	-320,69	0	-1576,09	0	-2931,09	0	0	5103,71	0	2695,79	0	1231,43
PILÍŘ		HLAVA	1094,29 resp. -918,96											
		PATA	1094,29 resp. -918,96											
60°		NAD OPĚROU	0	332,38	0	514,06	0	428,51	0	499,18	0	430,21	0	657,14
		1/2 L	-119,8	124,7	-198,61	80,72	-206,04	64,59	-211,66	56,02	-185,6	69,59	-202,08	5,27
	NAD	ZLEVA	-802,34	0	-636,34	0	-688,52	0	-407,38	168,51	-146,92	305,75	-4,07	365,81
	PILŮŘEM	ZPRAVA	-352,85	6,28	-304,54	141,06	-166,27	389,09	0	689,26	0	637,92	0	829,8
	STATIVO	ZLEVA	-1182,32	0	-2498,41	0	-5198,4	0	0	2778,86	0	1528,83	0	353,13
		ZPRAVA	-341,79	0	-1518,16	0	-2776,15	0	0	5174,7	0	2504,67	0	1192,98
	PILÍŘ	HLAVA	1536,86 resp. -1372,26											
		PATA	1536,86 resp. -1372,26											
	45°	NAD OPĚROU	-789,24	314,97	0	876,86	0	920,77	0	860,7	0	807,85	-137,89	355,02
		1/2 L	-85,34	175,6	-168,78	138,77	-194,44	98,43	-223,32	68,97	-205,15	73,96	-179,63	21,29
NAD		ZLEVA	-464,69	0	-1003,97	0	-1509,13	0	-3,89	715,23	-983,97	0	-675,72	0
PILŮŘEM		ZPRAVA	0	632,63	0	984,26	-693,02	0	0	1503,56	0	974,22	0	466,74
STATIVO		ZLEVA	-1682,07	0	-3449,81	0	-496470	0	0	3949,58	0	1842	0	388,07
		ZPRAVA	-379,99	0	-1835,41	0	-3968,25	0	0	4910,27	0	3430,07	0	1682,79
PILÍŘ		HLAVA	2368,40 resp. -2415,29											
		PATA	2368,40 resp. -2415,29											
30°		NAD OPĚROU	-597,03	241,42	-698,04	358,44	-651,99	375,43	-671,18	300,01	-808,7	181,9	-178,45	480,88
		1/2 L	-34,46	209,53	-97,31	159,9	-154,9	78,66	-238,3	0	-199,47	54,93	-52,43	148,96
	NAD	ZLEVA	-617,34	0	-797,83	0	-914,39	0	-635,81	0	-63,83	410,18	-141,44	266,14
	PILŮŘEM	ZPRAVA	-299,9	152,21	-427,65	68,14	0	641,56	0	972,78	0	768,78	0	615,23
	STATIVO	ZLEVA	-1293,8	0	-2882,28	0	-5423,57	0	0	3021,77	0	1588,03	0	470,78
		ZPRAVA	-476,82	0	-1574,56	0	-3025,57	0	0	5329,57	0	2853,54	0	1304,86
	PILÍŘ	HLAVA	5403,56 resp. -6096,49											
		PATA	5403,56 resp. -6096,49											

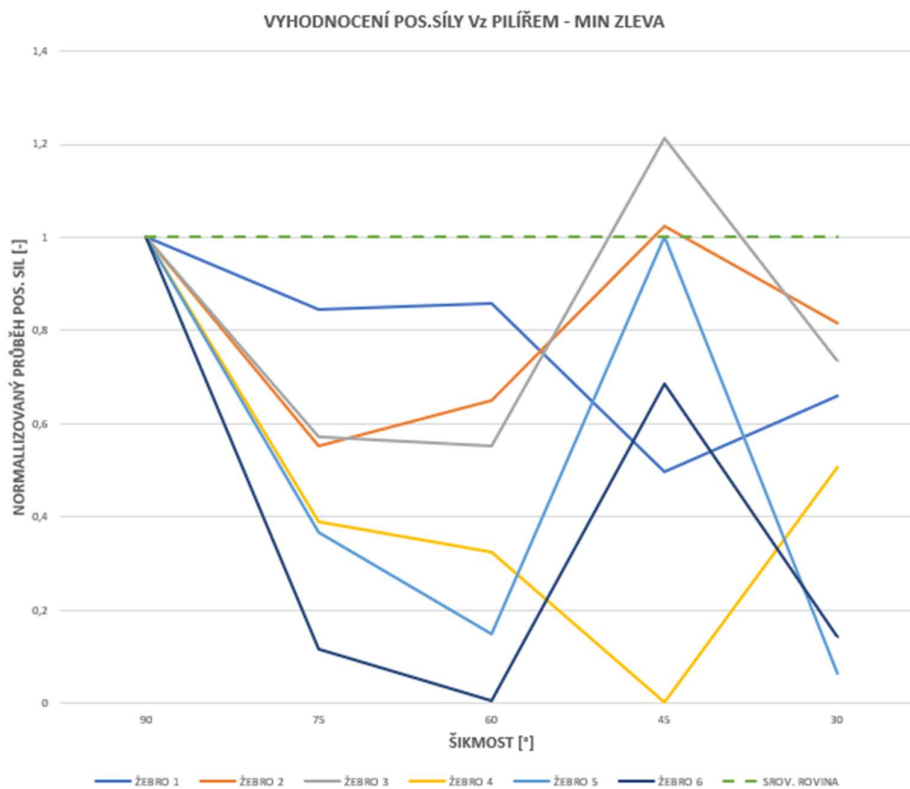
Tabulka č. 6: Vyhodnocení posouvajících sil Vz [vlastní tvorba]



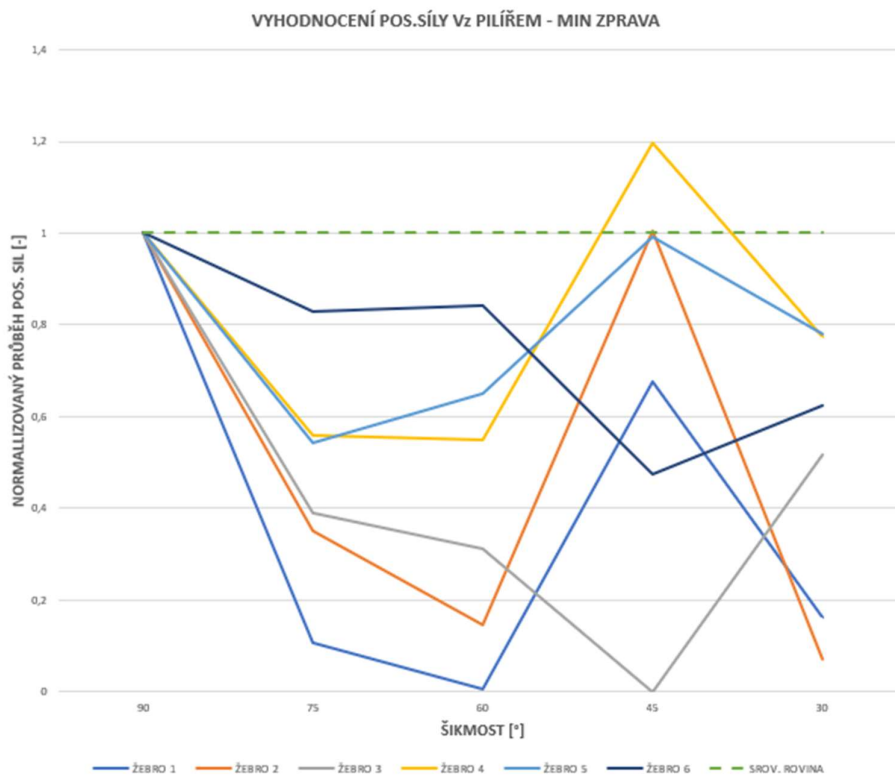
Graf č. 6: Grafické vyhodnocení posouvající síly Vz nad opěrou – normalizovaný průběh max. hodnot [vlastní tvorba]



Graf č. 7: Grafické vyhodnocení posouvající síly Vz v 1/2L – normalizovaný průběh max. hodnot [vlastní tvorba]



Graf č. 8: Grafické vyhodnocení posouvající síly Vz nad pilířem – normalizovaný průběh max. hodnot zleva [vlastní tvorba]

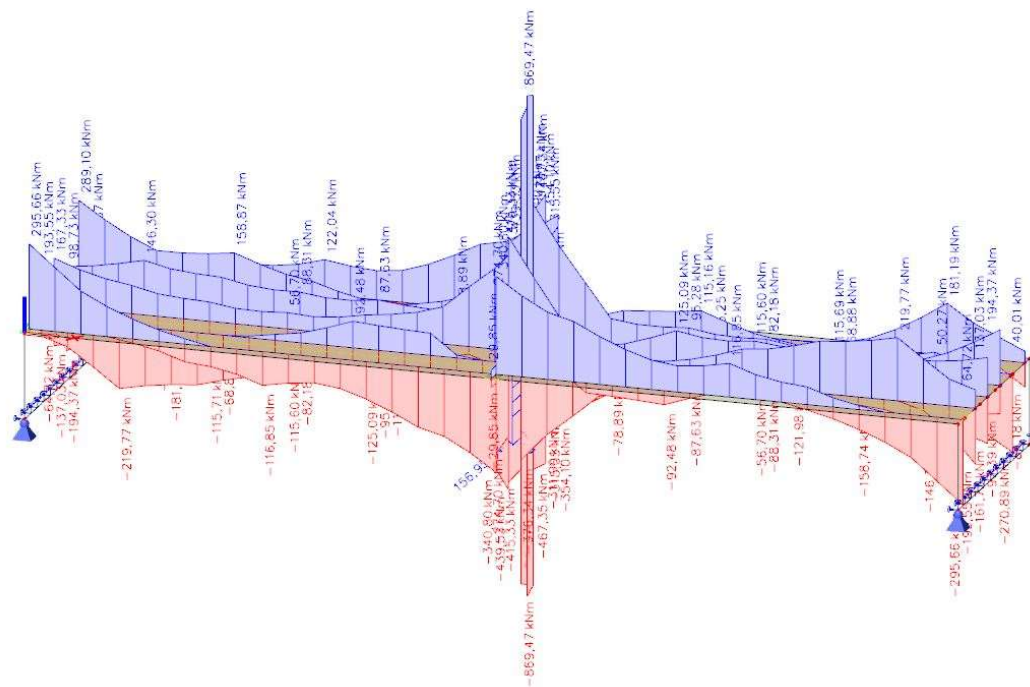


Graf č. 9: Grafické vyhodnocení posouvající síly Vz nad pilířem – normalizovaný průběh max. hodnot zprava [vlastní tvorba]

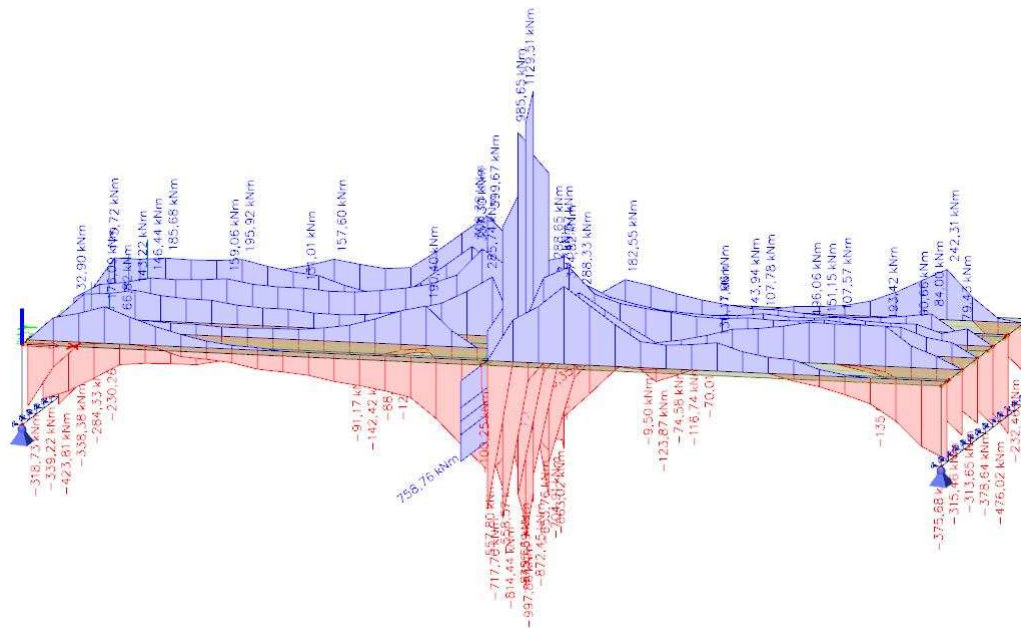
Z tabulky č. 6 je zřejmé, že nad opěrou se posouvající síly vlivem šikmosti snižují, až na výjimku u šikmosti 45°, kde hodnoty posouvajících sil náhle skokově narostly. Posouvající síly uprostřed pole jsou malé a zanedbatelné, hodnoty se vlivem šikmosti skoro nemění. Hodnoty posouvající síly nad pilířem ať už zleva či zprava na různých žebrech buď klesají nebo stoupají, skokové snížení je zjevné mezi šikmostí 90° a 75°. Na stativech jsou na jednotlivých žebrech posouvající síly řádově podobné. Posouvající síla na pilíři je vlivem šikmosti skoro neovlivněna, s výjimkou šikmosti 30°, kde je pětinasobná proti šikmosti 90°.

6.4 Vyhodnocení momentů M_x

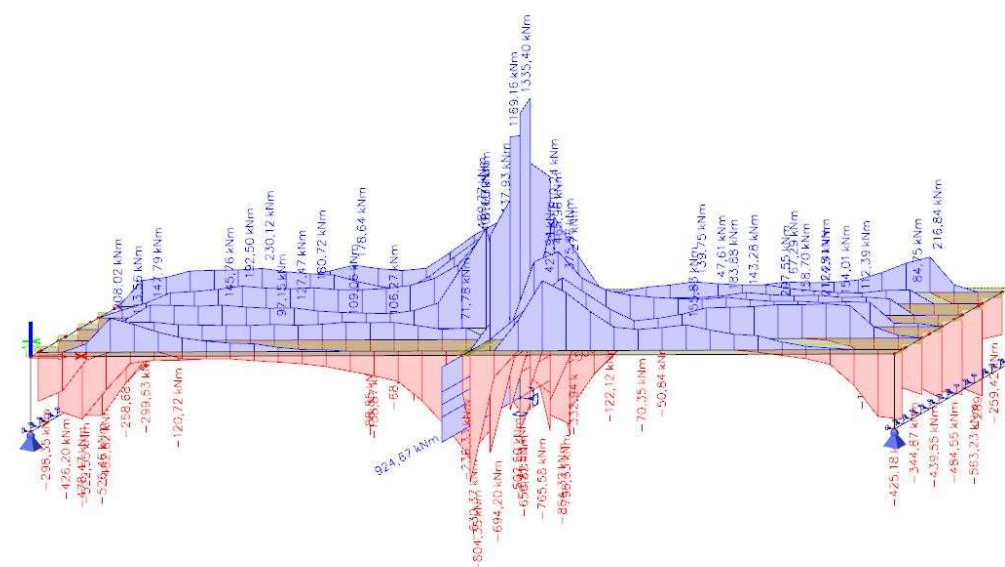
V této podkapitole zobrazím všechny obálky momentů M_x a jejich shrnutí v tabulce pro stativo a pilíř. Na nosnících jsem průběh momentu M_x nevyhodnocoval, jelikož jeho účinky budou zachyceny příčnou ohybovou výztuží v desce, která poskytuje nosníkům podporu proti pootočení.



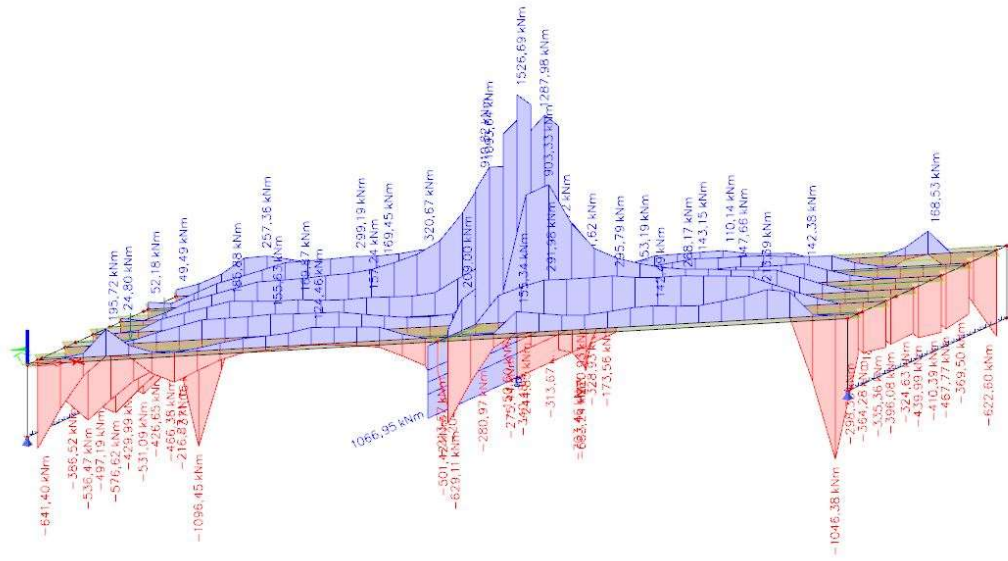
Obr.6.16: Obálka momentu M_x -šikmost 90° [vlastní tvorba]



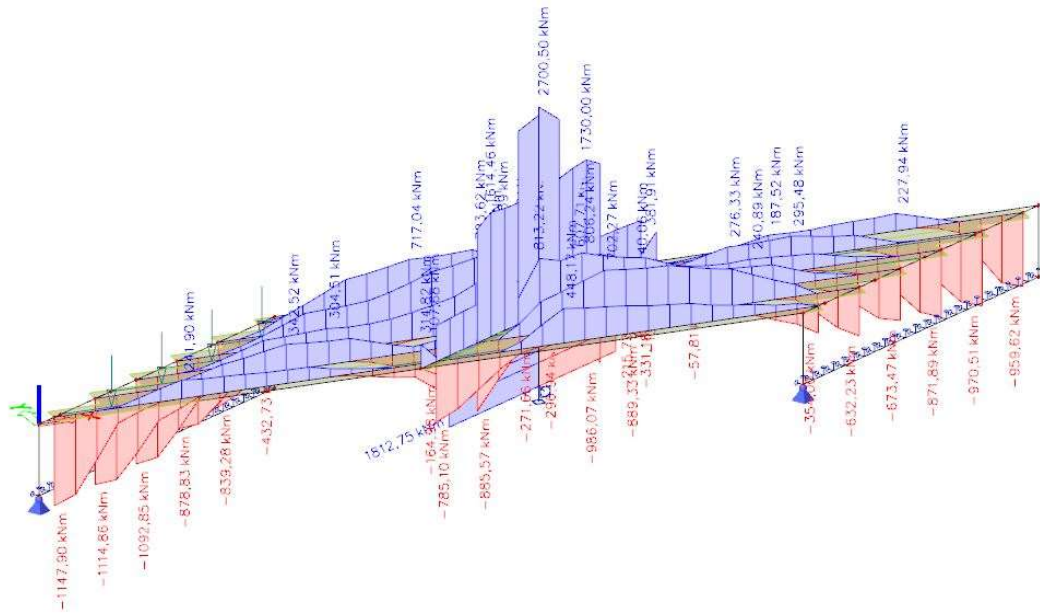
Obr.6.17: Obálka momentu M_x -šikmost 75° [vlastní tvorba]



Obr.6.18: Obálka momentu M_x -šikmost 60° [vlastní tvorba]



Obr.6.19: Obálka momentu M_x-šikmost 45° [vlastní tvorba]



Obr.6.20: Obálka momentu M_x-šikmost 30° [vlastní tvorba]

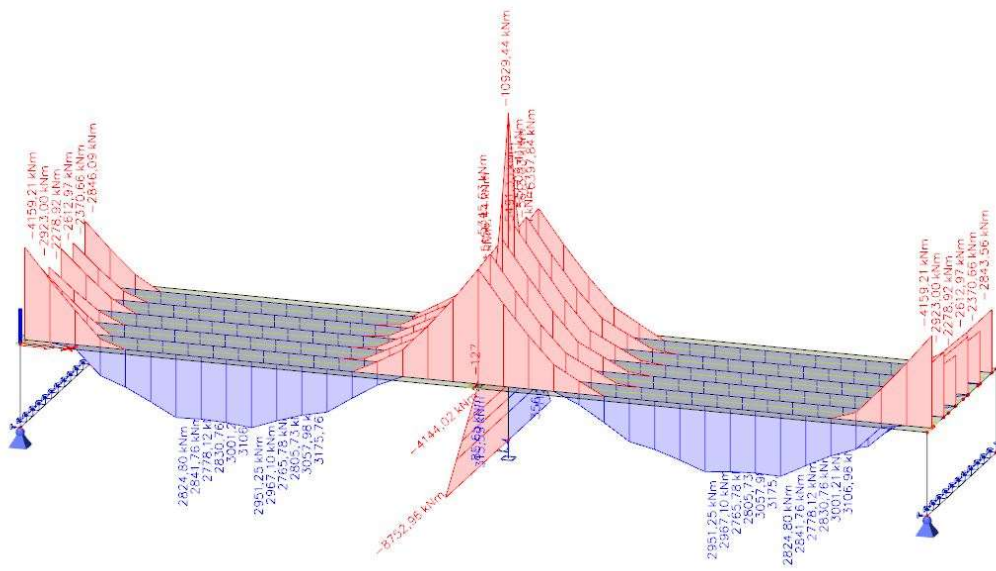
ŠIKMOST	POSUZOVANÉ MÍSTO	ŽEBRO 1		ŽEBRO 2		ŽEBRO 3		ŽEBRO 4		ŽEBRO 5		ŽEBRO 6		
		MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
		[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
90°	STATIVO	ZLEVA	-274,7	274,7	-415,33	415,33	-806,49	806,49	-449,23	449,23	-296,72	296,72	-34,62	34,62
		ZPRAVA	-31,48	31,48	-255,63	255,63	-409,12	409,12	-851,44	851,44	-467,34	467,34	-315,55	315,55
	PILÍŘ	HLAVA	156,95 resp. -156,95											
		PATA	156,95 resp. -156,95											
75°	STATIVO	ZLEVA	-557,8	141,06	-558,57	586,71	-753,17	985,65	-523,01	821,28	-595,71	259,36	-387,87	0
		ZPRAVA	-314,92	0	-526,28	194,68	-455,09	680,42	-802,64	1129,51	-653,76	678,69	-63,02	216,48
	PILÍŘ	HLAVA	758,76 resp. -76,35											
		PATA	758,76 resp. -76,35											
60°	STATIVO	ZLEVA	-630,37	3	-394,44	635,5757	-424,48	1169,16	-373,62	939,67	-669,84	783,66	-607,75	0
		ZPRAVA	-469,16	0	-553,23	98,51	-254,28	785,18	-535,76	1335,4	-535,46	209,51	-798,33	136,84
	PILÍŘ	HLAVA	924,67 resp. -500,45											
		PATA	924,67 resp. -500,45											
45°	STATIVO	ZLEVA	-451,09	49,13	0	976,27	-150,6	1288,52	0	1222,2	-460,93	413,05	-675,7	0
		ZPRAVA	-501,45	0	-290,3	257,71	0	1052,54	-244,83	1409,05	-70,12	1163,14	-683,24	245,2
	PILÍŘ	HLAVA	1066,95 resp. -1181,76											
		PATA	1066,95 resp. -1181,76											
30°	STATIVO	ZLEVA	0	467,88	0	1480,19	0	2506,46	0	1648,18	-146,84	651,78	-331,18	178,96
		ZPRAVA	-164,98	56,49	0	497,84	0	1574,75	0	2418,64	0	1599,23	-200,44	619,88
	PILÍŘ	HLAVA	1812,75 resp. -1555,10											
		PATA	1812,75 resp. -1555,10											

Tabulka č. 7: Vyhodnocení momentů M_x pro pilíř a stativo [vlastní tvorba]

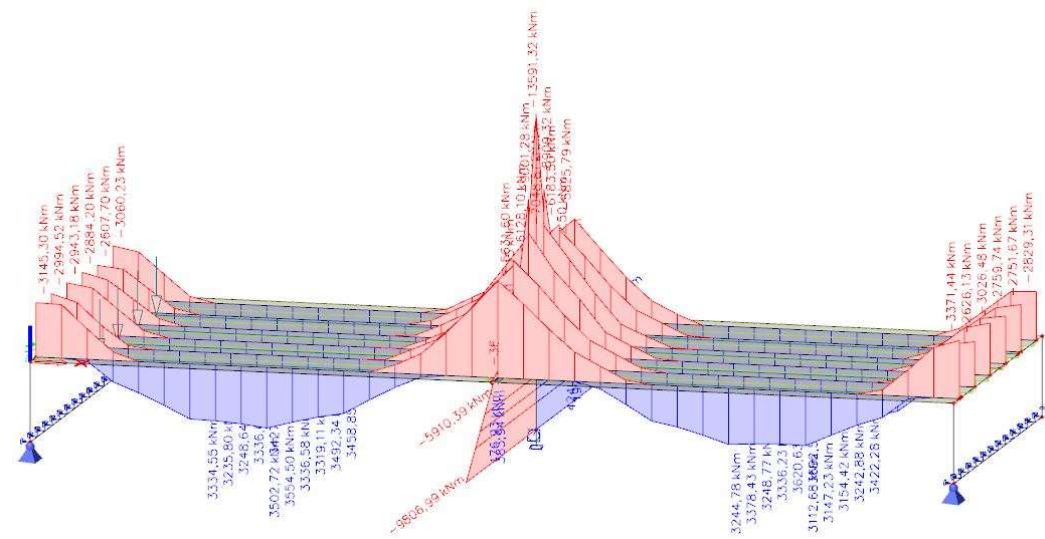
Z tabulky č. 7 je zřejmé, že torzní moment M_x v pilíři se vlivem šikmosti zvyšuje, skokový nárůst nastal mezi šikmostí 90° a 75°, poté až do šikmosti 45° roste jen mírně, teprve až mezi šikmostí 45° a 30° je další velký rozdíl. Na stativu torzní moment M_x roste směrem ke středním nosníkům, záporný moment vlivem šikmosti klesá, naopak kladný torzní moment vlivem šikmosti směrem ke středním nosníkům výrazně narůstá.

6.5 Vyhodnocení momentů M_y

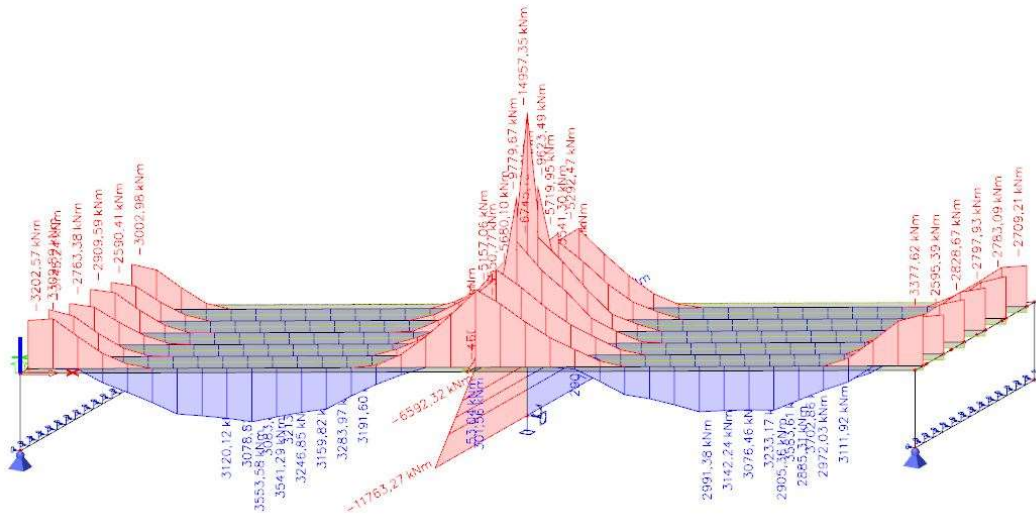
V této podkapitole zobrazím všechny obálky momentů M_y a jejich shrnutí v tabulce pro průřezy nad opěrou, v polovině rozpětí, nad pilířem, pilíř a stativo.



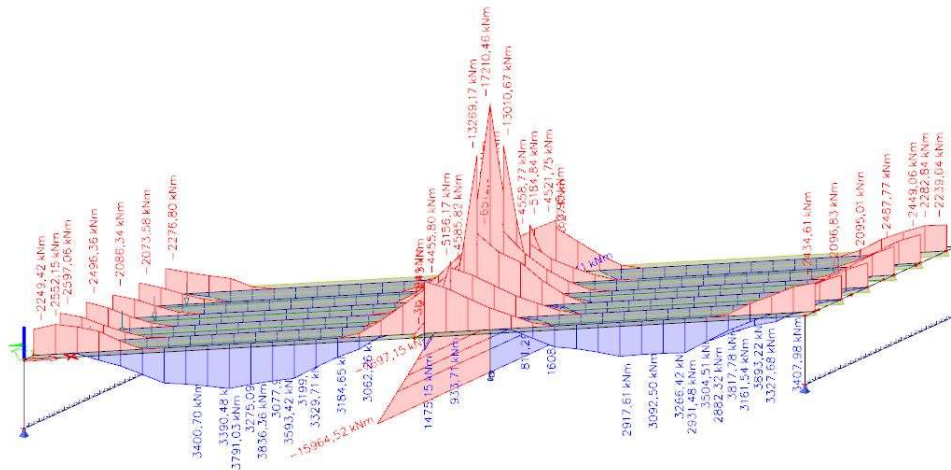
Obr.6.21: Obálka momentu M_y -šikmost 90° [vlastní tvorba]



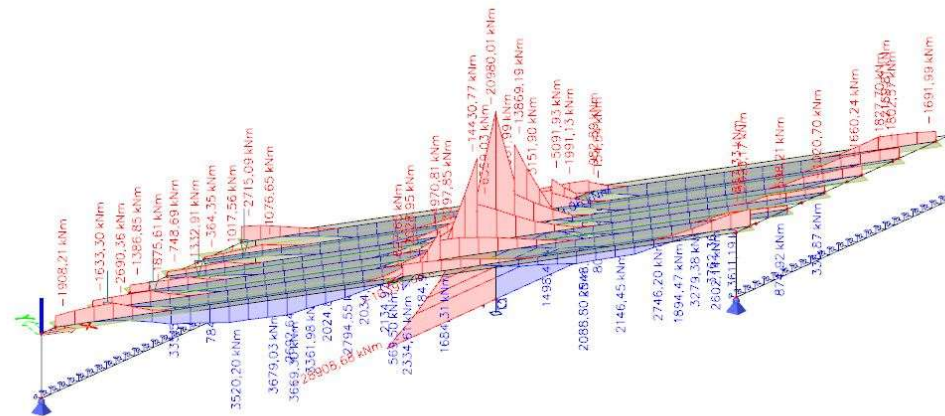
Obr.6.22: Obálka momentu M_y -šikmost 75° [vlastní tvorba]



Obr.6.23: Obálka momentu M_y -šikmost 60° [vlastní tvorba]



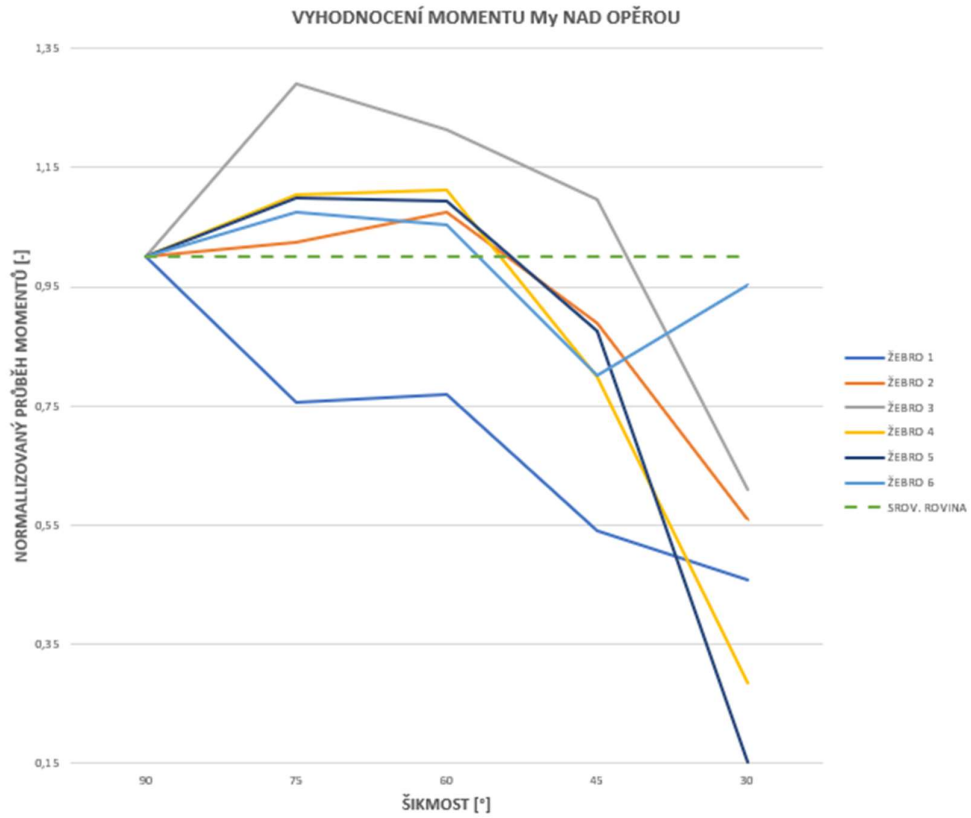
Obr.6.24: Obálka momentu M_y -šikmost 45° [vlastní tvorba]



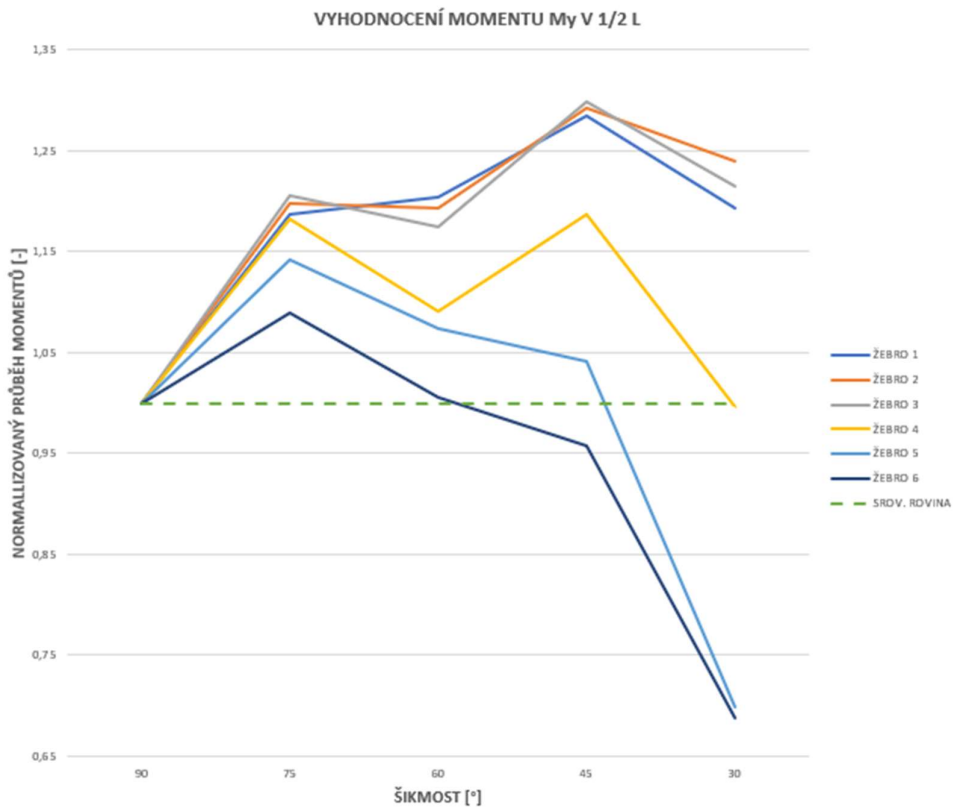
Obr.6.25: Obálka momentu M_y -šikmost 30° [vlastní tvorba]

ŠÍKMOST	POSUZOVANÉ MÍSTO	ŽEBRO 1		ŽEBRO 2		ŽEBRO 3		ŽEBRO 4		ŽEBRO 5		ŽEBRO 6		
		MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
		[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
90°	NAD OPĚROU	-4159,21	0	-2923	0	-2278,92	0	-2612,97	0	-2370,66	0	-2846,09	0	
	1/2 L	0	2951,25	0	2967,1	0	2765,78	0	2805,73	0	3057,98	0	3175,76	
	NAD PILÍŘEM	ZLEVA	-5159,44	0	-5345,63	0	-5491,33	0	-5613,03	0	-5509,41	0	-5397,84	0
	ZPRAVA	-5159,44	0	-5345,63	0	-5491,33	0	-5613,03	0	-5509,41	0	-5397,84	0	
	STATIVO	ZLEVA	0	315,59	-1921,57	0	-7411,22	0	-7251,65	0	-2431,71	0	-161,43	0
	ZPRAVA	-127,3	0	-2399,71	0	-7394,21	0	-7531,89	0	-1983,19	0	0	356,47	
	PILÍŘ	HLAVA	2921,84 resp. -4144,02											
PATA	5886,55 resp. -8752,96													
75°	NAD OPĚROU	-3145,3	0	-2994,52	0	-2943,18	0	-2884,2	0	-2607,7	0	-3060,23	0	
	1/2 L	0	3502,72	0	3554,5	0	3336,58	0	3319,11	0	3492,34	0	3458,85	
	NAD PILÍŘEM	ZLEVA	-5596,28	0	-5804,57	0	-6838,89	0	-6963,18	0	-6183,5	0	-5825,79	0
	ZPRAVA	-5631,6	0	-6128,1	0	-7048,81	0	-6792,23	0	-5891,04	0	-5810,41	0	
	STATIVO	ZLEVA	0	383,94	-2246,37	0	-7527,12	0	-8909,32	0	-3032,5	0	-379,38	0
	ZPRAVA	-369,9	0	-3116,15	0	-9001,28	0	-7406,56	0	-2258,56	0	0	424,8	
	PILÍŘ	HLAVA	5199,88 resp. -5910,39											
PATA	8350,48 resp. -9806,99													
60°	NAD OPĚROU	-3202,57	0	-3145,24	0	-2763,38	0	-2909,59	0	-2590,41	0	-3002,98	0	
	1/2 L	0	3553,58	0	3541,29	0	3246,85	0	3059,27	0	3283,97	0	3191,6	
	NAD PILÍŘEM	ZLEVA	-5015,79	0	-5116,47	0	-6285,59	0	-6654,6	0	-5719,95	0	-5292,47	0
	ZPRAVA	-5157,06	0	-5680,1	0	-6745,16	0	-6281,74	0	-5173,5	0	-5192,1	0	
	STATIVO	ZLEVA	-106,53	301,56	-2705,24	0	-8266,66	0	-9623,49	0	-3541,3	0	-669,79	0
	ZPRAVA	-602,56	0	-3550,77	0	-9779,67	0	-8060,4	0	-2637,75	0	-127,78	290,92	
	PILÍŘ	HLAVA	5897,87 resp. -6592,32											
PATA	10497,81 resp. -11763,27													
45°	NAD OPĚROU	-2249,42	0	-2597,06	0	-2496,36	0	-2086,34	0	-2073,58	0	-2276,8	0	
	1/2 L	0	3791,03	0	3836,36	0	3593,42	0	3329,09	0	3184,65	0	3039,5	
	NAD PILÍŘEM	ZLEVA	-3766,96	0	-3494,69	0	-5668,54	0	-6305,09	0	-4558,77	0	-4521,75	0
	ZPRAVA	-4455,8	0	-4585,82	0	-6512,09	0	-5653,46	0	-3529,4	0	-3890,64	0	
	STATIVO	ZLEVA	0	0	-408,65	933,71	-9286,4	0	-13010,7	0	-5184,84	0	-1160,95	0
	ZPRAVA	-959,45	1475,15	-5156,17	0	-13269,2	0	-8910,19	0	-331,74	811,29	0	1608,96	
	PILÍŘ	HLAVA	7183,41 resp. -7697,15											
PATA	15853,79 resp. -15964,52													
30°	NAD OPĚROU	-1908,21	0	-1633,3	0	-1386,85	0	-748,69	335,52	-364,35	784,99	-2715,09	0	
	1/2 L	0	3520,2	0	3679,03	0	3361,98	0	2794,55	0	2134,97	0	2184,96	
	NAD PILÍŘEM	ZLEVA	-1593,01	0	-2630,81	0	-5444,2	0	-5961,99	0	-3133,94	0	-1973	0
	ZPRAVA	-2028,95	0	-3297,85	0	-6569,03	0	-5444,47	0	-2705,94	0	-1694,03	0	
	STATIVO	ZLEVA	0	2334,61	-292,7	1684,31	-8281,59	0	-13869,2	0	-5091,93	0	-982,89	327,59
	ZPRAVA	-627,65	102,1	-4970,81	0	-14430,8	0	-7629,19	0	-155,64	1498,46	0	2548,77	
	PILÍŘ	HLAVA	9559,06 resp. -10399,06											
PATA	32189,62 resp. -28908,68													

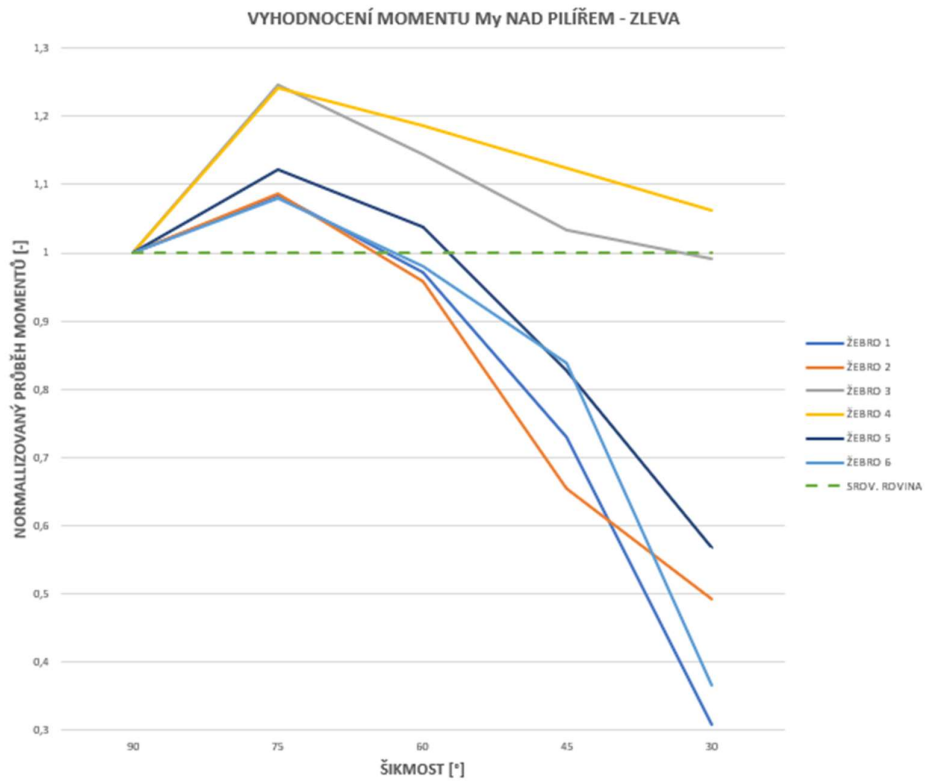
Tabulka č.8: Vyhodnocení momentů M_y [vlastní tvorba]



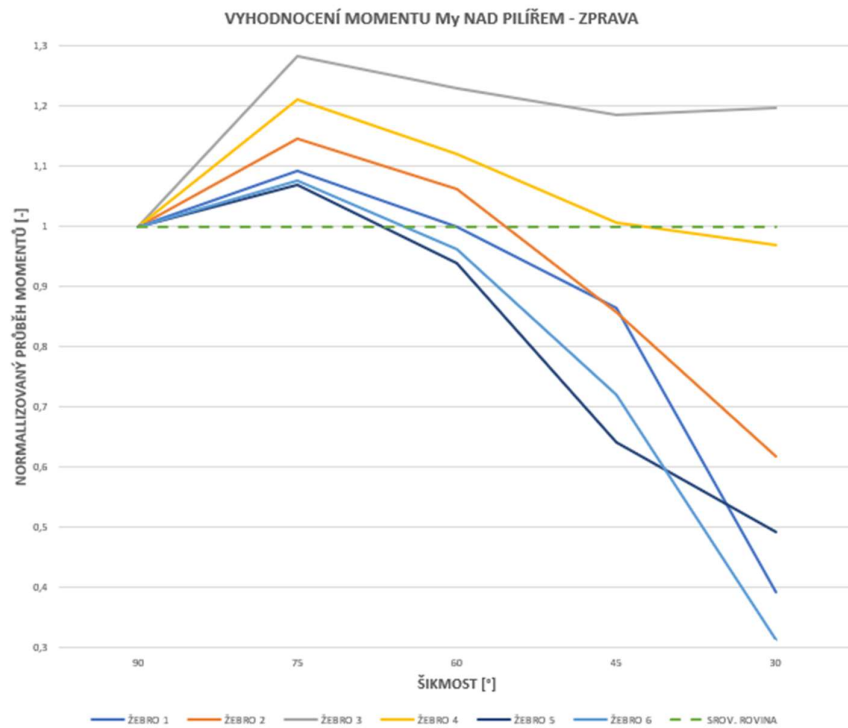
Graf č. 10: Grafické vyhodnocení momentu M_y nad opěrou – normalizovaný průběh [vlastní tvorba]



Graf č. 11: Grafické vyhodnocení momentu M_y v 1/2L – normalizovaný průběh [vlastní tvorba]



Graf č. 12: Grafické vyhodnocení momentu M_y nad pilířem – normalizovaný průběh zleva
[vlastní tvorba]

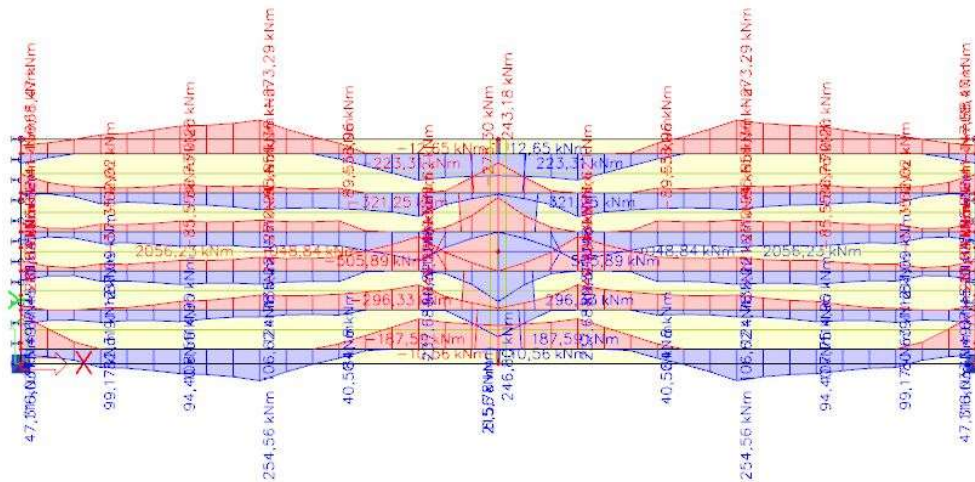


Graf č. 13: Grafické vyhodnocení momentu M_y nad pilířem – normalizovaný průběh zprava
[vlastní tvorba]

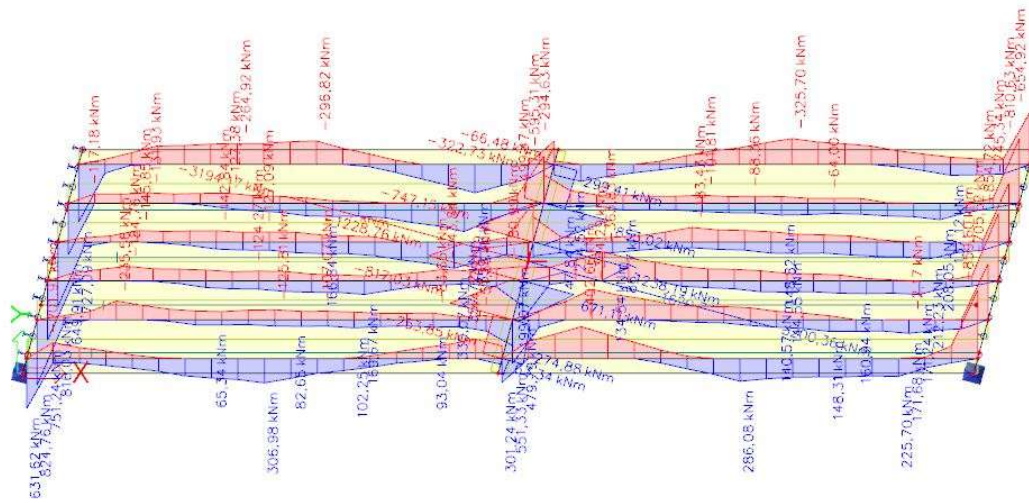
Z číselných hodnot v obrázku 6.30 lze říct, že záporný ohybový moment nad opěrou vlivem šikmosti výrazně klesá, což je zřejmé například z hodnot u žebra 1. U žebra 2, 3, 4 a 5 je pokles patrný až při šikmosti 30°, naopak u žebra 6 je pokles nevýrazný. Kladný ohybový moment v poli narůstá se zvyšující se šikmostí u žebor 1, 2 a 3. U ostatních žebor se zdá být nárůst či pokles kladného ohybového momentu v poli zanedbatelný, s výjimkou šikmosti 30°, tam kladný ohybový moment klesl dokonce pod hodnotu kladného ohybového momentu mostu se šikmostí 90°. Záporný ohybový moment nad pilířem se vlivem šikmosti u žebra 1, 2, 5 postupně snižuje, u žebor 3 a 4 je pokles či navýšení nevýrazné a u žebra 6 je pokles zřejmý až u šikmosti 30°. Nicméně nelze zanedbat obrovský nárůst ohybových momentů, které vznikají v pilíři. Kladný ohybový moment v patě pilíře mostu o šikmosti 90° je skoro šestinásobně menší, než u mostu se šikmostí 30°, v hlavě pilíře je tento nárůst více než trojnásobný. Ohybový moment na stativu převažuje zejména záporný, vlivem šikmosti poměrně velice značně narůstá, u mostu se šikmostí 30° je ohybový moment skoro dvojnásobný, než u mostu se šikmostí 90°.

6.6 Vyhodnocení momentů M_z

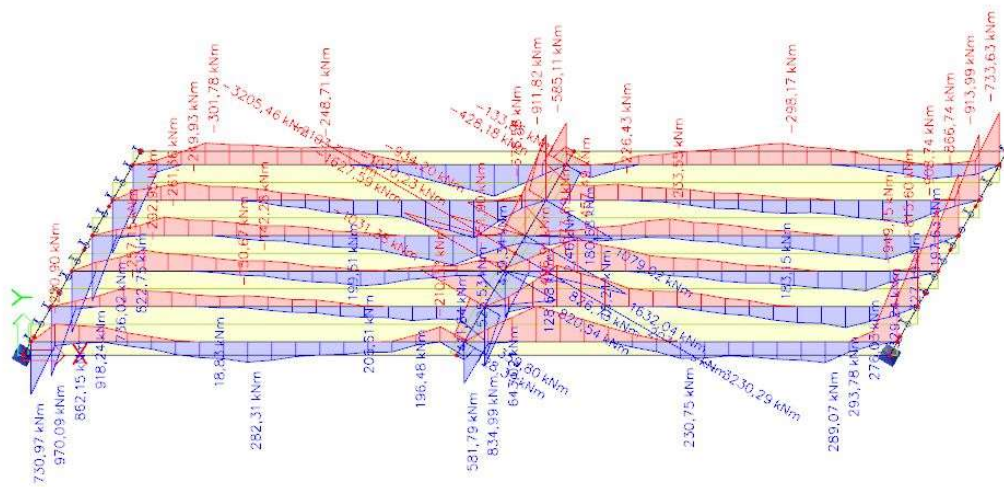
V této podkapitole zobrazím všechny obálky momentů M_z a jejich shrnutí v tabulce pouze pro pilíř, v nosnicích ani stativu jsem moment nevyhodnocoval, moment M_z je v při tomto konstrukčním řešení zanedbatelný, bude zachycen spráženou deskou, která je ve své rovině velice tuhá..



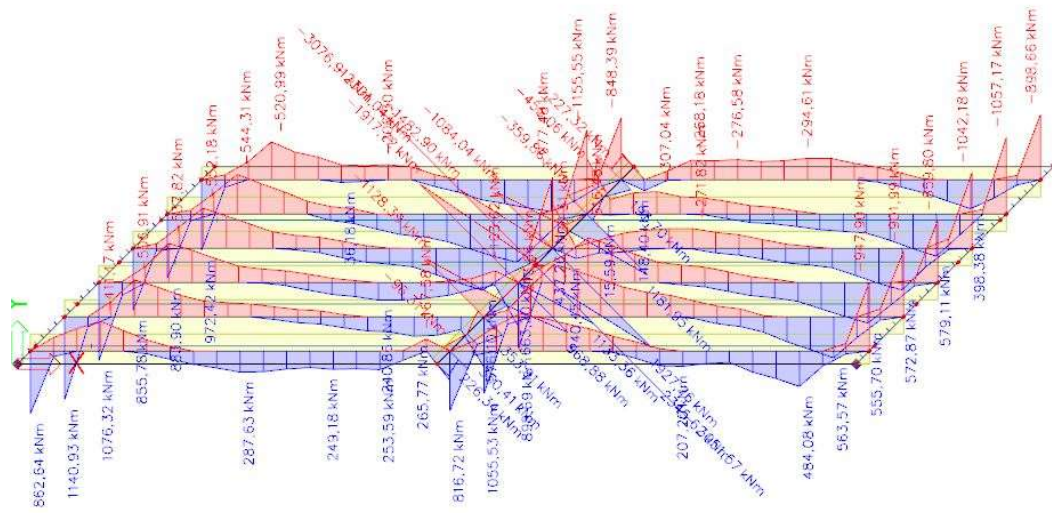
Obr.6.26: Obálka momentu M_z -šikmost 90° [vlastní tvorba]



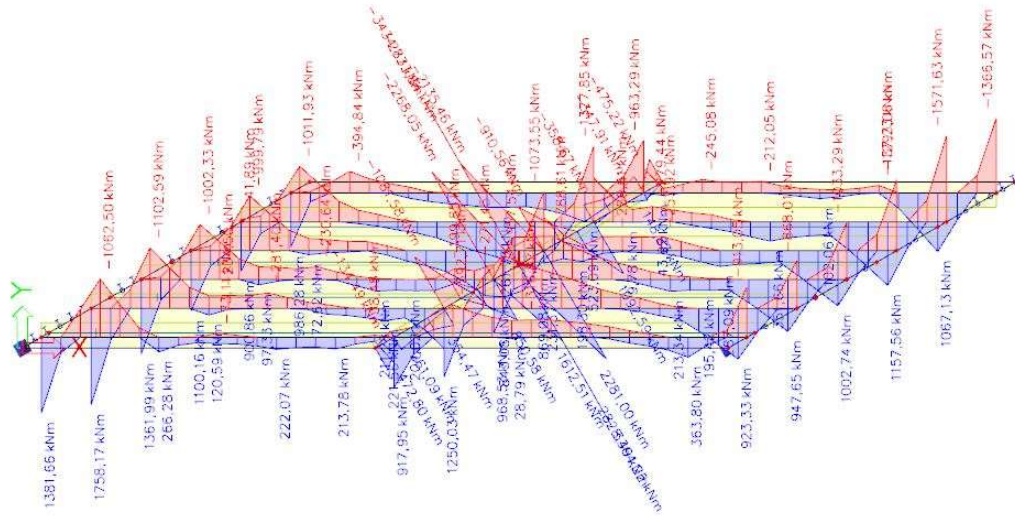
Obr.6.27: Obálka momentu M_z -šikmost 75° [vlastní tvorba]



Obr.6.28: Obálka momentu M_z -šikmost 60° [vlastní tvorba]



Obr.6.29: Obálka momentu M_z -šikmost 45° [vlastní tvorba]



Obr.6.30: Obálka momentu M_z -šikmost 30° [vlastní tvorba]

ŠIKMOST	POSUZOVANÉ MÍSTO		PILÍŘ
			MAX RESP. MIN
			[kNm]
90°	PILÍŘ	HLAVA	2056,23 resp. -2056,23
		PATA	1048,84 resp. -1048,84
75°	PILÍŘ	HLAVA	3200 resp. -3194,17
		PATA	1620 resp. -1690,67
60°	PILÍŘ	HLAVA	3230,29 resp. - 3205,46
		PATA	2035,48 resp. -2103,7
45°	PILÍŘ	HLAVA	3051,57 resp. -3076,91
		PATA	2345,62 resp. -2031,04
30°	PILÍŘ	HLAVA	2828,49 resp. -2873,84
		PATA	3364,22 resp. -3434,73

Tabulka č. 9: Vyhodnocení momentů Mz [vlastní tvorba]

7 Závěr

Cílem této práce bylo porovnat vznik vnitřních sil na základě šikmosti mostu, a tím posoudit vliv šikmosti na jeho návrh. Nejprve jsem navrhl geometrii a konstrukční řešení mostu, poté jsem spočítal zatížení a zkonstruoval pět výpočetních modelů v programu SCIA Engineer. Následně jsem vytvořil obálky vnitřních sil a odečítal hodnoty vnitřních sil na všech nosících v posuzovaných místech a ve všech modelech. Na základě toho jsem vytvořil tabulky hodnot vnitřních sil a snažil se vyhodnotit rozdíly, které jsou způsobeny vlivem šikmosti.

Dle vyhodnocení jednotlivých vnitřních sil, je účinek šikmosti velmi výrazný na velikosti vnitřních sil, které v konstrukci vznikají. Vlivem šikmosti se velká většina vnitřních sil v rozhodujících průřezech velice zvětšila oproti mostu se šikmostí 90° , se kterým jsem všechny tyto účinky porovnával. Vnitřní síly u mostů se šikmostí větší než 75° mnohokrát velmi skokově vzrostla a negativně tak ovlivnila celou konstrukci.

Tato studie byla velmi zábavná a hlavně naučná, dozvěděl jsem se jak velký vliv šikmost má a že pokud to jde, v budoucnu se pokusím abnormálně šikmé mosty nenavrhovat.

Literatura

- [1] ČSN EN 1990: Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. Praha: Český normalizační institut, 2004.

- [2] ČSN EN 1991-1-1: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Praha: Český normalizační institut, 2004.

- [3] ČSN EN 1991-1-5: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-5: Obecná zatížení – Zatížení teplotou. Praha: Český normalizační institut, 2005.

- [4] ČSN EN 1991-2: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 2: Zatížení mostů dopravou. Praha: Český normalizační institut, 2005.

- [5] ČSN 73 6244: Přechody mostů pozemních komunikací. Praha: Český normalizační institut, 08/2010.

- [6] ČSN EN 1992-1-1: Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: Český normalizační institut, 2005.

- [7] ČSN EN 1992-2: Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 2: Betonové mosty - Navrhování a konstrukční zásady. Praha: Český normalizační institut, 2005.

- [8] TP 54: Technické podmínky - Železobetonové desky spřažené s prefa nosníky mostů pozemních komunikací. Praha: Ministerstvo dopravy: Odbor pozemních komunikací, 2014.

- [9] TP 261 Integrované mosty, včetně opravy č.1, č. j. 157/2017-120-TN/1

- [10] Vzorový příklad návrhu a posouzení předpjatého mostu z prefabrikovaných nosníků se spřaženou ŽB deskou mostovky, M. Drahorád & K11133, 2016 v rámci projektu RPTM podpořeného MŠMT a ČVUT, revize 10/2021 – L. Boháček
- [11] ŠAFÁŘ, Roman. *Betonové mosty 1: přednášky*. V Praze: České vysoké učení technické, 2010. ISBN 978-80-01-04661-6.
- [12] Vzorové listy staveb pozemních komunikací: VL4 - Mosty. Ministerstvo dopravy, 2015.

Seznam obrázků

Obr.1.1: Půdorys modelu o šikmosti 90°.....	11
Obr.2.1: Příklad podélného řezu integrovaného mostu.....	12
Obr.2.2: Šikmost mostu (a-levá; b-pravá).....	13
Obr.2.3: Základní části mostu.....	13
Obr.2.4: Příčné uspořádání mostu.....	14
Obr.3.1: Ostatní stálé zatížení – šikmost 60°.....	15
Obr.3.2: Rovnoměrné zatížení UDL pro model LM1-pole 1 pruh 1 - šikmost 60°.....	17
Obr.3.3: Zatížení dvounápravou TS pro model LM1-pruh 1 – šikmost 60°.....	17
Obr.3.4: Šablona pro zatížení dvounápravou TS pro model LM1.....	17
Obr.3.5: Mapa maximálních teplot ve stínu.....	18
Obr.3.6: Mapa minimálních teplot ve stínu.....	18
Obr.3.7: Oteplení celého mostu-šikmost 60°.....	19
Obr.3.8: Ochlazení celého mostu-šikmost 60°.....	19
Obr.3.9: Zemní tlak v klidu-šikmost 60°.....	21
Obr.3.10: Aktivní zemní tlak-šikmost 60°.....	21
Obr.3.11: Pasivní zemní tlak-šikmost 60°.....	22
Orb.5.1: Žebro desky s rozměry a vlastnostmi SMP-Petra.....	24
Obr.5.2: Opěra vymodelovaná pomocí stěny.....	24
Obr.5.3: Podélný řez příčником nad pilířem.....	25
Obr.5.4: Půdorys pilíře.....	25
Obr.5.5: Podpory modelu u opěr.....	26
Obr.5.6: Modul reakce podloží Kh.....	27
Obr.6.1: Obálka normálových sil-šikmost 90°.....	28
Obr.6.2: Obálka normálových sil-šikmost 75°.....	28
Obr.6.3: Obálka normálových sil-šikmost 60°.....	29
Obr.6.4: Obálka normálových sil-šikmost 45°.....	29
Obr.6.5: Obálka normálových sil-šikmost 30°.....	29
Obr.6.6: Obálka posouvající síly Vy-šikmost 90°.....	33
Obr.6.7: Obálka posouvající síly Vy-šikmost 75°.....	34
Obr.6.8: Obálka posouvající síly Vy-šikmost 60°.....	34
Obr.6.9: Obálka posouvající síly Vy-šikmost 45°.....	35
Obr.6.10: Obálka posouvající síly Vy-šikmost 30°.....	35

Obr.6.11: Obálka posouvající síly Vz-šikmost 90°	36
Obr.6.12: Obálka posouvající síly Vz-šikmost 75°	37
Obr.6.13: Obálka posouvající síly Vz-šikmost 60°	37
Obr.6.14: Obálka posouvající síly Vz-šikmost 45°	38
Obr.6.15: Obálka posouvající síly Vz-šikmost 30°	38
Obr.6.16: Obálka momentu Mx-šikmost 90°	42
Obr.6.17: Obálka momentu Mx-šikmost 75°	43
Obr.6.18: Obálka momentu Mx-šikmost 60°	43
Obr.6.19: Obálka momentu Mx-šikmost 45°	44
Obr.6.20: Obálka momentu Mx-šikmost 30°	44
Obr.6.21: Obálka momentu My-šikmost 90°	46
Obr.6.22: Obálka momentu My-šikmost 75°	46
Obr.6.23: Obálka momentu My-šikmost 60°	47
Obr.6.24: Obálka momentu My-šikmost 45°	47
Obr.6.25: Obálka momentu My-šikmost 30°	47
Obr.6.26: Obálka momentu Mz-šikmost 90°	51
Obr.6.27: Obálka momentu Mz-šikmost 75°	52
Obr.6.28: Obálka momentu Mz-šikmost 60°	52
Obr.6.29: Obálka momentu Mz-šikmost 45°	53
Obr.6.30: Obálka momentu Mz-šikmost 30°	53

Seznam tabulek

Tabulka č. 1: Výpočet hodnot zemního tlaku v klidu.....	20
Tabulka č. 2: Výpočet hodnot aktivního zemního tlaku.....	21
Tabulka č. 3: Výpočet hodnot pasivního zemního tlaku.....	22
Tabulka č. 4: Vyhodnocení normálových sil.....	30
Tabulka č. 5: Vyhodnocení posouvajících sil V_y na pilíři.....	36
Tabulka č. 6: Vyhodnocení posouvajících sil V_z	39
Tabulka č. 7: Vyhodnocení momentů M_x	45
Tabulka č. 8: Vyhodnocení momentů M_y	48
Tabulka č. 9: Vyhodnocení momentů M_z	54

Seznam grafů

Graf č. 1: Porovnání zemních tlaků.....	23
Graf č.2: Grafické vyhodnocení normálové síly nad opěrou – normalizovaný průběh tlaku.....	31
Graf č.3: Grafické vyhodnocení normálové síly v $1/2L$ – normalizovaný průběh tlaku.....	31
Graf č.4: Grafické vyhodnocení normálové síly nad pilířem – normalizovaný průběh zleva.....	32
Graf č.5: Grafické vyhodnocení normálové síly nad pilířem – normalizovaný průběh zprava.....	32
Graf č. 6: Grafické vyhodnocení posouvající síly V_z nad opěrou – normalizovaný průběh max. hodnot.....	40
Graf č. 7: Grafické vyhodnocení posouvající síly V_z v $1/2L$ – normalizovaný průběh max. hodnot.....	40
Graf č. 8: Grafické vyhodnocení posouvající síly V_z nad pilířem – normalizovaný průběh max. hodnot zleva.....	41
Graf č. 9: Grafické vyhodnocení posouvající síly V_z nad pilířem – normalizovaný průběh max. hodnot zprava.....	41
Graf č. 10: Grafické vyhodnocení momentu M_y nad opěrou – normalizovaný průběh.....	49
Graf č. 11: Grafické vyhodnocení momentu M_y v $1/2L$ – normalizovaný průběh.....	49
Graf č. 12: Grafické vyhodnocení momentu M_y nad pilířem – normalizovaný průběh zleva.....	50
Graf č. 13: Grafické vyhodnocení momentu M_y nad pilířem – normalizovaný průběh zprava.....	50