



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**FAKULTA STAVEBNÍ
KATEDRA BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ**

Návrh integrovaného mostu z UHPFRC

Design of an UHPFRC integral bridge

Bakalářská práce

Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

Vedoucí práce: Ing. Roman Šafář, Ph.D.

Martin Lášek

Praha 2016



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Lášek	Jméno: Martin	Osobní číslo: 410827
Zadávající katedra: 11133 Katedra betonových a zděných konstrukcí		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Návrh integrovaného mostu z UHPFRC	
Název bakalářské práce anglicky: Design of an UHPFRC integral bridge	
Pokyny pro vypracování: Vypracujte statický výpočet, technickou zprávu a výkresovou dokumentaci.	
Seznam doporučené literatury: 1. Ultra High Performance Fibre-Reinforced Concrete - Recommendations, AFGC, 2013 2. Designing and Building with UHPFRC, Wiley, 2013	
Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Roman Šafář, Ph.D.	
Datum zadání bakalářské práce: 23.2.2016	Termín odevzdání bakalářské práce: 22.5.2016
 Podpis vedoucího práce	 Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

23. 2. 2016 Datum převzetí zadání	Lášek Podpis studenta(ky)
--------------------------------------	------------------------------

Prohlášení autora

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díle 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

podpis

Klíčová slova

Integrovaný most
Zatížení dopravou
Materiál UHPFRC
Izotropní model
Ortotropní model
Předpětí
Interakce konstrukce - zemina

Keywords

Integral bridge
Traffic load
Material UHPFRC
Isotropic model
Orthotropic model
Prestressing
Interaction structure - soil

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá návrhem nového mostu z předpjatého betonu. Most převádí lesní cestu přes dálnici D1. Most je navržen jako integrovaná konstrukce o dvou polích s rozpětím 2 x 24 m. Nosnou konstrukci v příčném řezu tvoří tři prefabrikované nosníky z materiálu UHPFRC. Stanovení zatížení, analýza konstrukce a posouzení z hlediska mezních stavů únosnosti a použitelnosti je provedeno podle platných evropských norem.

Abstract

The bachelor thesis deals with design of a new prestressed bridge. The bridge carries a forest road over the motorway D1. The bridge is designed as an integral structure with two spans of the length of 2 x 24 m. In the cross section, the superstructure consists of three precast beams made of UHPFRC. Determination of actions, analysis of performance of the structure and its verification from the point of view of serviceability as well as ultimate limit states is made according to the current European standards.

Použitá literatura

- 1) ČSN EN 1990 ed. 2: 2011 (73 0002) Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
- 2) Designing and Building with UHPFRC, Wiley, 2013
- 3) Šafář, R.: Betonové mosty 2 - přednášky, ČVUT 2014
- 4) Šafář, R.: Betonové mosty 2 - cvičení: návrh předpjatého mostu podle Eurokódů, ČVUT 2015
- 5) Ultra High Performance Fiber-Reinforced Concrete - Recommendations, AFGC, 2013

Chtěl bych zde využít příležitost a poděkovat panu Ing. Romanu Šafářovi, Ph.D. za jeho cenné rady a připomínky.

Martin Lášek

Návrh integrovaného mostu z UHPFRC

A. TECHNICKÁ ZPRÁVA

Obsah:

1. Úvod	1
2. Identifikační údaje mostu	1
3. Základní údaje o mostě	1
4. Všeobecný popis	2
4.1. Stavba a její zvláštnosti	2
4.2. Objekty stavby a vztah k území	2
5. Technické řešení	2
5.1. Zemní práce	2
5.2. Spodní stavba	2
5.3. Nosná konstrukce	3
5.4. Vozovka	3
5.5. Mostní vybavení	3
6. Statický výpočet	3
7. Závěr	4

1. Úvod

Bakalářská práce se zabývá návrhem a posouzením nového mostu z předpjatého betonu. Most převádí lesní cestu šířky 6,0 m přes dálnici D1 ve staničení km 107, 281 041. Na mostě nejsou chodníky. Most je navržen jako integrovaná konstrukce o dvou polích s rozpětím 2 x 24 m. Nosnou konstrukci v příčném řezu tvoří tři předpjaté prefabrikované nosníky z materiálu UHPFRC.

2. Identifikační údaje mostu

Objekt:	Nadjezd ev. č. D1-140
Překonávaná překážka:	Dálnice D1 - D28/120
Kategorie komunikace na mostě:	lesní cesta
Staničení křížení na D1:	km 107, 281 041
Úhel křížení:	90°
Výška průjezdného profilu:	4,80 m
Kraj:	Vysočina
Okres:	Jihlava
Správce:	Lesní družstvo ve Štokách, Štoky 261, 582 53 Štoky

3. Základní údaje o mostě

Charakteristika mostu:

Podle druhu převáděné komunikace:	pozemní komunikace
Podle překračované překážky:	přes silnici
Podle počtu mostních polí:	most o 2 polích
Podle počtu mostovkových podlaží:	jednopodlažní
Podle výškové polohy mostovky:	s horní mostovkou
Podle měnitelnosti základní polohy:	nepohyblivý
Podle plánované doby trvání:	trvalý
Podle průběhu trasy na mostě:	v přímé
Podle situačního uspořádání:	kolmý
Podle hmotné podstaty:	masivní
Podle členitosti nosné konstrukce:	plnostěnný
Podle výchozí charakteristiky:	rámový
Podle konstrukce uspořádání příčného řezu:	otevřeně uspořádaný
Podle omezené volné výšky: výškou	s neomezenou volnou
Délka přemostění:	46,800 m
Délka mostu:	61,818 m
Délka nosné konstrukce:	49,800 m
Rozpětí jednotlivých polí:	24,00 + 24,00 m
Šikmost mostu:	90°
Volná šířka mostu:	6,00 m
Šířka průchozího prostoru:	-
Šířka mezi zábradlími (svodidly):	6,00 m
Šířka mostu:	7,60 m
Šířka nosné konstrukce:	7,10 m
Výška mostu nad terénem:	6,20 m
Volná výška pod mostem:	5,20 m
Stavební výška:	1,285 m
Plocha nosné konstrukce:	7,60 x 49,80 = 378,48 m ²

4. Všeobecný popis

4.1. Stavba a její zvláštnosti

Most převádí lesní cestu přes dálnici D1. Kvůli nevyhovujícímu šířkovému uspořádání pod mostem byl navržen nový most, který bude vystavěn v místě stávajícího mostu.

4.2. Objekty stavby a vztah k území

Údaje o komunikaci pod mostem

Komunikace je v přímé. Výška nivelety v místě křížení je 613,938 m n. m., podélný spád nivelety je 2,2 % ve směru staničení. Stávající podjezdná výška 4,8 m bude zachována.

Údaje o komunikaci na mostě

Komunikace je v přímé. Výška nivelety v místě křížení je 620,629 m n. m., podélný spád nivelety je 0,8 % směrem k obci Zaječí. Příčný sklon je 2,5 % ve směru staničení dálnice D1. Jedná se o obslužnou komunikaci šířky 6,0 m. Chodníky na mostě nejsou.

Vztah k území

Most na D1 se nachází v extravilánu obce Smrčná, kraj Vysočina.

5. Technické řešení

5.1. Zemní práce

Stavební jámy pro opěry budou provedeny ve sklonu svahu 1:1. Pažení výkopu pro pilíř bude vytvořeno pomocí ocelových štětovic. Výkopový materiál se uskladní v místě staveniště a později se využije na terénní úpravy.

5.2. Spodní stavba

Statické posouzení spodní stavby není součástí návrhu. Spodní stavbu tvoří středový pilíř a dvě opěry z monolitického železobetonu se samostatnými vykonzolovanými rovnoběžnými křídly. Vzhledem k tomu, že je konstrukce navržena jako rámový integrovaný most, je spodní stavba monoliticky propojena s nosnou konstrukcí. Beton pro spodní stavbu je třídy C30/37-XF2+XD1 vyztužen betonářskou výztuží B500B.

Jedná se o integrovanou konstrukci s poddajnými koncovými opěrami. Z tohoto důvodu je přechodová deska navržena se stěnou na konci. Tloušťka přechodové desky je 0,30 m, tloušťka podkladního betonu je 0,1 m. Celková délka přechodové desky je 5,6 m. Šířka přechodových desek je 6,0 m. V příčném směru sleduje přechodová deska sklon vozovky. Uložení je provedeno kluzně. Přechodová deska má sklon horního povrchu 10% směrem do násypu. Beton přechodových desek je třídy C 25/30 XF2. Betonářská výztuž je z oceli B500B. Zásyp pod přechodovou deskou je vyztužen geomřížemi.

Statické posouzení základů není součástí návrhu. Je navrženo plošné založení na podkladní beton tloušťky min. 150 mm. Podkladní beton je třídy C16/20-X0, beton pro základové pasy je třídy C25/30-XA1. Půdorysně musí podkladní beton přesahovat základový pas o 500 mm.

5.3. Nosná konstrukce

Nosná konstrukce mostního objektu je navržena jako rámová. V příčném řezu ji tvoří tři prefabrikované předem předpjaté nosníky tvaru Π . Nosníky jsou vyrobeny z materiálu UHPFRC, což je vysokohodnotný beton vyztužený vlákny. Oproti běžnému betonu má velmi dobré vlastnosti v tahu i tlaku. Výška nosníků je 1,200 m, šířka 2,300 m a délka 24,275 m. Protože na nosníky se bude přímo pokládat konstrukce vozovky, osadí se tak, aby jejich horní deska kopírovala sklon budoucí vozovky na mostě. Nosník na brněnské straně bude mít atypické úžlabí, aby byl zajištěn příčný sklon pro odvedení vody z povrchu mostu. V příčném směru bude mezi nosníky ponechána technologická mezera 100 mm, aby bylo možno nosníky po osazení monoliticky spojit. Následně se nosníky monoliticky spojí v nadpodporových příčnicích i se spodní stavbou a předepnou se dodatečně volnými kabely. Při betonáži nadpodporových příčniců je nutné vložit do bednění průchodky pro volné kabely. Kvůli předpětí volnými kabely bude potřeba doplnit v poli ještě dva příčnický. Ty mohou být buď součástí prefabrikátu, nebo dodatečně monoliticky vybetonované. Návrh řešení je zpracován ve výkresové dokumentaci.

Předpětí předem se soudržností je tvořeno 4 lany $\varnothing 15,7$ mm v každé stojině nosníku, polovina lan je u podpor odseparována. Napínací napětí je 1473 MPa. Dodatečné předpětí volnými kabely je realizováno 2 kabely po 12 lanech $\varnothing 15,7$ mm v každém nosníku. Napínací napětí je taktéž 1473 MPa.

5.4. Vozovka

Na mostě je navržena vozovka v následující skladbě v celkové tloušťce 85mm:

Asfaltový beton pro obrusnou vrstvu ACO11	40 mm
Ochranná vrstva izolace MA 11 IV	40 mm
Izolace NAIP	5 mm
Pečetící vrstva	
Celkem	85 mm

5.5. Mostní vybavení

Římsy

Římsy jsou železobetonové monolitické, šířky 800 mm a budou do NK kotvené do dodatečně provedených vývrtů $\varnothing 28$ po 1 m a betonářskou výztuží. Horní povrch římsy je spádován směrem k vozovce 4%. Obruba římsy je nad vozovkou 150 mm. Beton je třídy C30/37-XF4+XD3.

Zábradelní svodidla

Na mostě je navrženo ocelové zábradelní svodidlo s úrovní zadržení H2.

Odvodnění

Rub spodní stavby bude odvodněn drenážní plastovou trubkou DN 150 umístěnou na spádovém betonu odvodnění obetonovanou drenážním betonem. Drenáž bude vyvedena skrz křídlo a vyústěna do příkopu pod mostem. Povrch vozovky a izolace je zajištěno příčným a podélným sklonem do osazených odvodňovačů, které jsou vyvedené pod most do vodorovného svodu, zaústěného do příkopů pod mostem.

6. Statický výpočet

Konstrukce byla vymodelována v software Scia Engineer 2015 - program pro řešení

prutových a deskových konstrukcí metodou konečných prvků. Výsledkem byly vnitřní síly na prutech a na deskách. Tyto síly byly následně použity pro vlastní statické posouzení konstrukce, které je detailně uvedeno v příloze statický výpočet.

7. Závěr

Konstrukce byla posouzena na mezní stavy únosnosti a mezní stavy použitelnosti. Konstrukce jako celek vyhověla. Z posouzení na mezní stavy použitelnosti je vidět, že izotropní model dává méně příznivé výsledky. Nejvíce je to patrné v oblasti podpor. Vzhledem k výsledkům statického výpočtu by bylo pravděpodobně možné snížit výšku prefabrikovaných nosníků.

Návrh integrovaného mostu z UHPFRC

B. STATICKÝ VÝPOČET

Obsah:

1. Úvod	1
2. Konstrukce	2
2.1. Schéma nosné konstrukce	2
2.1.1. Příčný řez	2
2.1.2. Podélný řez	3
2.2. Průřezové charakteristiky nosníku	4
2.3. Tuhost zeminových pružin	4
2.3.1. Podle normy ČSN 73 1004-81	4
2.3.2. Podle Schmitta	5
2.3.3. Porovnání metod	5
2.4. Ortotropní parametry modelu	6
3. Materiály	7
3.1. UHPFRC	7
3.2. Předpínací výztuž	9
4. Zatížení	10
4.1. Stálé zatížení	10
4.1.1. Vlastní tíha nosné konstrukce	10
4.1.2. Ostatní stálé zatížení	10
4.1.3. Nerovnoměrné poklesy podpěr	10
4.1.4. Zemní tlak	10
4.2. Proměnné zatížení	10
4.2.1. Zatížení dopravou	10
4.2.1.1. Model zatížení 1 (LM1).....	11
4.2.1.2. Model zatížení 2 (LM2).....	12
4.2.1.3. Model zatížení na únavu 3.....	13
4.2.1.4. Brzdné a rozjezdové síly	13
4.2.1.5. Zvětšení zemního tlaku vlivem dopravy	14
4.2.2. Rovnoměrné zvýšení a snížení teploty.....	14
4.2.3. Nerovnoměrná složka teploty	14
4.2.4. Staveništní zatížení.....	14
4.3. Příčný roznos	15
5. Napětí bez předpětí	16
5.1. Napětí z ortotropního modelu na prostředním nosníku.....	17
5.2. Napětí z ortotropního modelu na krajním nosníku	21

5.3. Napětí z izotropního modelu na prostředním nosníku - levá stojina	25
5.4. Napětí z izotropního modelu na prostředním nosníku -pravá stojina	29
5.5. Napětí z izotropního modelu na krajním nosníku - levá stojina ...	33
5.6. Napětí z izotropního modelu na krajním nosníku - pravá stojina	37
5.7. Redistribuce vlastní tíhy	41
5.7.1. Ortotropní model - krajní nosník	41
5.7.2. Ortotropní model - prostřední nosník.....	42
5.7.3. Izotropní model - krajní nosník, levá stojina	42
5.7.4. Izotropní model - krajní nosník, pravá stojina	43
5.7.5. Izotropní model - prostřední nosník.....	44
6. Rozhodující kombinace napětí bez předpětí.....	44
6.1. Kombinace pro MSP	44
6.1.1. Charakteristická kombinace	45
6.1.1.1. Ortotropní model - prostřední nosník.....	45
6.1.1.2. Ortotropní model - krajní nosník	46
6.1.1.3. Izotropní model - prostřední nosník, levá stojina	47
6.1.1.4. Izotropní model - prostřední nosník, pravá stojina	48
6.1.1.5. Izotropní model - krajní nosník, levá stojina	49
6.1.1.6. Izotropní model - krajní nosník, pravá stojina	50
6.1.2. Častá kombinace	51
6.1.2.1. Ortotropní model - prostřední nosník.....	51
6.1.2.2. Ortotropní model - krajní nosník	51
6.1.2.3. Izotropní model - prostřední nosník, levá stojina	52
6.1.2.4. Izotropní model - prostřední nosník, pravá stojina	53
6.1.2.5. Izotropní model - krajní nosník, levá stojina	53
6.1.2.6. Izotropní model - krajní nosník, pravá stojina	54
6.1.3. Kvazistálá kombinace	55
6.1.3.1. Ortotropní model - prostřední nosník.....	55
6.1.3.2. Ortotropní model - krajní nosník	56
6.1.3.3. Izotropní model - prostřední nosník, levá stojina	57
6.1.3.4. Izotropní model - prostřední nosník, pravá stojina	58
6.1.3.5. Izotropní model - krajní nosník, levá stojina	59
6.1.3.6. Izotropní model - krajní nosník, pravá stojina	60
6.2. Kombinace pro MSÚ	61
6.2.1. Ortotropní model - prostřední nosník.....	61
7. Předpětí.....	62
7.1. Konstrukční zásady	62
7.2. Předpětí předem se soudržností.....	62
7.2.1. Účinky předpětí na prostém nosníku	62

7.2.2. Účinky předpětí po redistribuci.....	63
7.2.2.1. Ortotropní model - prostřední nosník.....	63
7.2.2.2. Ortotropní model - krajní nosník.....	63
7.2.2.3. Izotropní model - prostřední nosník	64
7.2.2.4. Izotropní model - krajní nosník, levá stojina	65
7.2.2.5. Izotropní model - krajní nosník, pravá stojina	65
7.3. Předpětí volnými kabely	66
7.3.1. Předpětí na ortotropním modelu	66
7.3.2. Předpětí na izotropním modelu	67
8. Posouzení mezního stavu použitelnosti	68
8.1. Charakteristická kombinace včetně předpětí	68
8.1.1. Ortotropní model - prostřední nosník.....	68
8.1.2. Ortotropní model - krajní nosník.....	69
8.1.3. Izotropní model - prostřední nosník, levá stojina	70
8.1.4. Izotropní model - prostřední nosník, pravá stojina.....	71
8.1.5. Izotropní model - krajní nosník, levá stojina	72
8.1.6. Izotropní model - krajní nosník, pravá stojina	73
8.2. Častá kombinace včetně předpětí.....	74
8.2.1. Ortotropní model - prostřední nosník.....	74
8.2.2. Ortotropní model - krajní nosník.....	74
8.2.3. Izotropní model - prostřední nosník, levá stojina	75
8.2.4. Izotropní model - prostřední nosník, pravá stojina	76
8.2.5. Izotropní model - krajní nosník, levá stojina	76
8.2.6. Izotropní model - krajní nosník, pravá stojina	77
8.3. Kvazistálá kombinace včetně předpětí.....	78
8.3.1. Ortotropní model - prostřední nosník.....	78
8.3.2. Ortotropní model - krajní nosník.....	79
8.3.3. Izotropní model - prostřední nosník, levá stojina	80
8.3.4. Izotropní model - prostřední nosník, pravá stojina	81
8.3.5. Izotropní model - krajní nosník, levá stojina	82
8.3.6. Izotropní model - krajní nosník, pravá stojina	83
9. Posouzení mezního stavu únosnosti.....	84

1. Úvod

Konstrukce byla vymodelována v software Scia Enginneeer 2015 - program pro řešení prutových a deskových konstrukcí metodou konečných prvků. Základy byly modelovány jako prutové prvky, opěry a pilíř jako prvky deskové. Křídla do výpočtu zahrnuta nebyla, protože posudek se týká pouze nosné konstrukce.

Nosná konstrukce byla modelována dvěma způsoby. Jednou byl průřez prefabrikovaného nosníku vykreslen v programu Autocad 2016 a exportován do výpočtového modelu jako prutový prvek. Aby bylo v modelu zajištěné příčné roznášení mezi nosníky, byla do modelu zadána znovu deska nosníků jako deskový prvek. Tím je v modelu deska zadána dvakrát, a proto je nutné deskovému prvku přiřadit nulovou objemovou tíhu a ortotropní vlastnosti. Ortotropní deska bude mít po délce mostu nulovou tuhost a v příčném směru tuhost reálnou. Tento model je dále označován jako ototropní model. Ortotropní model má výhodu poměrně jednoduchého zadání konstrukce i vyhodnocení výsledků. Výsledkem jsou vnitřní síly v ose prutu, které jsou pro posudky přepočítány na napětí.

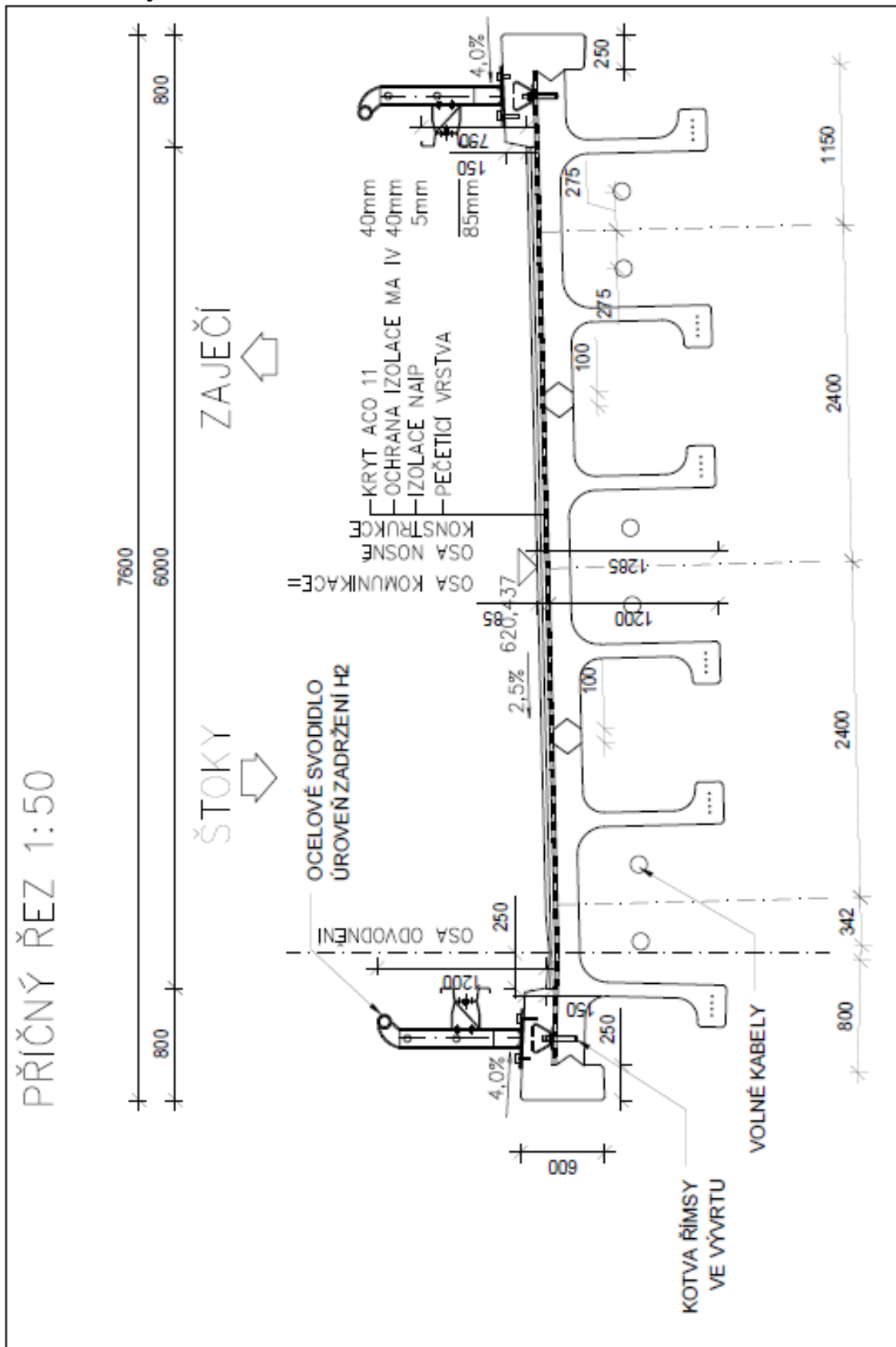
Druhý model je dále označován jako izotropní. Deska i stojiny nosníku jsou modelovány jako deskové prvky s izotropními vlastnostmi. Dolní příruby nosníku jsou modelovány jako prutový prvek. Izotropní model je složitější na zadání konstrukce i vyhodnocení výsledků. Výsledkem jsou měrné vnitřní síly nebo napětí v ose stojin, což dává dvojnásobný počet výsledků. V této práci se pracuje pouze s měrnými vnitřními silami, které jsou přepočítány na napětí. Tento model by měl být přesnější než model ortotropní.

Konstrukce je v modelu podepřena v základech pomocí vetknutí. Opěry jsou navíc ve směru osy x, která je totožná s podélnou osou mostu pružně podepřeny. Toto podepření představuje spolupůsobení mostního objektu s okolním zásypem.

2. Konstrukce

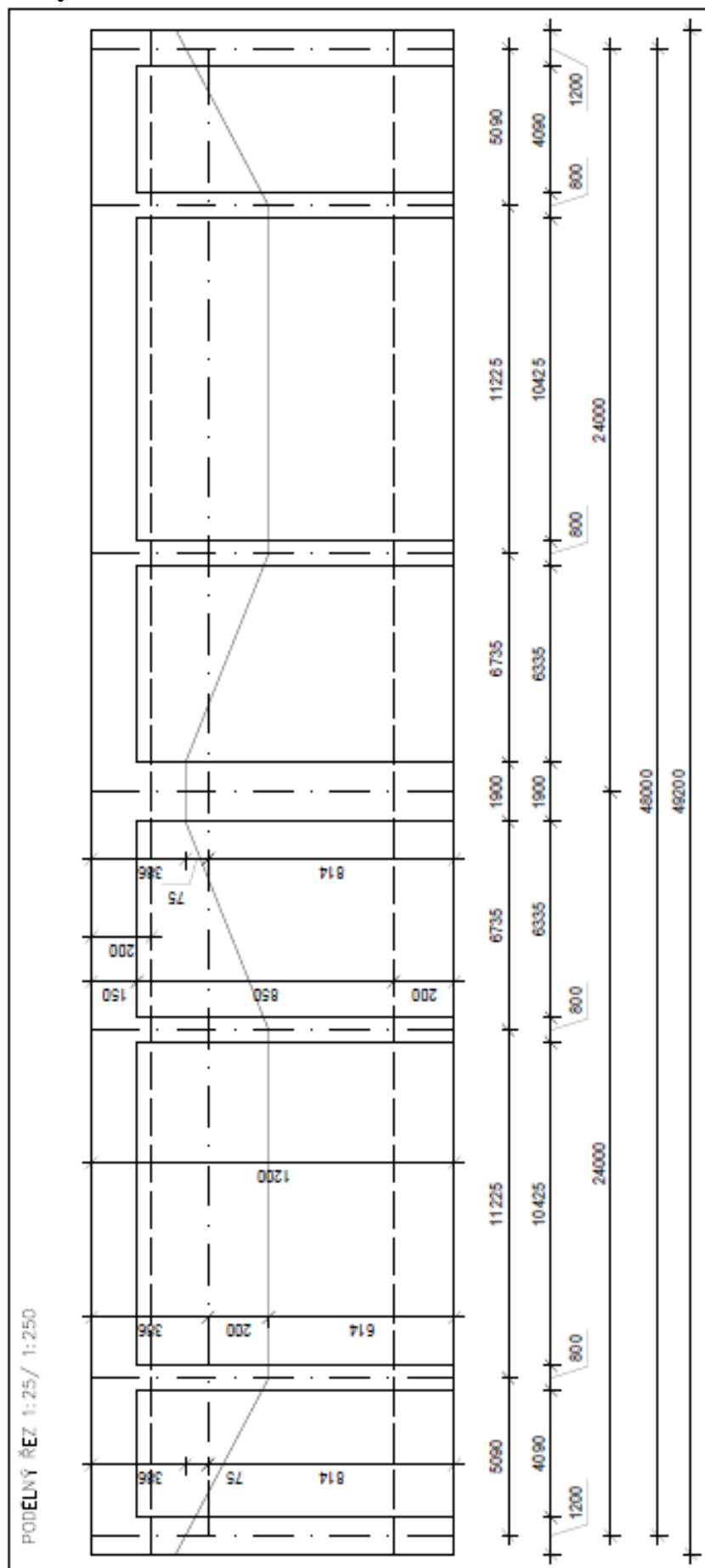
2.1. Schéma nosné konstrukce

2.1.1. Příčný řez



Obr. 1

2.1.2. Podélný řez



Obr. 2

2.2. Průřezové charakteristiky nosníku

Průřezové charakteristiky byly stanoveny v programu Autocad 2016 a Scia Engineer 2015:

plocha nosníku $A = 0,720282 \text{ m}^2$

výška nosníku $h = 1,200 \text{ m}$

poloha těžiště od horních vláken $z_t = 0,385888 \text{ m}$

moment setrvačnosti $I_y = 0,11768 \text{ m}^4$

horní průřezový modul $W^h = \frac{I_y}{z_t} = \frac{0,11768}{0,385888} = 0,304959 \text{ m}^3$

dolní průřezový modul $W^d = \frac{I_y}{h - z_t} = \frac{0,11768}{1,2000 - 0,385888} = 0,144550 \text{ m}^3$

2.3. Tuhost zeminových pružin

Tuhosti pružin byly stanoveny pomocí modulu reakce podloží k_h . Zde jsou uvedeny výpočty podle normy ČSN 73 1004-81 a metoda podle Schmitta. Šířka opěry je 6,8 m, výška opěry je 5,81 m a tloušťka opěry je 0,8 m.

2.3.1. Podle normy ČSN 73 1004-81

$$k_h = \frac{z * n_h}{D}$$

z je hloubka ve které stanovujeme tuhost

D je průměr piloty nebo šířka opěry

n_h je konstanta viz Tab 1.

Tab 1.

Konstanta n_h : [$\text{MN} \cdot \text{m}^{-3}$]

Stupeň hutnosti I_D	0,33	0,50	0,90
Suchý písek a štěrk	1,50	7,00	18,00
Vlhký písek a štěrk	2,50	4,50	11,00

Výsledky pro šířku 1 m

Hloubka	D	n_h	k_h
[m]	[m]	[kN/m^3]	[kN/m^3]
0,001	1,000	11000,0	11,0
0,652	1,000	11000,0	7172,0
1,485	1,000	11000,0	16335,0
2,126	1,000	11000,0	23386,0
2,698	1,000	11000,0	29678,0
3,599	1,000	11000,0	39589,0
4,336	1,000	11000,0	47696,0
5,073	1,000	11000,0	55803,0
5,810	1,000	11000,0	63910,0

Výsledky pro šířku opěry 6,8 m

Hloubka	D	n_h	k_h
[m]	[m]	[kN/m^3]	[kN/m^3]
0,001	6,800	11000,0	1,6
0,652	6,800	11000,0	1054,7
1,485	6,800	11000,0	2402,2
2,126	6,800	11000,0	3439,1
2,698	6,800	11000,0	4364,4
3,599	6,800	11000,0	5821,9
4,336	6,800	11000,0	7014,1
5,073	6,800	11000,0	8206,3
5,810	6,800	11000,0	9398,5

2.3.2. Podle Schmitta

$$k_h = \frac{2,1 * E_{oed}^{\frac{4}{3}}}{(E * I)^{\frac{1}{3}}}$$

E je modul pružnosti konstrukce

I je moment setrvačnosti

E_{oed} je edometrický modul

$$E_{oed} = \frac{E_d}{\beta}$$

$$\beta = 1 - \frac{2\nu^2}{1-\nu}$$

E_d je deformační modul zeminy za opěrou, do výpočtu je uvažována hodnota 12 kPa

ν je Poissonův součinitel, do výpočtu je uvažována hodnota 0,3

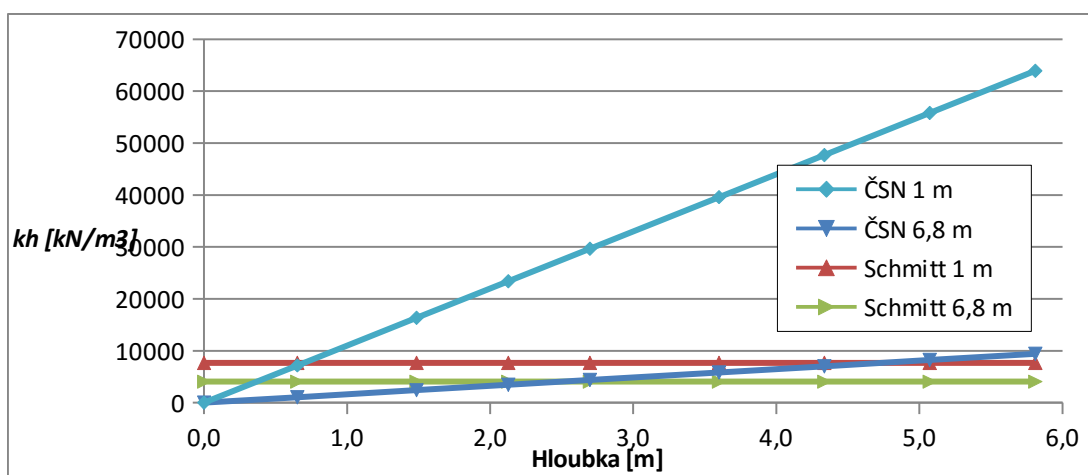
Výsledky pro šířku 1 m

Hloubka [m]	E_{oed} [kPa]	E_c [kPa]	I_c [m ⁴]	k_h [kN/m ³]
0,001	16154,0	3,3E+07	0,04267	7651,1
0,652	16154,0	3,3E+07	0,04267	7651,1
1,485	16154,0	3,3E+07	0,04267	7651,1
2,126	16154,0	3,3E+07	0,04267	7651,1
2,698	16154,0	3,3E+07	0,04267	7651,1
3,599	16154,0	3,3E+07	0,04267	7651,1
4,336	16154,0	3,3E+07	0,04267	7651,1
5,073	16154,0	3,3E+07	0,04267	7651,1
5,810	16154,0	3,3E+07	0,04267	7651,1

Výsledky pro šířku opěry 6,8 m

Hloubka [m]	E_{oed} [kPa]	E_c [kPa]	I_c [m ⁴]	k_h [kN/m ³]
0,001	16154,0	3,3E+07	0,29013	4038,5
0,652	16154,0	3,3E+07	0,29013	4038,5
1,485	16154,0	3,3E+07	0,29013	4038,5
2,126	16154,0	3,3E+07	0,29013	4038,5
2,698	16154,0	3,3E+07	0,29013	4038,5
3,599	16154,0	3,3E+07	0,29013	4038,5
4,336	16154,0	3,3E+07	0,29013	4038,5
5,073	16154,0	3,3E+07	0,29013	4038,5
5,810	16154,0	3,3E+07	0,29013	4038,5

2.3.3 Porovnání metod



Obr. 3

Z grafu je vidět, že tři ze čtyřech metod se celkem shodují a můžeme použít jeden z těchto tří výsledků nebo například jejich průměr. Pro další výpočet byly vybrány hodnoty podle Schmitta spočítané na celou šířku opěry. Modul reakce podloží se následně přenásobí plochou roztečí pružin a tím se získá tuhost pro zadání podpor do výpočetního programu.

2.4. Ortotropní parametry modelu

Zde jsou uvedené parametry ortotropie použité v ortotropním modelu podle vzorců a doporučených hodnot uvedených v Šafář, R.: Betonové mosty 2 - přednášky, ČVUT 2014. Uvedené hodnoty platí pokud je osa mostu shodná s osou x.

Parametry pro část desky mezi stojinami s tloušťkou 150 mm

$$D_{11} = 2 \text{ MNm}$$

$$D_{22} = \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \nu^2)} = \frac{52500 \cdot 0,15^3}{12 \cdot (1 - 0,18^2)} = 15,260 \text{ MNm}$$

$$D_{12} = 0 \text{ MNm}$$

$$D_{33} = \frac{1 - \nu}{2} \cdot \sqrt{D_{11} \cdot D_{22}} = \frac{1 - 0,18}{2} \cdot \sqrt{2 \cdot 15,260} = 2,265 \text{ MNm}$$

$$D_{44} = 2 \text{ MN/m}$$

$$D_{55} = G \cdot h = \frac{\frac{1}{\nu}}{2 \cdot \left(\frac{1}{\nu} + 1\right)} \cdot E \cdot h = \frac{\frac{1}{0,18}}{2 \cdot \left(\frac{1}{0,18} + 1\right)} \cdot 52500 \cdot 0,15 = 3336,864 \text{ MN/m}$$

$$d_{11} = 2 \text{ MN/m}$$

$$d_{22} = \frac{E \cdot h}{1 - \nu^2} = \frac{52500 \cdot 0,15}{1 - 0,18^2} = 8138,694 \text{ MN/m}$$

$$d_{12} = 0 \text{ MN/m}$$

$$d_{33} = \frac{1 - \nu}{2} \cdot \sqrt{d_{11} \cdot d_{22}} = \frac{1 - 0,18}{2} \cdot \sqrt{2 \cdot 8138,694} = 52,309 \text{ MN/m}$$

Parametry pro část desky vně stojin s tloušťkou 200 mm

$$D_{11} = 2 \text{ MNm}$$

$$D_{22} = \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \nu^2)} = \frac{52500 \cdot 0,2^3}{12 \cdot (1 - 0,18^2)} = 36,172 \text{ MNm}$$

$$D_{12} = 0 \text{ MNm}$$

$$D_{33} = \frac{1 - \nu}{2} \cdot \sqrt{D_{11} \cdot D_{22}} = \frac{1 - 0,18}{2} \cdot \sqrt{2 \cdot 36,172} = 3,487 \text{ MNm}$$

$$D_{44} = 2 \text{ MN/m}$$

$$D_{55} = G \cdot h = \frac{\frac{1}{\nu}}{2 \cdot \left(\frac{1}{\nu} + 1\right)} \cdot E \cdot h = \frac{\frac{1}{0,18}}{2 \cdot \left(\frac{1}{0,18} + 1\right)} \cdot 52500 \cdot 0,2 = 4449,153 \text{ MN/m}$$

$$d_{11} = 2 \text{ MN/m}$$

$$d_{22} = \frac{E \cdot h}{1 - \nu^2} = \frac{52500 \cdot 0,2}{1 - 0,18^2} = 10852 \text{ MN/m}$$

$$d_{12} = 0 \text{ MN/m}$$

$$d_{33} = \frac{1 - \nu}{2} \cdot \sqrt{d_{11} \cdot d_{22}} = \frac{1 - 0,18}{2} \cdot \sqrt{2 \cdot 10852} = 60,402 \text{ MN/m}$$

3. Materiály

3.1. UHPFRC

charakteristická pevnost v tlaku ve stáří 28 dnů $f_{ck} = 161$ MPa

průměrná hodnota válcové pevnosti betonu v tlaku $f_{cm} = 169$ MPa

$$\text{návrhová pevnost v tlaku } f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} * f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{0,9 * 161}{1,5} = 96,6 \text{ MPa}$$

průměrná hodnota pevnosti betonu v tahu $f_{ctm} = 15,7$ MPa

sečnový modul pružnosti betonu $E_{cm} = 50,0$ GPa

tečnový modul pružnosti $E_c = 1,05 * E_{cm} = 1,05 * 50,0 = 52,5$ GPa

Poissonův součinitel $\nu = 0,18$

Stanovení pevnosti betonu v tlaku v čase $t = 3$ dny kdy dojde k vnesení předpětí se soudržností:

$$f_{ck}(3) = f_{cm}(3) - 8,0 \text{ MPa}$$

$$f_{cm}(3) = \beta_{cc}(3) * f_{cm}$$

$$\beta_{cc}(3) = \exp(s * (1 - \sqrt{\frac{28}{3}})) = \exp(0,2 * (1 - \sqrt{\frac{28}{3}})) = 0,663$$

kde $s = 0,2$ pro rychle tvrdnoucí vysokopevnostní cementy

$$f_{cm}(3) = \beta_{cc}(3) * f_{cm} = 0,663 * 169 = 112 \text{ MPa}$$

$$f_{ck}(3) = f_{cm}(3) - 8,0 \text{ MPa} = 112 - 8 = 104 \text{ MPa}$$

Stanovení pevnosti betonu v tahu v čase $t = 3$ dny:

$$f_{ctm}(3) = (\beta_{cc}(3))^\alpha * f_{ctm} = (0,663)^1 * 15,7 = 10,4 \text{ MPa}$$

kde $\alpha = 1$ pro $t < 28$ dní

Stanovení součinitele dotvarování, který bude využit pro redistribuci vnitřních sil:

$$\varphi(t, t_0) = \varphi_0 * \beta_c(t, t_0)$$

kde φ_0 je základní součinitel dotvarování

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} * \beta(f_{cm}) * \beta(t_0)$$

$$\varphi_{RH} = \left(1 + \frac{1 - \frac{RH}{100}}{0,1 * \sqrt[3]{h_0}} * \alpha_1\right) * \alpha_2 \quad \text{pro } f_{cm} > 35 \text{ MPa}$$

RH je relativní vlhkost okolního prostředí v %, do výpočtu je uvažována hodnota 80%

h_0 je náhradní rozměr prvku v mm

$$h_0 = \frac{2 * A_c}{u} = \frac{2 * 720282}{9400,5} = 153 \text{ mm}$$

A_c je plocha průřezu v mm²

u je obvod prvku vystavený okolnímu prostředí

$$\beta(f_{cm}) = \frac{16,8}{\sqrt{f_{cm}}} = \frac{16,8}{\sqrt{169}} = 1,292$$

$$\beta(t_0) = \frac{1}{0,1 + t_0^{0,2}}$$

$$\beta_c(t, t_0) = \left(\frac{t - t_0}{\beta_H + t - t_0}\right)^{0,3}$$

$$\beta_H = 1,5 * (1 + (0,012 * RH)^{18}) * h_0 + 250 * \alpha_3 < 1500 * \alpha_3 \quad \text{pro } f_{cm} > 35 \text{ MPa}$$

$$\alpha_1 = \left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{0,7} = \left(\frac{35}{169}\right)^{0,7} = 0,332$$

$$\alpha_2 = \left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{0,2} = \left(\frac{35}{169}\right)^{0,2} = 0,730$$

$$\alpha_3 = \left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{0,5} = \left(\frac{35}{169}\right)^{0,5} = 0,455$$

$$\beta_H = 1,5 * (1 + (0,012 * 80)^{18}) * 153 + 250 * 0,455 < 1500 * 0,455$$

$$\beta_H = 1,5 * (1 + (0,012 * 80)^{18}) * 153 + 250 * 0,455 < 1500 * 0,455$$

$$\beta_H = 453,880 < 682,625$$

$$\beta_H = 453,880$$

$$\varphi_{RH} = \left(1 + \frac{1 - \frac{80}{100}}{0,1 * \sqrt[3]{153}} * 0,332\right) * 0,730 = 0,820$$

Stanovení součinitele dotvarování pro čas $t = 365$ dní tj. čas, kdy bude konstrukce uvedena do provozu a čas $t_0 = 3$ dny tj. čas vnesení předpětí předem:

$$\beta(t_0) = \frac{1}{0,1 + t_0^{0,2}} = \frac{1}{0,1 + 3^{0,2}} = 0,743$$

$$\beta_c(t, t_0) = \left(\frac{t - t_0}{\beta_H + t - t_0}\right)^{0,3} = \left(\frac{365 - 3}{453,880 + 365 - 3}\right)^{0,3} = 0,784$$

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} * \beta(f_{cm}) * \beta(t_0) = 0,820 * 1,292 * 0,743 = 0,788$$

$$\varphi(t, t_0) = \varphi_0 * \beta_c(t, t_0) = 0,788 * 0,784 = 0,617$$

Stanovení součinitele dotvarování pro čas $t = 365$ dní tj. čas, kdy bude konstrukce uvedena do provozu a čas $t_1 = 28$ dní tj. čas vnesení předpětí volnými kabely:

$$\beta(t_1) = \frac{1}{0,1 + t_1^{0,2}} = \frac{1}{0,1 + 28^{0,2}} = 0,488$$

$$\beta_c(t, t_1) = \left(\frac{t - t_1}{\beta_H + t - t_1}\right)^{0,3} = \left(\frac{365 - 28}{453,880 + 365 - 28}\right)^{0,3} = 0,774$$

$$\varphi_1 = \varphi_{RH} * \beta(f_{cm}) * \beta(t_1) = 0,820 * 1,292 * 0,488 = 0,518$$

$$\varphi(t, t_1) = \varphi_1 * \beta_c(t, t_1) = 0,518 * 0,774 = 0,401$$

Stanovení součinitele dotvarování pro čas $t_1 = 28$ dní tj. čas vnesení předpětí volnými kabely a čas $t_0 = 3$ dny tj. čas vnesení předpětí předem:

$$\beta(t_0) = \frac{1}{0,1 + t_0^{0,2}} = \frac{1}{0,1 + 3^{0,2}} = 0,743$$

$$\beta_c(t_1, t_0) = \left(\frac{t_1 - t_0}{\beta_H + t_1 - t_0}\right)^{0,3} = \left(\frac{28 - 3}{453,880 + 28 - 3}\right)^{0,3} = 0,412$$

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} * \beta(f_{cm}) * \beta(t_0) = 0,820 * 1,292 * 0,743 = 0,788$$

$$\varphi(t_1, t_0) = \varphi_0 * \beta_c(t_1, t_0) = 0,788 * 0,412 = 0,325$$

Stanovení součinitele dotvarování pro čas $t = 36500$ dní tj. čas konce životnosti konstrukce a čas $t_0 = 3$ dny tj. čas vnesení předpětí předem:

$$\beta(t_0) = \frac{1}{0,1+t_0^{0,2}} = \frac{1}{0,1+3^{0,2}} = 0,743$$

$$\beta_c(t,t_0) = \left(\frac{t-t_0}{\beta_H+t-t_0} \right)^{0,3} = \left(\frac{36500-3}{453,880+36500-3} \right)^{0,3} = 0,996$$

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} * \beta(f_{cm}) * \beta(t_0) = 0,820 * 1,292 * 0,743 = 0,788$$

$$\varphi(t,t_0) = \varphi_0 * \beta_c(t,t_0) = 0,788 * 0,996 = 0,785$$

Stanovení součinitele dotvarování pro čas $t = 36500$ dní tj. čas konce životnosti konstrukce a čas $t_1 = 28$ dní tj. čas vnesení předpětí volnými kabely:

$$\beta(t_1) = \frac{1}{0,1+t_1^{0,2}} = \frac{1}{0,1+28^{0,2}} = 0,488$$

$$\beta_c(t,t_1) = \left(\frac{t-t_0}{\beta_H+t-t_1} \right)^{0,3} = \left(\frac{36500-28}{453,880+36500-28} \right)^{0,3} = 0,996$$

$$\varphi_1 = \varphi_{RH} * \beta(f_{cm}) * \beta(t_1) = 0,820 * 1,292 * 0,488 = 0,518$$

$$\varphi(t,t_1) = \varphi_1 * \beta_c(t,t_1) = 0,518 * 0,996 = 0,516$$

Stanovení tečnového modulu pružnosti v čase $t_0 = 3$ dny:

$$E_c(t) = \left(\frac{f_{cm}(t)}{f_{cm}} \right)^{0,3} * E_c = \left(\frac{112}{169} \right)^{0,3} * 52,5 = 46,410 \text{ GPa}$$

3.2. Předpínací výztuž

Veškerá předpínací výztuž je navržena z lan $\varnothing 15,7$ mm, které mají následující vlastnosti:

plocha jednoho lana

$$A_{pl} = 150 \text{ mm}^2$$

charakteristická pevnost předpínací oceli v tahu

$$f_{pk} = 1860,0 \text{ MPa}$$

charakteristická smluvní mez kluzu 0,1 %

$$f_{p0,1k} = 0,88 * f_{pk} = 0,88 * 1860,0 =$$

1636,8 MPa

návrhová hodnota napětí v předpínací oceli

$$f_{pd} = \frac{f_{p0,1k}}{\gamma_s} = \frac{1636,8}{1,15} = 1423 \text{ MPa}$$

maximální předpínací napětí

$$\sigma_{p,max} = \min \{ 0,8 * f_{pk} ; 0,9 * f_{p0,1k} \}$$

= $\min \{ 0,8 * 1860,0 ; 0,9 * 1636,8 \} = \min \{ 1488 ; 1473 \} = 1473 \text{ MPa}$

4. Zatížení

Zatížení bylo zadáváno v charakteristických hodnotách.

4.1 Stálé zatížení

4.1.1 Vlastní tíha nosné konstrukce

$$\text{Nosník} \quad g_{0,1} = 26 \cdot 0,720282 = 18,727 \text{ kN/m}$$

Byly vytvořeny dva zatěžovací stavy. V prvním byl nosník podepřen jako prostý nosník, což reprezentuje fázi před zmonolitněním v konstrukci. Druhý zatěžovací stav představuje vlastní tíhu zmonolitněné rámové konstrukce, tento stav byl automaticky vygenerován ve statickém programu.

4.1.2 Ostatní stálé zatížení

a) Střední hodnota		
ŽB římsa - konzola	$25 \cdot 0,147 =$	3,675 kN/m
Zábradelní svodidlo		2,000 kN/m

celkem	$(g-g_0)_{1m} =$	5,675 kN/m
--------	------------------	------------

ŽB římsa - plošné	$25 \cdot 0,235 =$	5,875 kN/m ²
Kryt ACO 11	$25 \cdot 0,040 =$	1,000 kN/m ²
Ochrana izolace MA IV	$25 \cdot 0,040 =$	1,000 kN/m ²
Izolace NAIP	$23 \cdot 0,005 =$	0,115 kN/m ²

celkem	$(g-g_0)_{2m} =$	7,990 kN/m ²
--------	------------------	-------------------------

b) Horní charakteristická hodnota

$(g-g_0)_{1k,sup} =$	$3,675 + 2,000 =$	5,675 kN/m
$(g-g_0)_{2k,sup} =$	$1,4 \cdot (1 + 1 + 0,115) + 5,875 =$	8,836 kN/m ²

c) Dolní charakteristická hodnota

$(g-g_0)_{1k,inf} =$	$3,675 + 2,000 =$	5,675 kN/m
$(g-g_0)_{2k,inf} =$	$0,8 \cdot (1 + 1 + 0,115) + 5,875 =$	7,567 kN/m ²

4.1.3 Nerovnoměrné poklesy podpěr

Uvažují se poklesy jednotlivých podpěr hodnotou 5 mm. Budou zadány tři zatěžovací stavy a výsledkem bude obálka vnitřních sil z těchto stavů.

4.1.4 Zemní tlak

Uvažuje se zatížení zemním tlakem v klidu:

$$g_z = \frac{18 \cdot 5,81 \cdot 0,3}{1 - 0,3} = 44,820 \text{ kN/m}^2$$

4.2. Proměnné zatížení

4.2.1 Zatížení dopravou

Volná šířka mezi svodidly je 6,0 m. Z toho vyplývá, že jsou na mostě uvažovány dva zatěžovací pruhy, každý šířky 3,0 m. Kominikace na mostě je lesní cesta a proto se jedná o pozemní komunikaci skupiny 2, která má jiné součinitele.

4.2.1.1 Model zatížení 1 (LM1)

	Q (kN)	α_Q	$Q \cdot \alpha_Q$ (kN)	q (kN/m ²)	α_q	$q \cdot \alpha_q$ (kN/m ²)
Pruh 1	300	0,8	240	9,0	0,45	4,050
Pruh 2	200	0,8	160	2,5	1,60	4,000

Převedení nápravové síly na plošné zatížení

Kontaktní plocha na vozovce 0,4*0,4 m

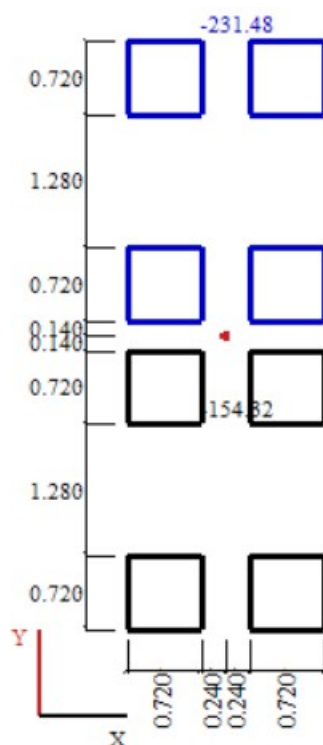
Uvažováno roznesení pod úhlem 45° na osu desky: $0,4+2 \cdot (0,085+0,075) = 0,72$ m

$$\text{Pruh 1} \quad q = \frac{\frac{Q \cdot \alpha_Q}{2}}{A} = \frac{\frac{240}{2}}{0,72^2} = 231,481 \text{ kN/m}^2$$

Pruh 2

$$q = \frac{\frac{Q \cdot \alpha_Q}{2}}{A} = \frac{\frac{160}{2}}{0,72^2} = 154,321 \text{ kN/m}^2$$

Schéma nápravového zatížení



Obr. 4

Rovnoměrné spojitě zatížení (UDL) bylo uvažováno vždy na jedno mostní pole a poté na celý most současně. Z těchto tří zatěžovacích stavů vznikla obálka.

Nápravové síly (TS) byly zadávány po délce mostu do jednotlivých řezů. Řezy jsou vždy v teoretickém místě uložení, v lici podpěry a v desetinách světlých rozpětí mostního pole. Pro další posouzení se pracuje s obálkou vnitřních sil.

4.2.1.2 Model zatížení 2 (LM2)

Nápravová síla $Q_{ak} \cdot \beta_Q = 400 \cdot 0,8 = 320,0 \text{ kN}$

Převedení nápravové síly na plošné zatížení

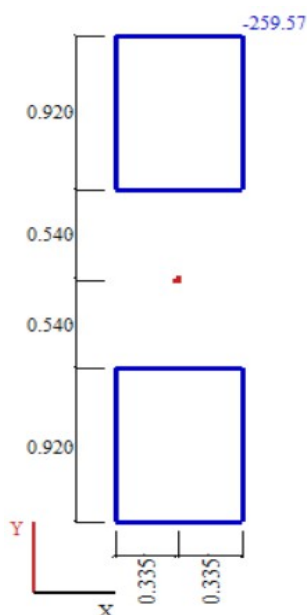
Kontaktní plocha na vozovce $0,35 \cdot 0,6 \text{ m}$

Uvažováno roznesení pod úhlem 45° na osu desky: $0,35 + 2 \cdot (0,085 + 0,075) = 0,67 \text{ m}$

Uvažováno roznesení pod úhlem 45° na osu desky: $0,60 + 2 \cdot (0,085 + 0,075) = 0,92 \text{ m}$

$$q = \frac{\frac{Q \cdot \beta_Q}{2}}{A} = \frac{\frac{320}{2}}{0,67 \cdot 0,92} = 259,572 \text{ kN/m}^2$$

Schéma nápravového zatížení



Obr. 5

Model zatížení 2 je určen pro lokální ověření konstrukce. Nápravová síla byla zadávána v příčném směru tak, aby hrana kola lícovala s hranou obrubníku a další krok byl vždy posunut o $0,6 \text{ m}$ v příčném směru dokud druhé kolo nelícovalo s druhým obrubníkem.

V podélném směru byla náprava zadávána vždy v lichých desetínách světlého rozpětí tj. staničení $2,845 \text{ m}$; $7,335 \text{ m}$; $11,825 \text{ m}$ atd.. Tím pádem jsou výsledky z obálky, především v řezech ve kterých nebylo zatížení zadáno, zkruseny. Ale jak již bylo řečeno, smyslem modelu LM2 je lokální posouzení a zde je posuzován především příčný roznos zatížení.

4.2.1.3 Model zatížení na únavu 3

Nápravová síla $Q = 120,000 \text{ kN}$

Převedení nápravové síly na plošné zatížení

Kontaktní plocha na vozovce $0,4 \times 0,4 \text{ m}$

Uvažováno roznesení pod úhlem 45° na osu desky: $0,4 + 2 \cdot (0,085 + 0,075) = 0,72 \text{ m}$

$$q = \frac{\frac{Q \cdot \alpha_Q}{2}}{A} = \frac{\frac{120}{2}}{0,72^2} = 115,741 \text{ kN/m}^2$$

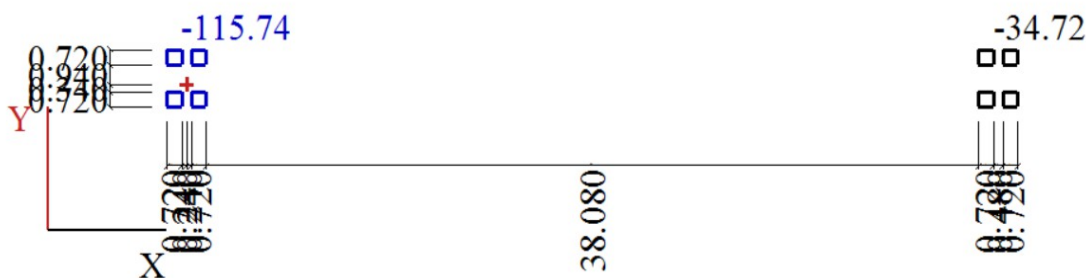
Nápravová síla $Q = 36,000 \text{ kN}$

Převedení nápravové síly na plošné zatížení

Kontaktní plocha na vozovce $0,4 \times 0,4 \text{ m}$

Uvažováno roznesení pod úhlem 45° na osu desky: $0,4 + 2 \cdot (0,085 + 0,075) = 0,72 \text{ m}$

Schéma nápravového zatížení



Obr. 6

Zatížení bylo zadáno stejným způsobem jako v případě modelu zatížení LM1, byly zadány samostatně stavy, kdy jsou na mostě obě vozidla, a kdy je na mostě pouze vozidlo s nápravovou silou $Q = 120 \text{ kN}$.

4.2.1.4. Brzdné a rozjezdové síly

Jedná se o jednostranné zatížení, proto bylo zadáváno do modelu, kde jsou zemní pružiny pouze na opačné straně než působí zatížení, tak aby působily v tlaku.

$$F = 0,6 \cdot \alpha_{Q1} \cdot (2Q_{1k}) + 0,10 \cdot \alpha_{q1} \cdot q_{1k} \cdot w_1 \cdot L = 0,6 \cdot 0,8 \cdot (2 \cdot 300) + 0,1 \cdot 0,45 \cdot 9 \cdot 3 \cdot 48 = 346,320 \text{ kN}$$

4.2.1.5. Zvětšení zemního tlaku vlivem dopravy

Vlivem dopravy dochází k přitížení povrchu za opěrou a to vyvolá vodorovné zatížení opěry a tím i nosné konstrukce. Znovu se jedná o jednostranné zatížení, takže i tento zatěžovací stav byl zadán na model se zemními pružinami na jedné straně. Zatížení je lineárně proměnné. Na povrchu má nulovou hodnotu a u paty opěry hodnotu q_1 v zatěžovacím pruhu 1 a q_2 v zatěžovacím pruhu 2.

$$q_1 = \frac{v}{1-v} * \left(\frac{2 * \alpha_Q * Q}{15} + \alpha_q * q \right) = \frac{0,3}{1-0,3} * \left(\frac{2 * 0,8 * 300}{15} + 0,45 * 9 \right) = 15,450 \text{ kN/m}^2$$

$$q_2 = \frac{v}{1-v} * \left(\frac{2 * \alpha_Q * Q}{15} + \alpha_q * q \right) = \frac{0,3}{1-0,3} * \left(\frac{2 * 0,8 * 200}{15} + 1,6 * 2,5 \right) = 10,857 \text{ kN/m}^2$$

4.2.2 Rovnoměrné zvýšení a snížení teploty

Rovnoměrné snížení teploty vyvolá v celé konstrukci tah, proto byl tento zatěžovací stav zadán do modelu bez zemních pružin.

Rovnoměrné zvýšení teploty bylo zadáno na model se zemními pružinami na obou stranách.

Teplota vzduchu ve stínu	$T_{\max} = +38^\circ\text{C}$ $T_{\min} = -34^\circ\text{C}$
Teplota konstrukce	$T_{e,\max} = T_{\max} + 1,5 = 38 + 1,5 = 39,5^\circ\text{C}$ $T_{e,\min} = T_{\min} + 8 = -34 + 8 = -26^\circ\text{C}$
Základní teplota	$T_0 = +10^\circ\text{C}$
Zvýšení teploty	$\Delta T_{N,\text{exp}} = T_{e,\max} - T_0 = 39,5 - 10 = 29,5^\circ\text{C}$
Snížení teploty	$\Delta T_{N,\text{con}} = T_{e,\min} + T_0 = -26 + 10 = -16^\circ\text{C}$

4.2.3 Nerovnoměrná složka teploty

	$\Delta T_{M,\text{heat}} = +15^\circ\text{C}$	k_{sur} - komplet	k_{sur} - stavební stádium
Horní povrch teplejší		0,79	1,5
Dolní povrch teplejší	$\Delta T_{M,\text{cool}} = +8^\circ\text{C}$	1,0	1,1

V izotropním modelu je stěna nosníku rozdělena po výšce na čtyři plochy na kterých je teplota zadána konstantním průběhem

	Horní povrch teplejší ($^\circ\text{C}$)	Dolní povrch teplejší ($^\circ\text{C}$)
plocha 1	13,125	1,00
plocha 2	9,375	3,00
plocha 3	5,625	5,00
plocha 4	1,875	7,00

Hodnoty součinitele k_{sur} byly použity až v kombinacích.

4.2.4 Staveništní zatížení

Zatížení bylo uvažováno hodnotou $q_{\text{ca},k} = 1,0 \text{ kN/m}^2$ na celé ploše nosné konstrukce. Byly vytvořeny tři zatěžovací stavy, obdobně jako tomu bylo u plošného zatížení modelu LM1.

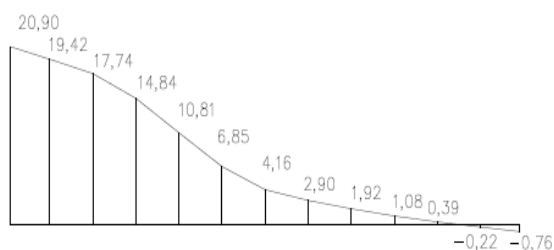
4.3 Příčný roznos

Zde je porovnáno příčné roznášení ortotropního a izotropního modelu. Příčinkové čáry příčného roznosu byly zjišťovány pro staničení 9,580 m, což je místo ve čtyřech desetínách světlého rozpětí. Zde bylo očekávání maximálního ohybového momentu. Toto očekávání se ale později nepotvrdilo, maximální moment vznikl ve staničení 11,825 m, tedy uprostřed světlého rozpětí. Dále byly příčinkové čáry stanoveny ve staničení 20,805 m, tedy 2,245 m od líce pilíře.

Na ortotropním modelu byly vytvořeny tak, že se jednotková síla posouvala v příčném řezu po 0,6 m a zjišťovaly se hodnoty momentů v ose nosníku. Následně tyto hodnoty byly normalizovány, aby součet pořadnic příčinkové čáry dával 100 %.

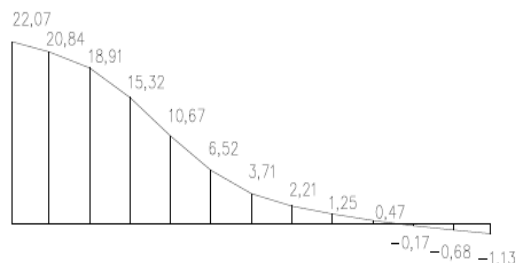
Na izotropním modelu se zjišťovaly hodnoty normálových sil v přírubách stěn nosníku. Tyto hodnoty jsou úzce spjaty s normálovým napětím ve stěně nosníku. Hodnoty byly z pravé a levé stojiny zprůměrovány, abychom dostali porovnatelnou hodnotu v ose nosníku. I tyto hodnoty byly následně normalizovány, aby součet pořadnic příčinkové čáry dával 100 %.

Staničení 9,580 m, osa krajního nosníku
ortotropní model



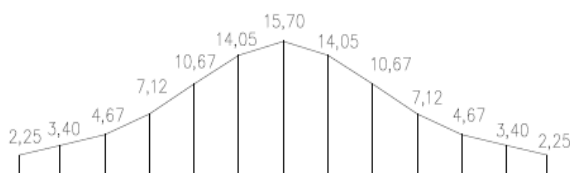
Obr. 7

izotropní model



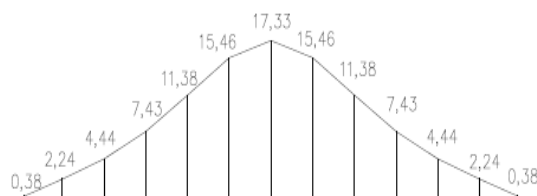
Obr. 8

Staničení 9,580 m, osa prostředního nosníku
ortotropní model



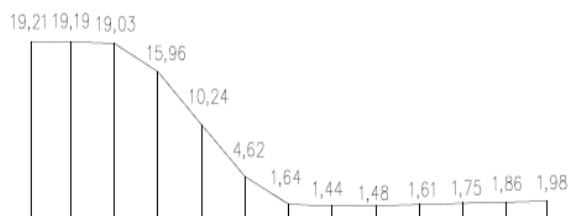
Obr. 9

izotropní model



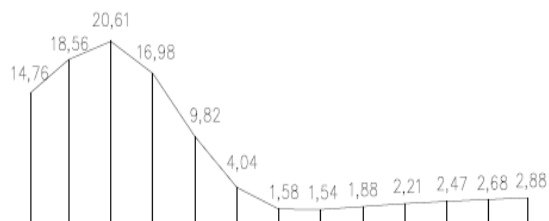
Obr. 10

Staničení 20,805 m, osa krajního nosníku
ortotropní model



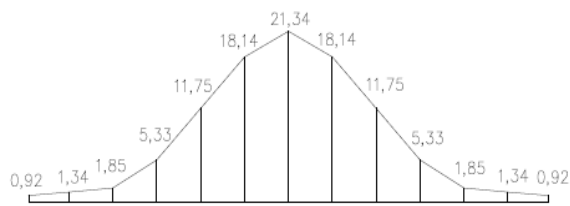
Obr. 11

izotropní model



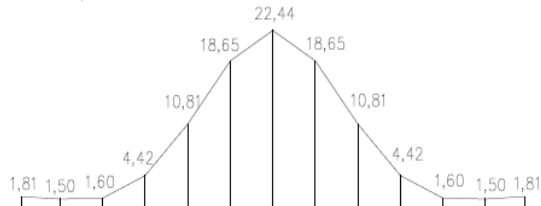
Obr. 12

Staničení 20,805 m, osa prostředního nosníku
ortotropní model



Obr. 13

izotropní model



Obr. 14

5. Napětí bez předpětí

Výsledné vnitřní síly byly z programu Scia Engineer 2015 přepsány do tabulkového programu OpenOffice Calc 4.1.1. Z ortotropního modelu byly přepsány maximální a minimální ohybové momenty a k nim příslušné normálové síly. Z izotropního modelu byly přepsány maximální a minimální měrné normálové síly n_x při dolním a horním povrchu stojiny nosníku. Protože se jedná o rámovou konstrukci je zde moment spjat s normálovou silou. Proto před vytvořením kombinací byly vnitřní síly přečítány na napětí.

V ortotropním modelu byl použit tento vzorec:

$$\text{napětí v horních vláknech nosníku} \quad \sigma^h = \frac{-M}{W^h} + \frac{N}{A}$$

$$\text{napětí v dolních vláknech nosníku} \quad \sigma^d = \frac{M}{W^d} + \frac{N}{A}$$

M je maximální popř. minimální ohybový moment na prutu

N je příslušná normálová síla k ohybovému momentu

W^h je horní průřezový modul nosníku

W^d je dolní průřezový modul nosníku

A je plocha příčného řezu nosníku

V izotropním modelu byl použit tento vzorec:

$$\text{napětí v horních vláknech nosníku} \quad \sigma^h = \frac{n_x^h}{t}$$

$$\text{napětí v dolních vláknech nosníku} \quad \sigma^d = \frac{n_x^d}{t}$$

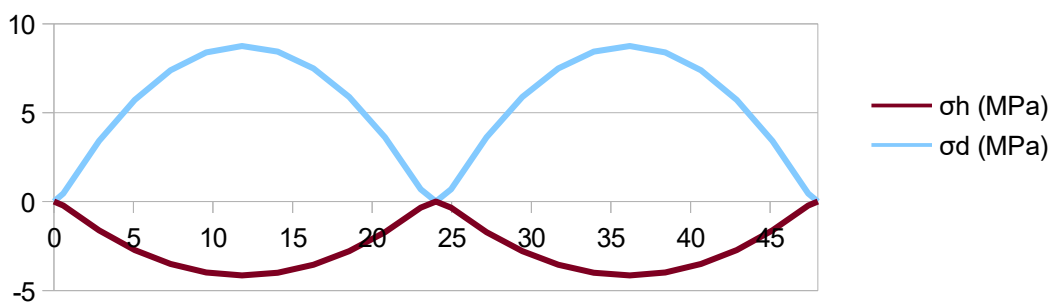
n_x^h je měrná normálová síla při horním povrchu stojiny nosníku

n_x^d je měrná normálová síla při dolním povrchu stojiny nosníku

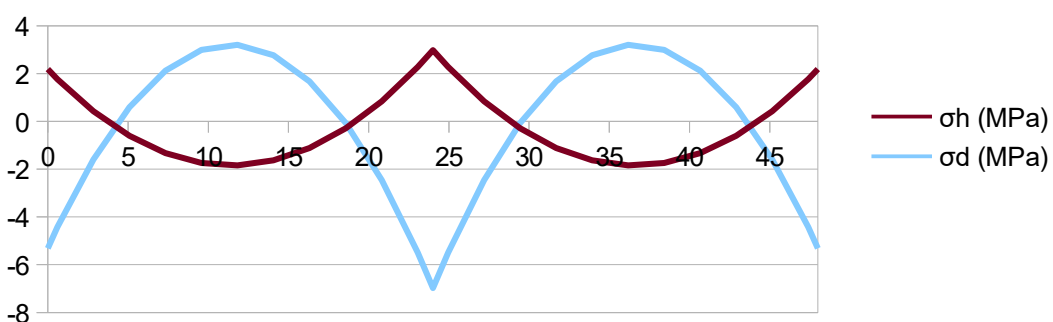
t je tloušťka stojiny nosníku, která je 100 mm

5.1 Napětí z ortotropního modelu na prostředním nosníku

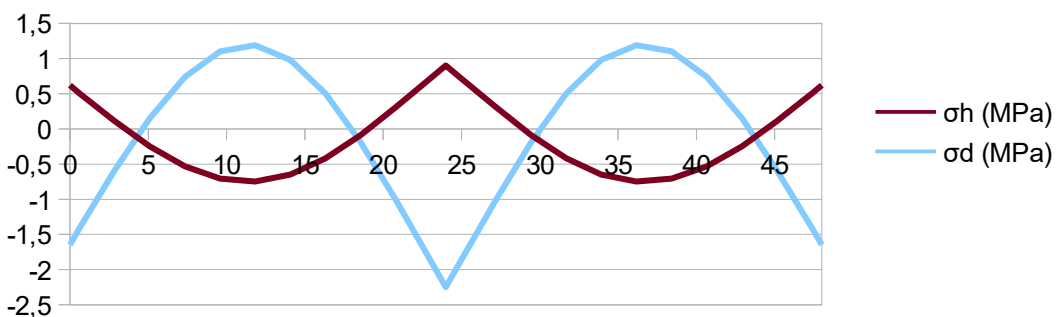
Vlastní tíha - prostý nosník



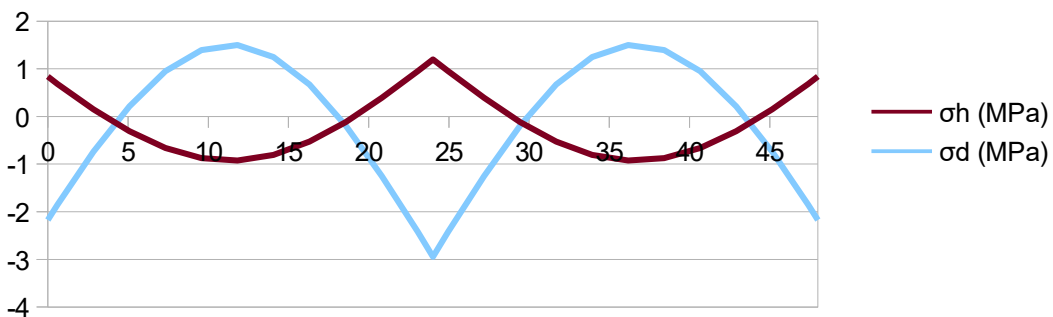
Vlastní tíha - rámová konstrukce



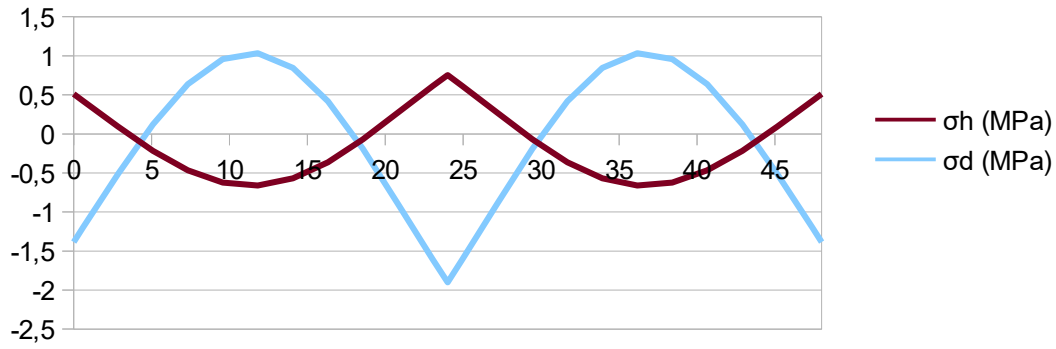
Ostatní stálé - střední hodnoty



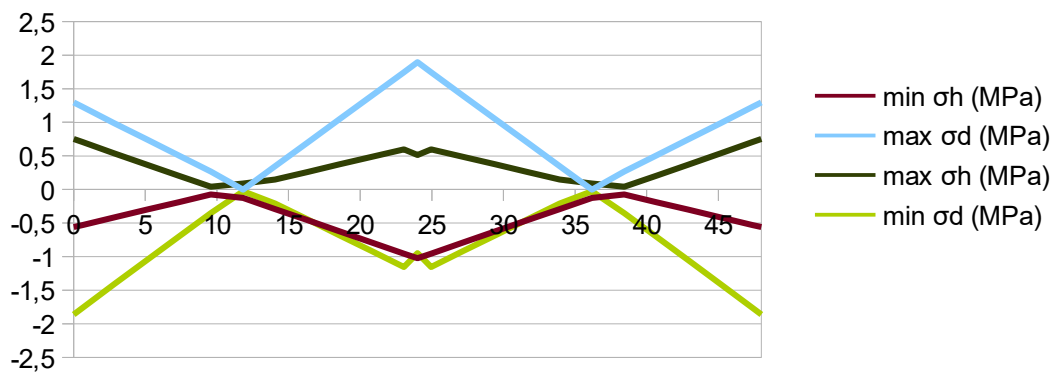
Ostatní stálé - horní hodnoty



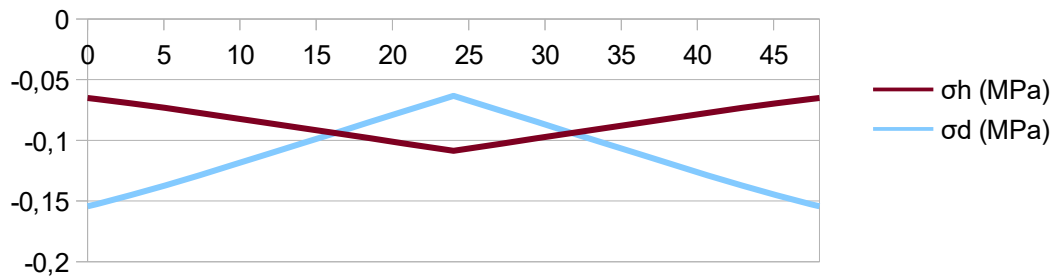
Ostatní stálé - dolní hodnoty



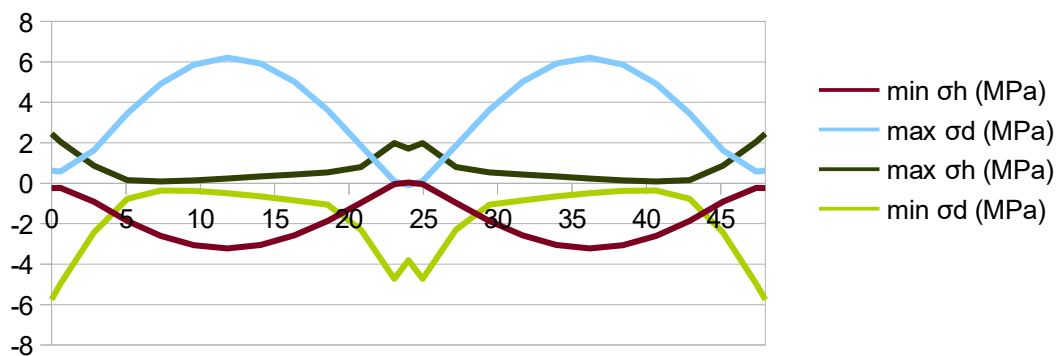
Pokles podpor



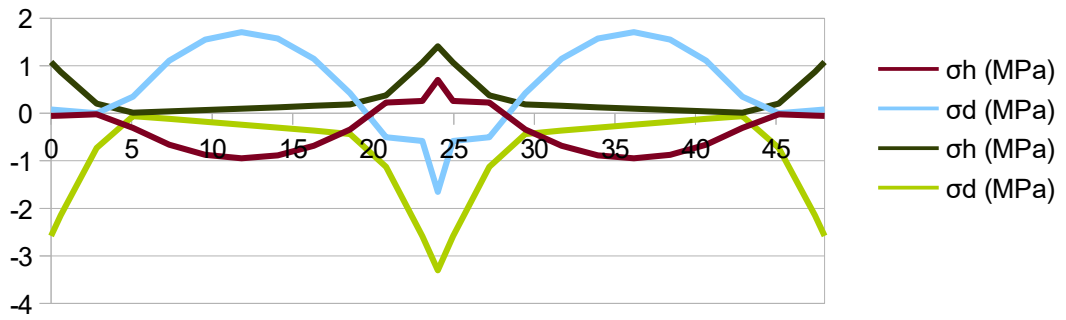
Zemní tlak



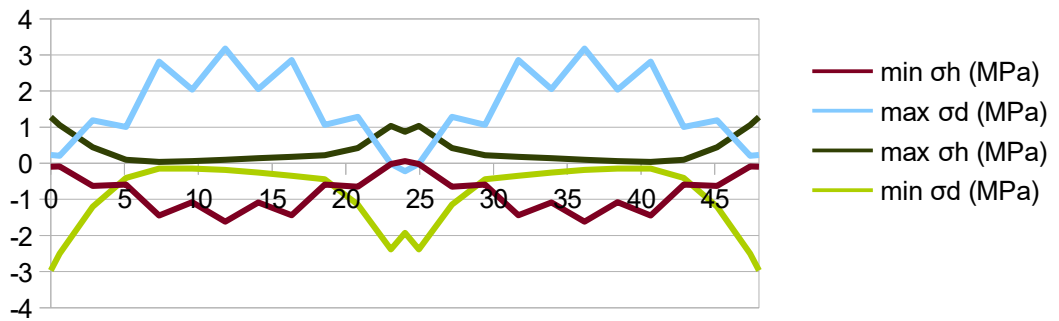
LM1 - náprava



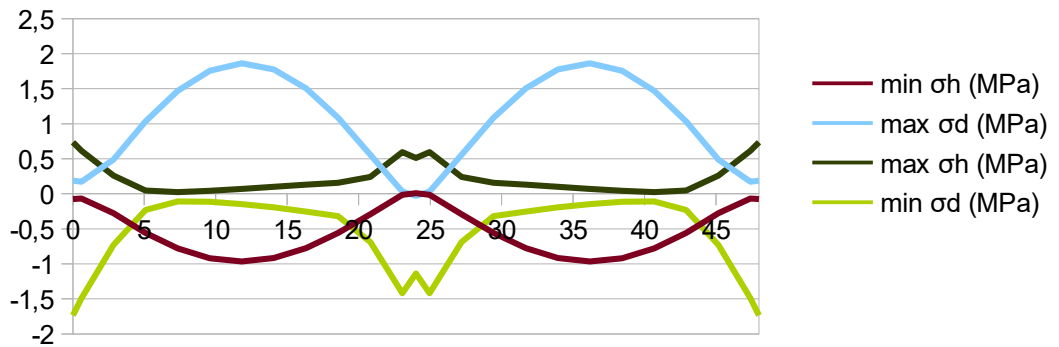
LM1-plošné zatížení



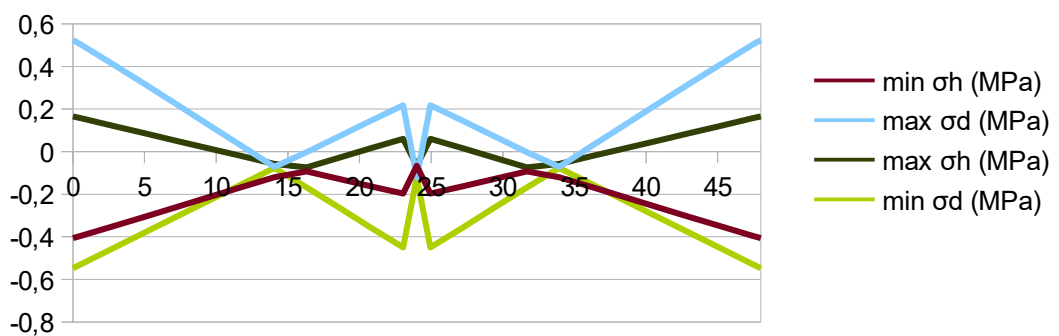
LM2



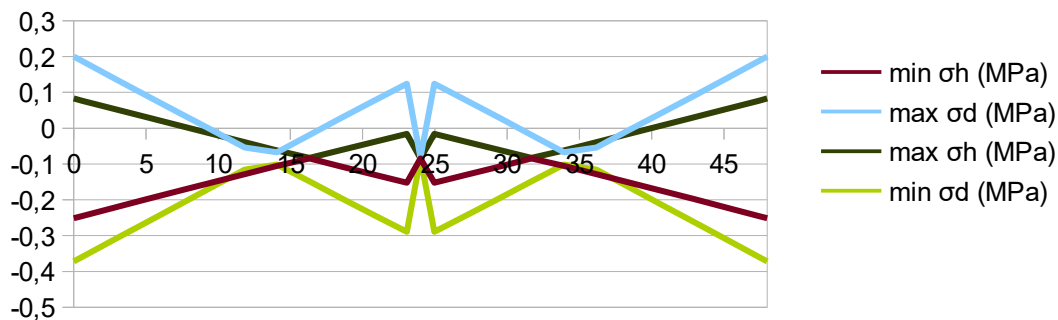
Zatížení na únavu



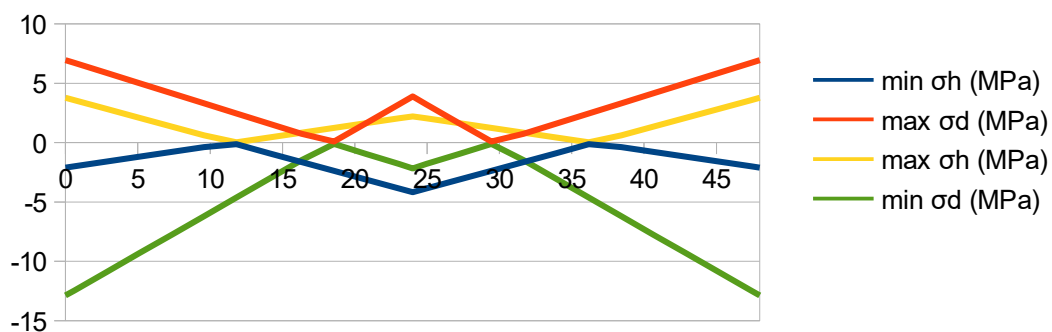
Brzdné síly



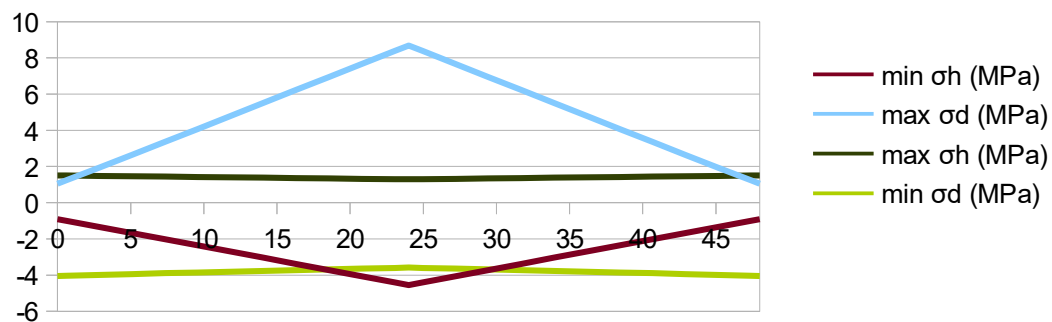
Zvětšení zemního tlaku vlivem dopravy



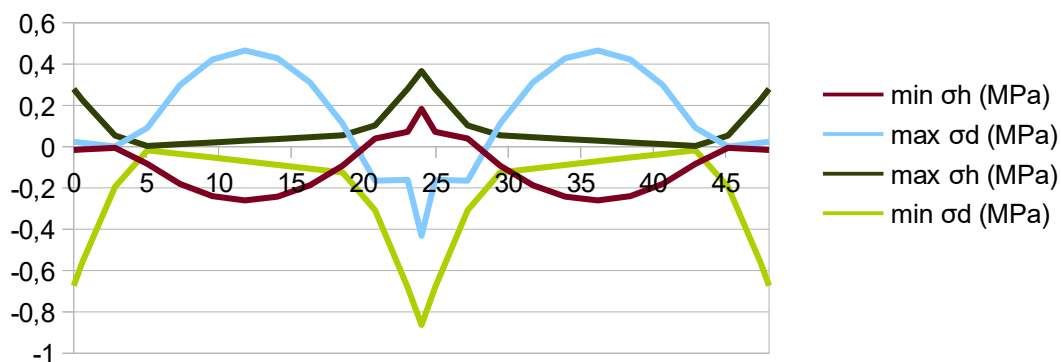
Rovnoměrná teplota



Nerovnoměrná teplota

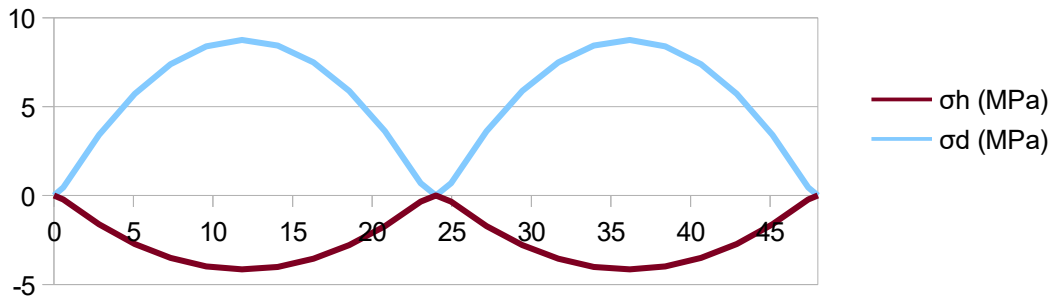


Staveništní zatížení

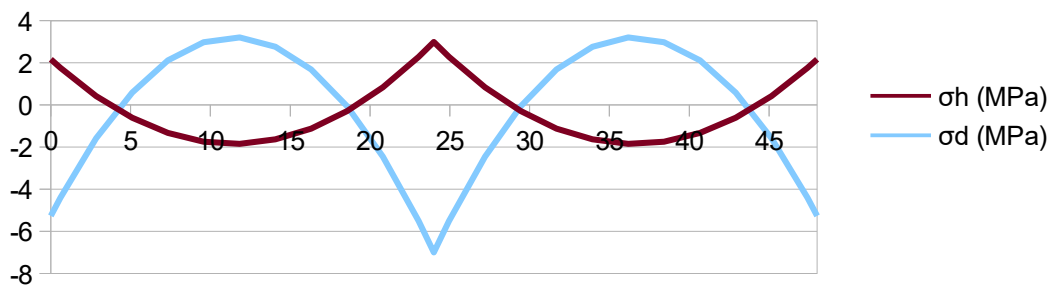


5.2 Napětí z ortotropního modelu na krajním nosníku

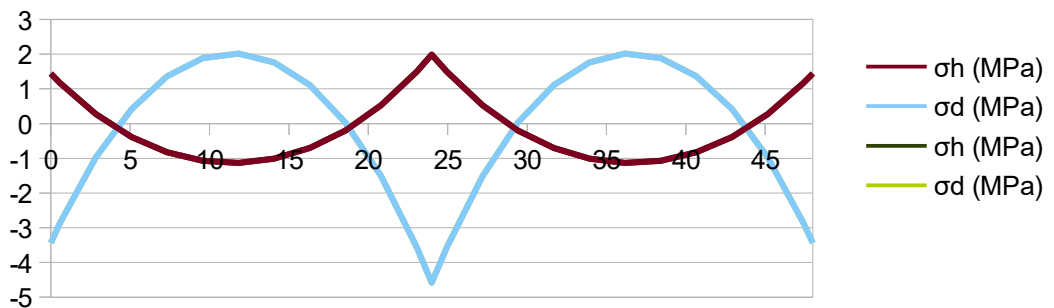
Vlastní tíha - prostý nosník



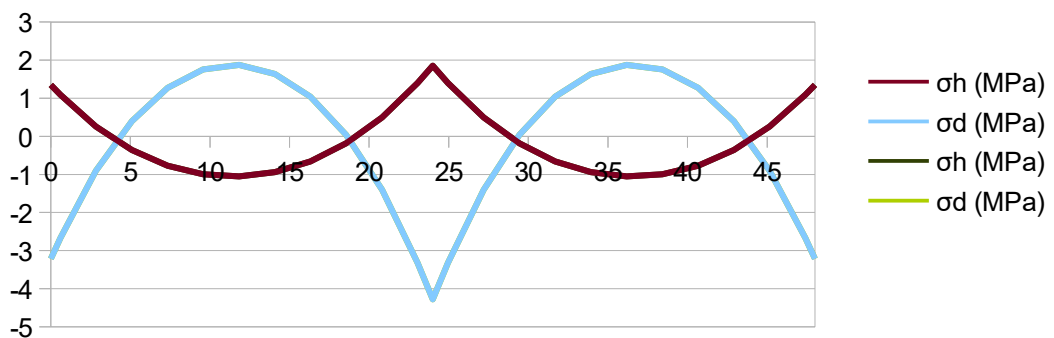
Vlastní tíha - rámová konstrukce



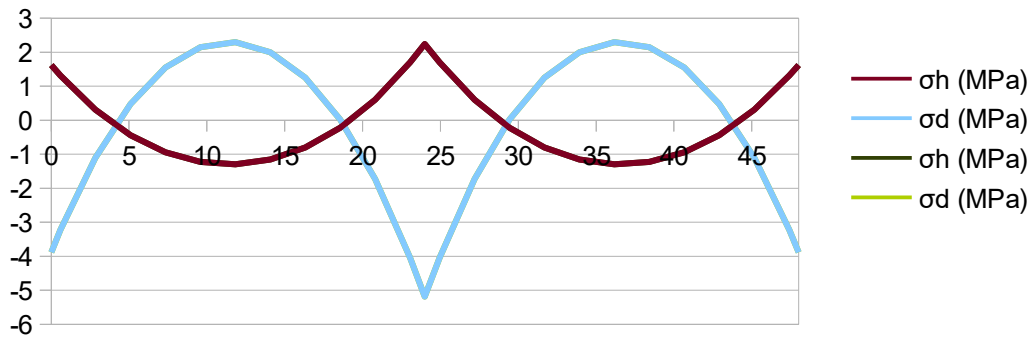
Ostatní stálé - střední hodnoty



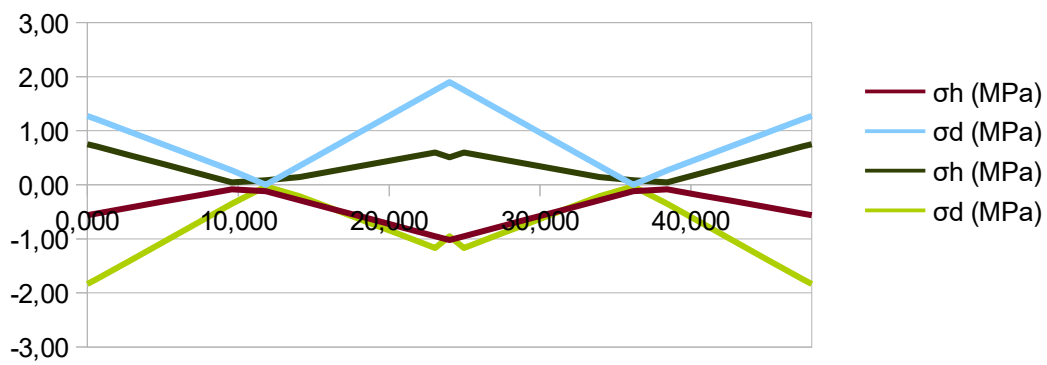
Ostatní stálé - dolní hodnoty



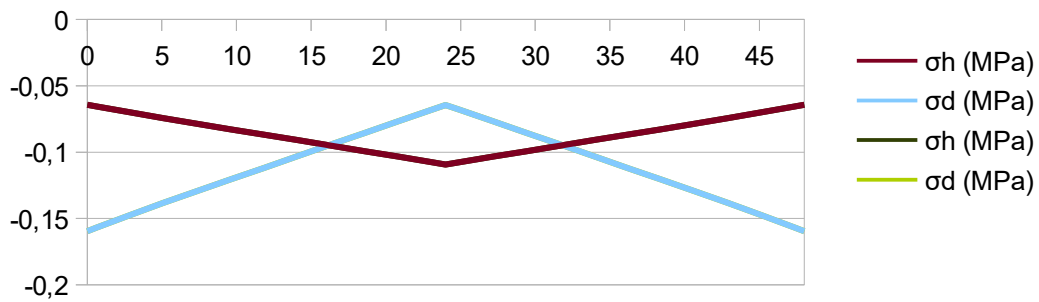
Ostatní stálé - horní hodnoty



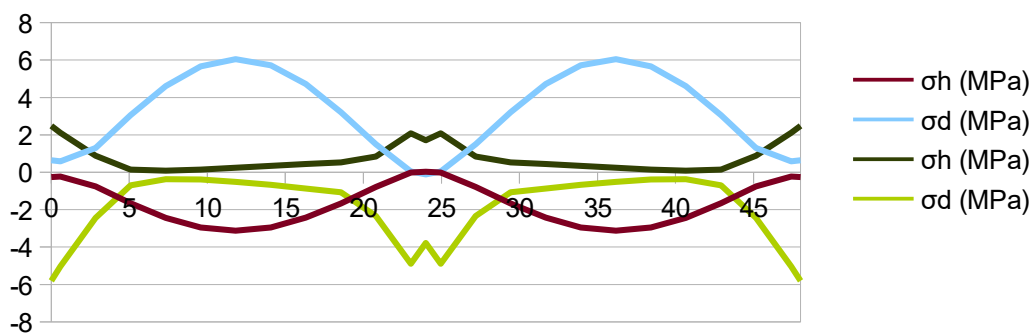
Pokles podpor



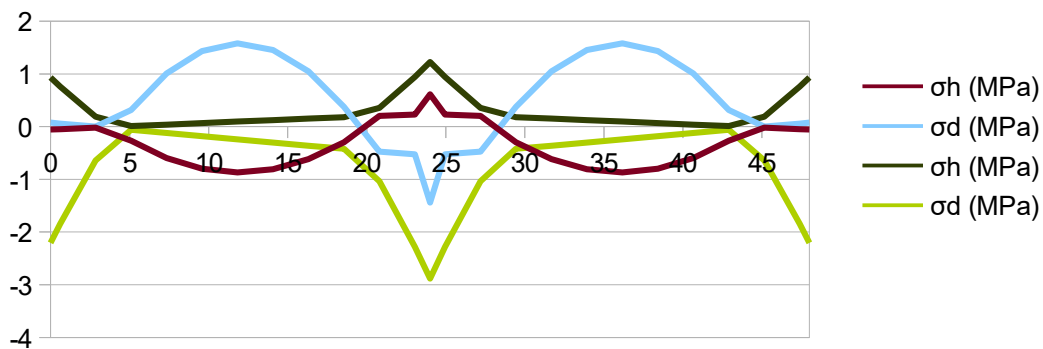
Zemní tlak



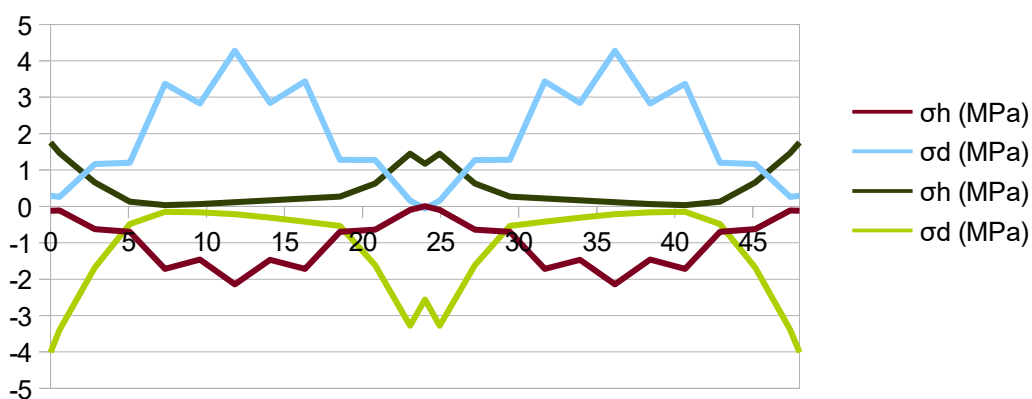
LM1 - náprava



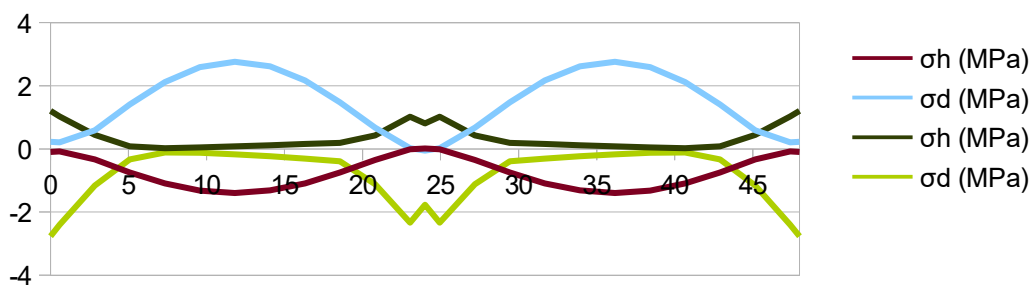
LM1-plošné zatížení



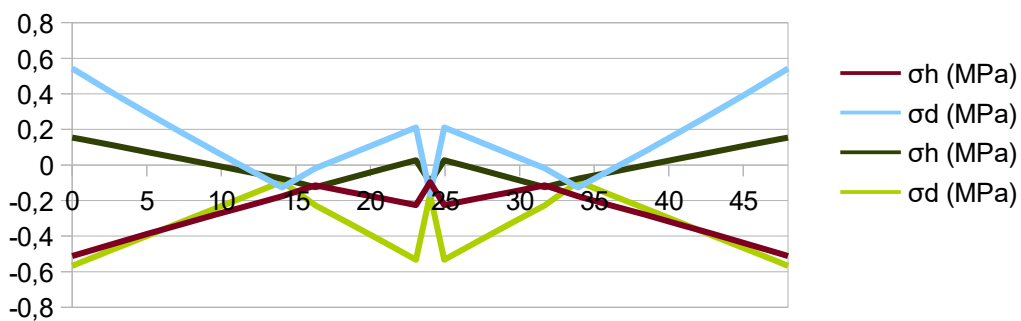
LM2



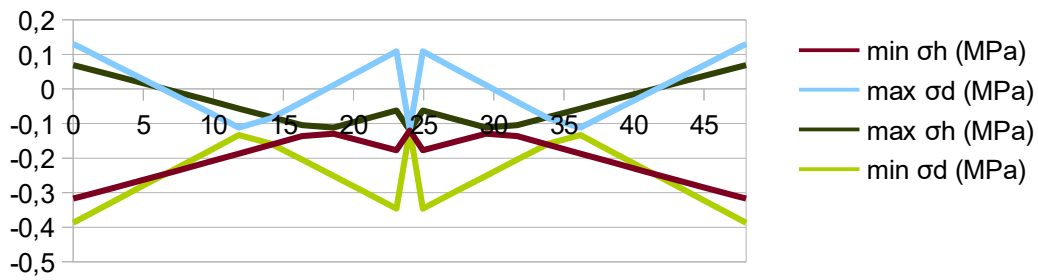
Zatížení na únavu



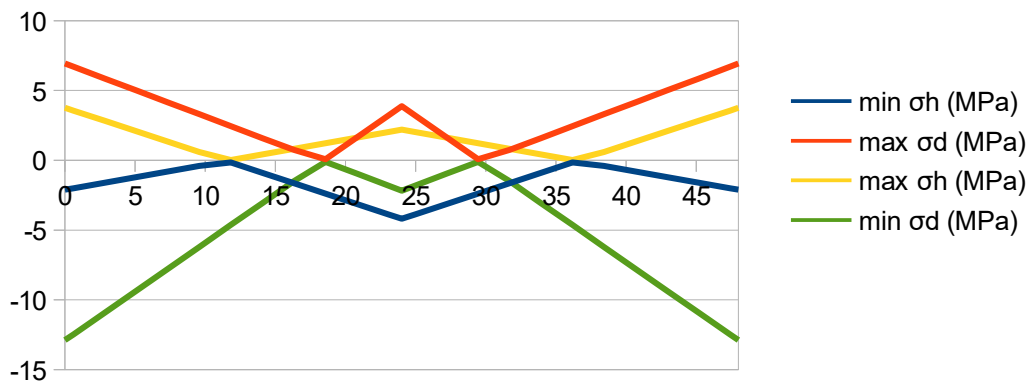
Brzdné síly



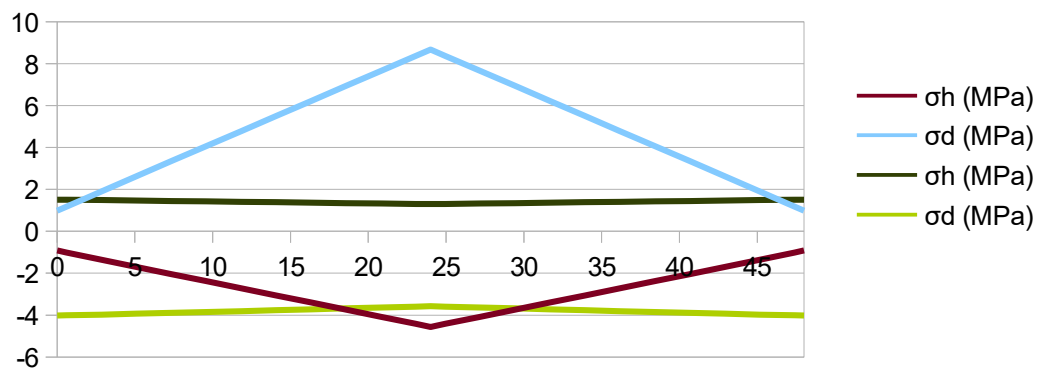
Zvětšení zemního tlaku vlivem dopravy



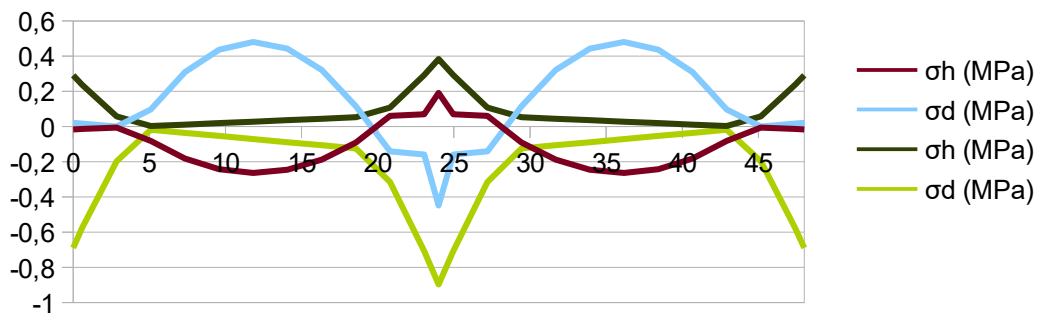
Rovnoměrná teplota



Nerovnoměrná teplota

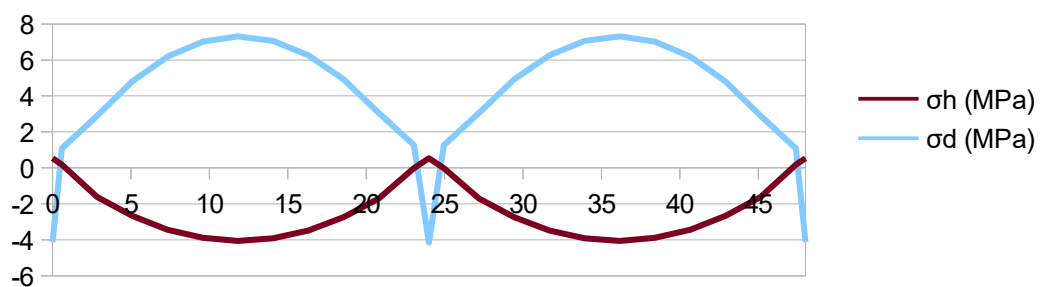


Staveništní zatížení

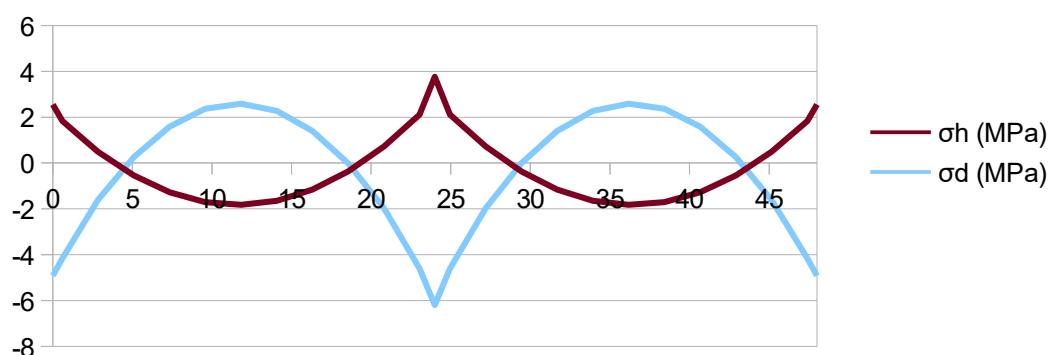


5.3 Napětí z izotropního modelu na prostředním nosníku - levá stojina

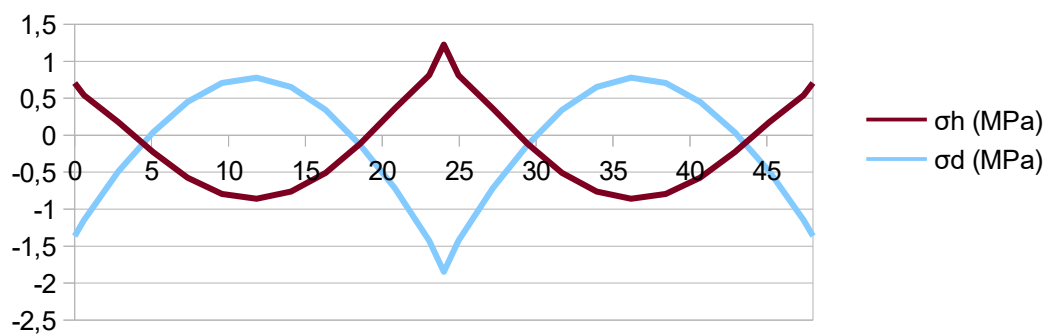
Vlastní tíha - prostý nosník



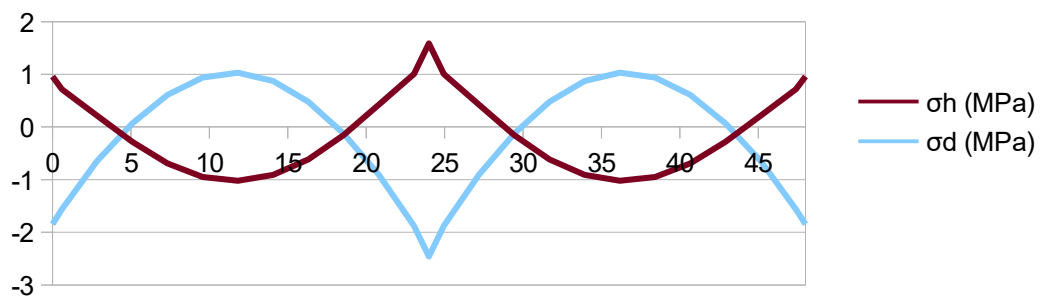
Vlastní tíha - rámová konstrukce



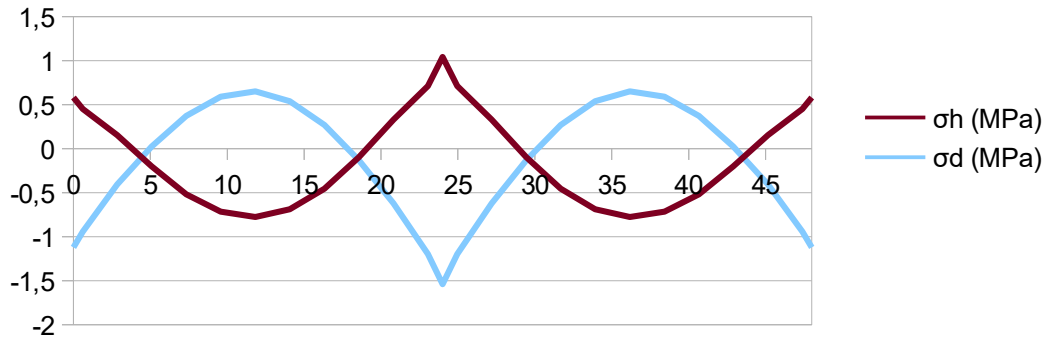
Ostatní stálé - střední hodnoty



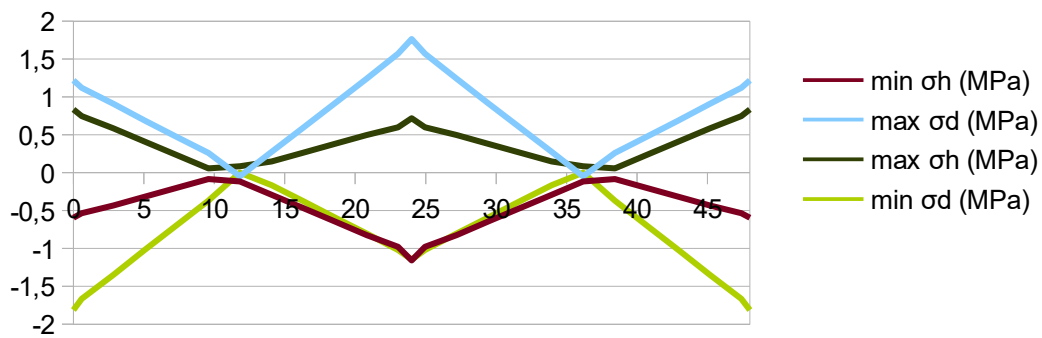
Ostatní stálé - horní hodnoty



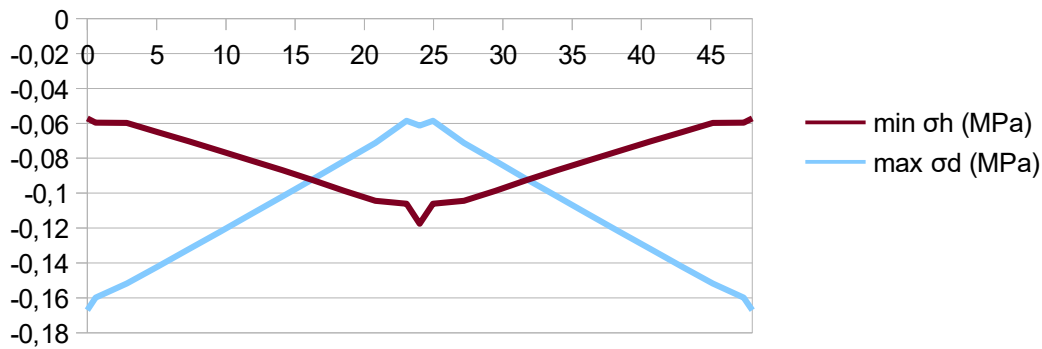
Ostatní stálé - dolní hodnoty



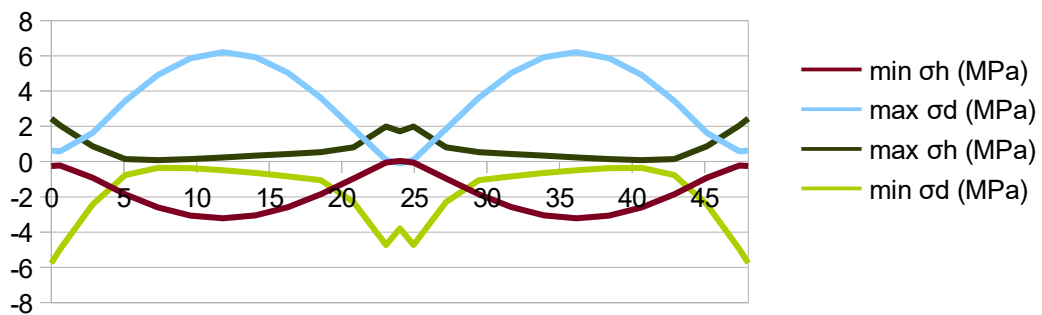
Pokles podpor



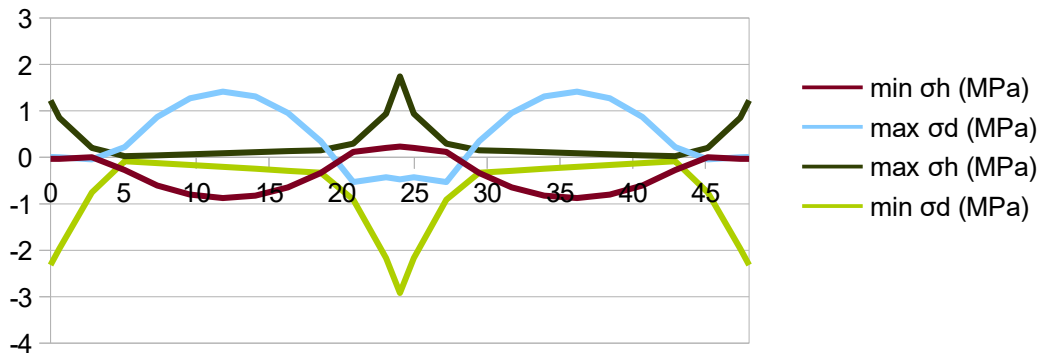
Zemní tlak



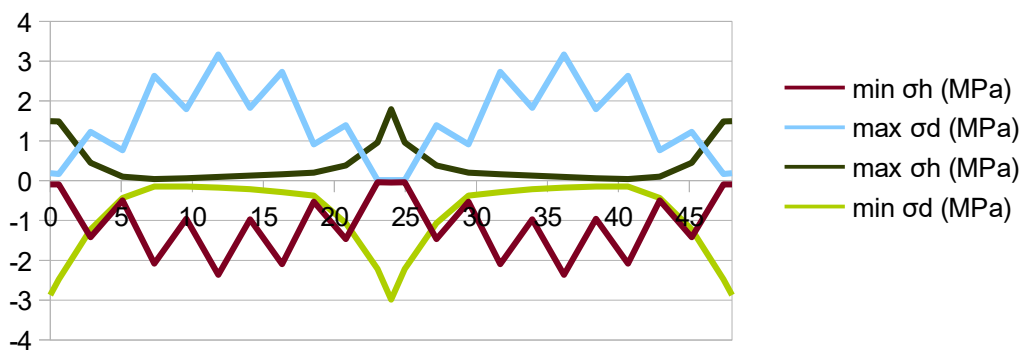
LM1 - náprava



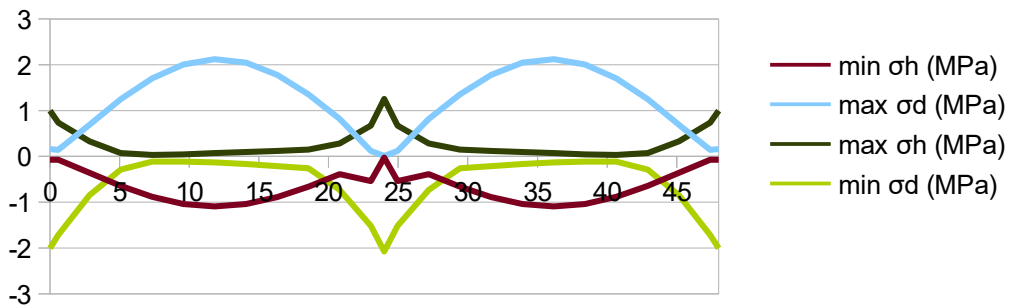
LM1-plošné zatížení



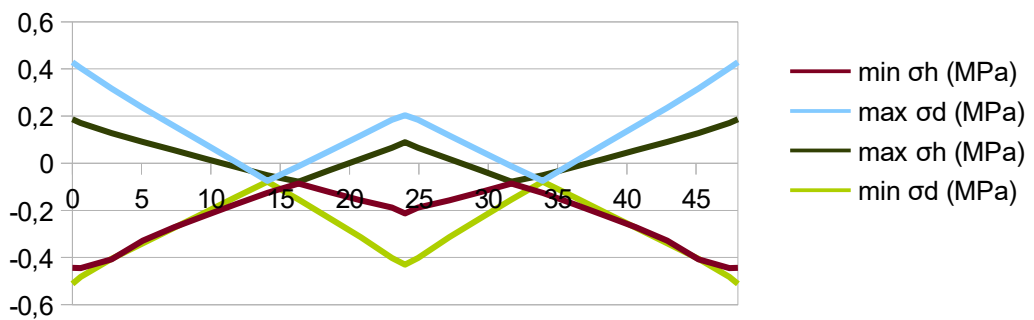
LM2



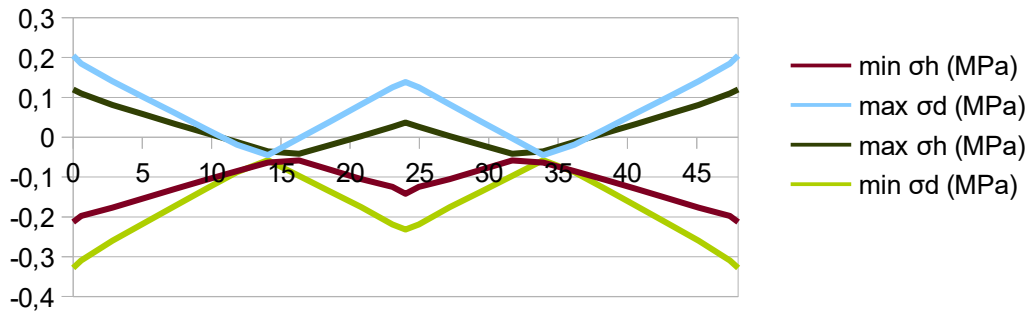
Zatížení na únavu



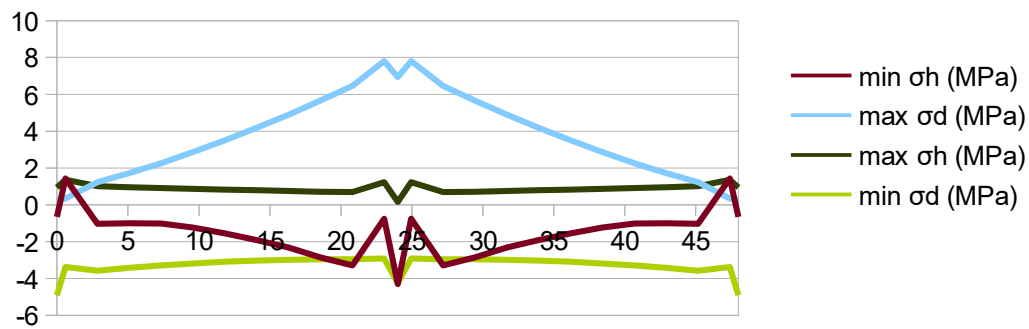
Brzdné síly



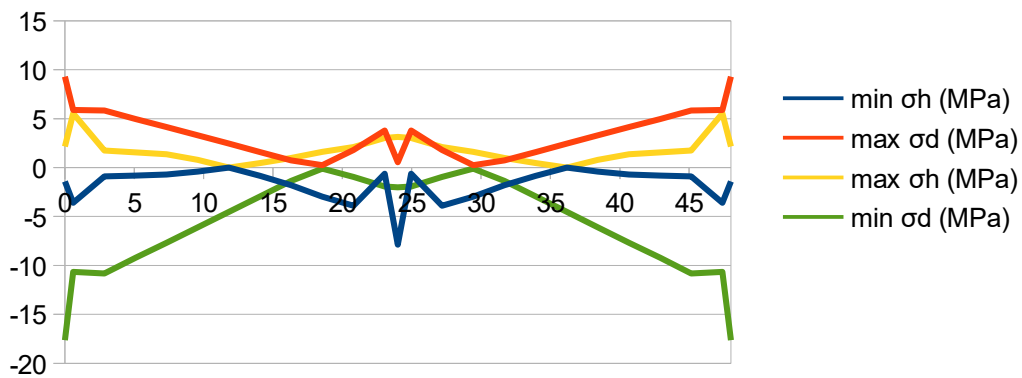
Zvětšení zemního tlaku vlivem dopravy



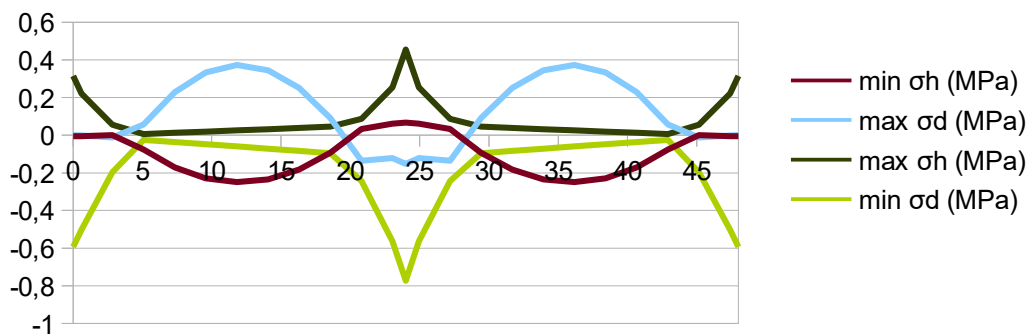
Nerovnoměrná teplota



Rovnoměrná teplota

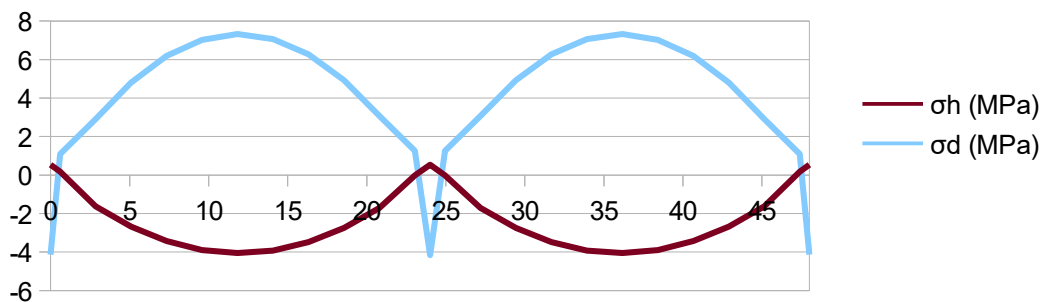


Staveništní zatížení

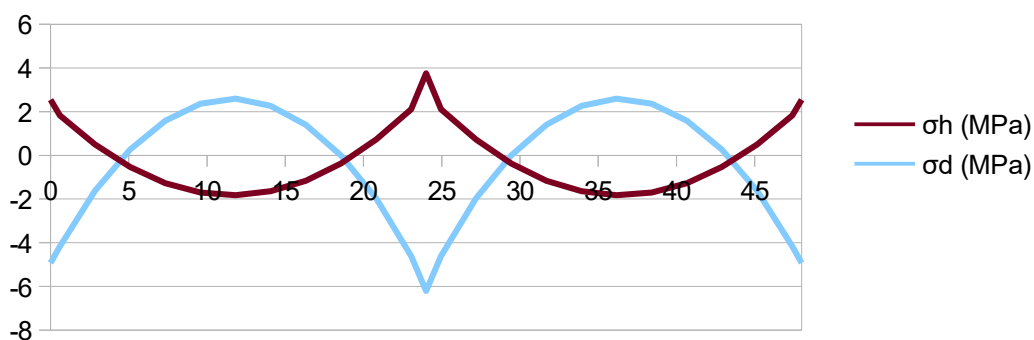


5.4 Napětí z izotropního modelu na prostředním nosníku -pravá stojina

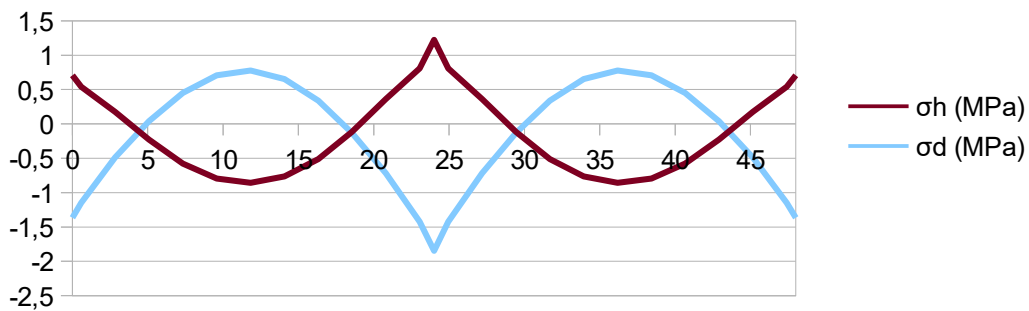
Vlastní tíha - prostý nosník



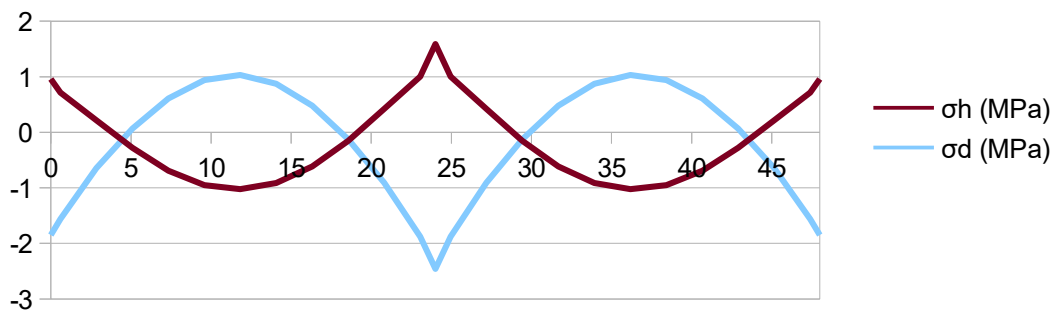
Vlastní tíha - rámová konstrukce



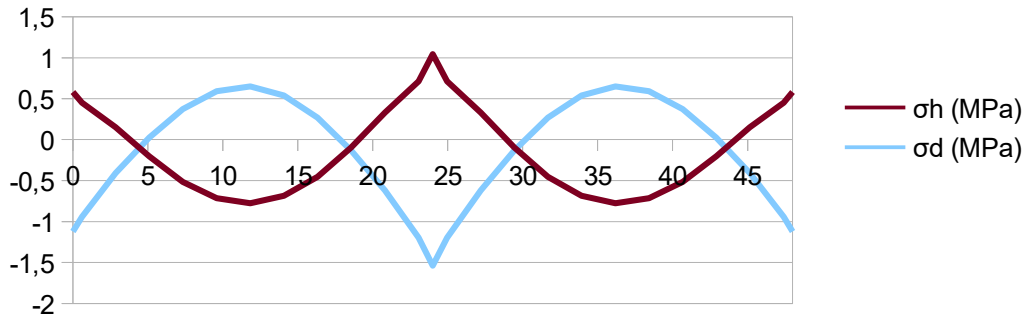
Ostatní stálé - střední hodnoty



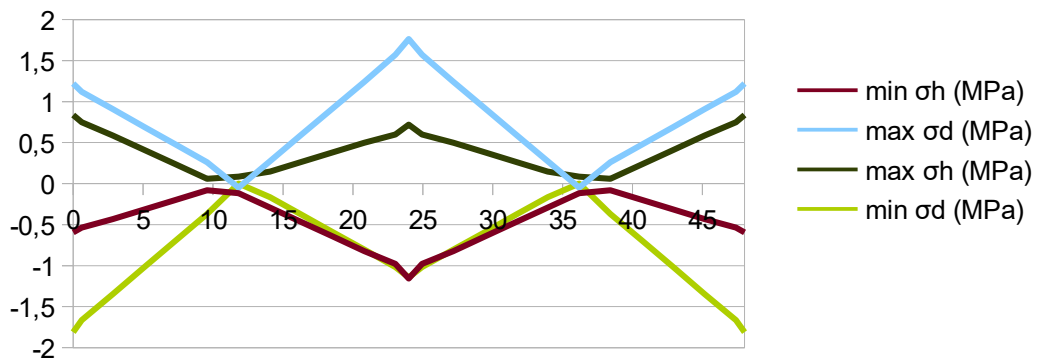
Ostatní stálé - horní hodnoty



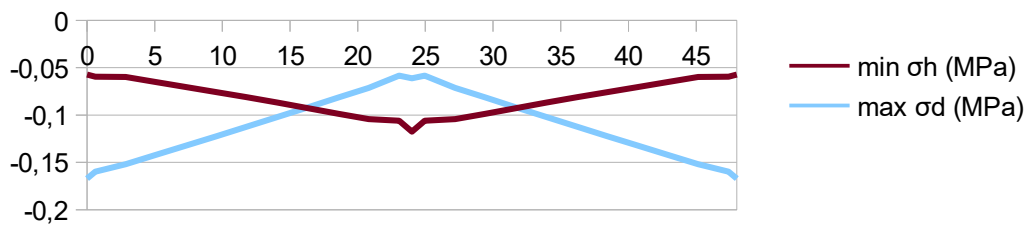
Ostatní stálé - dolní hodnoty



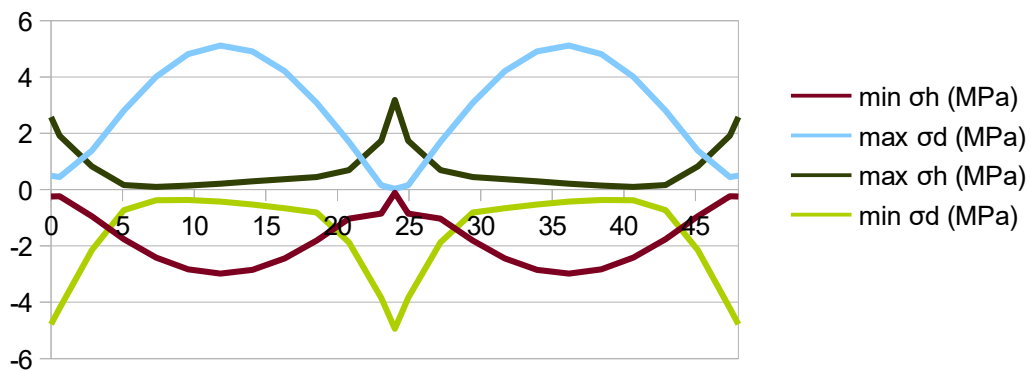
Pokles podpor



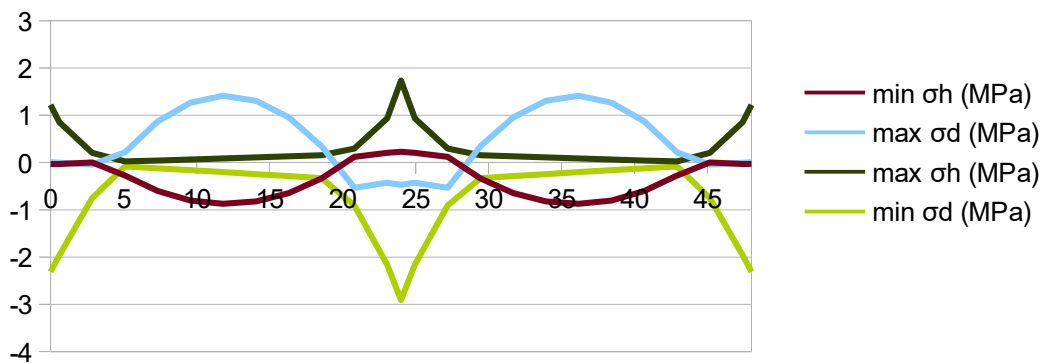
Zemní tlak



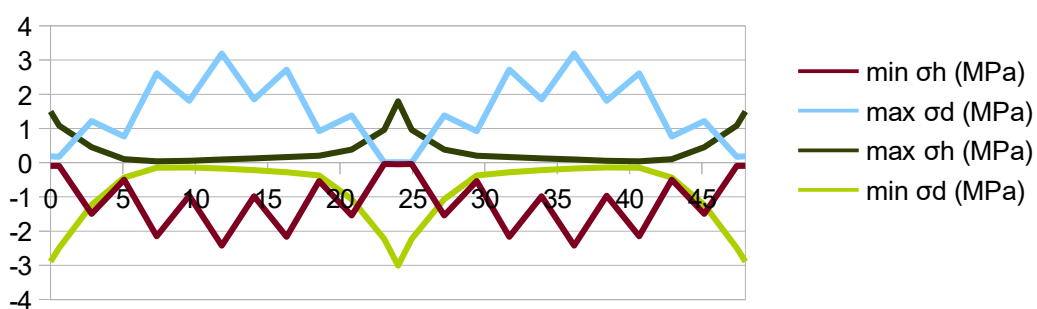
LM1 - náprava



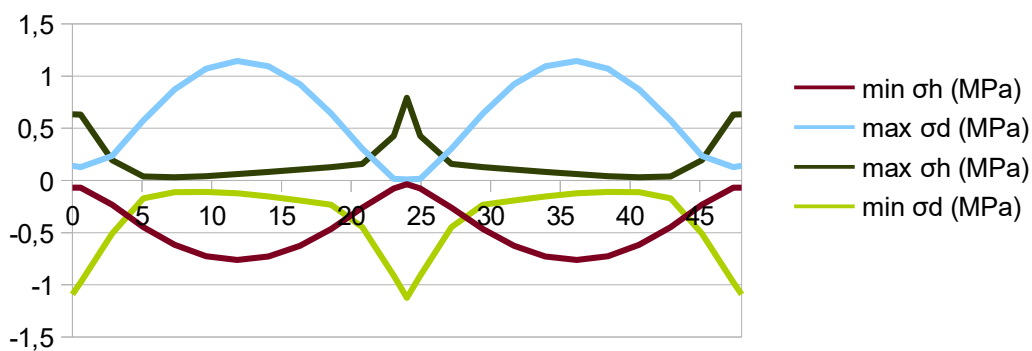
LM1-plošné zatížení



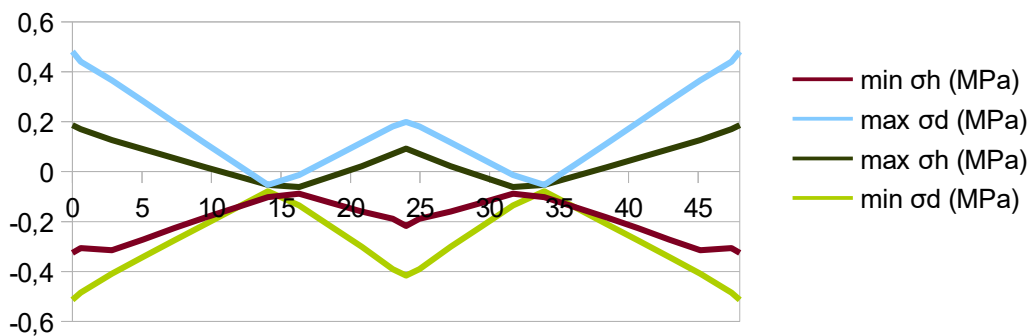
LM2



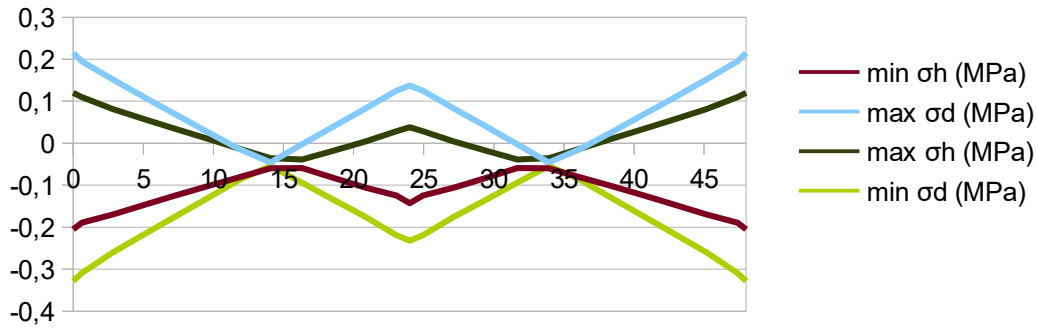
Zatížení na únavu



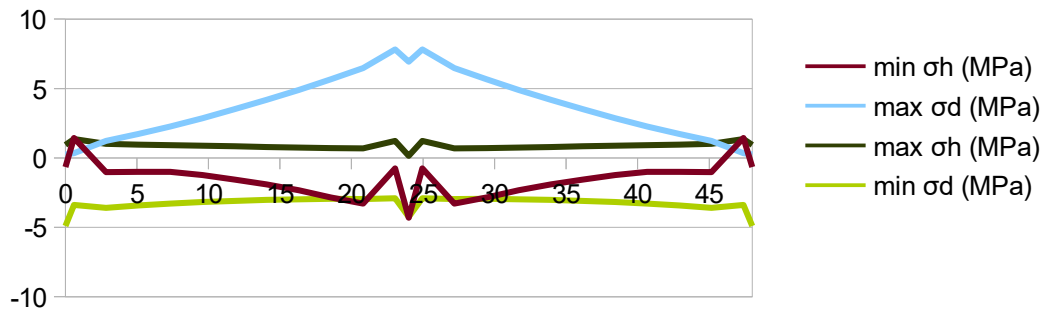
Brzdné síly



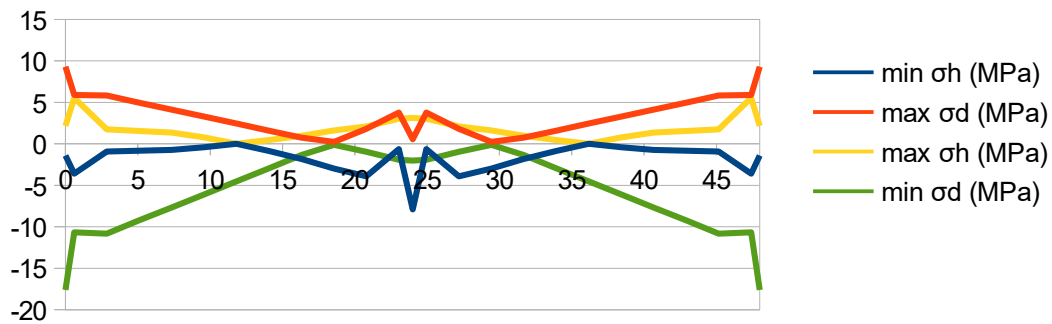
Zvětšení zemního tlaku vlivem dopravy



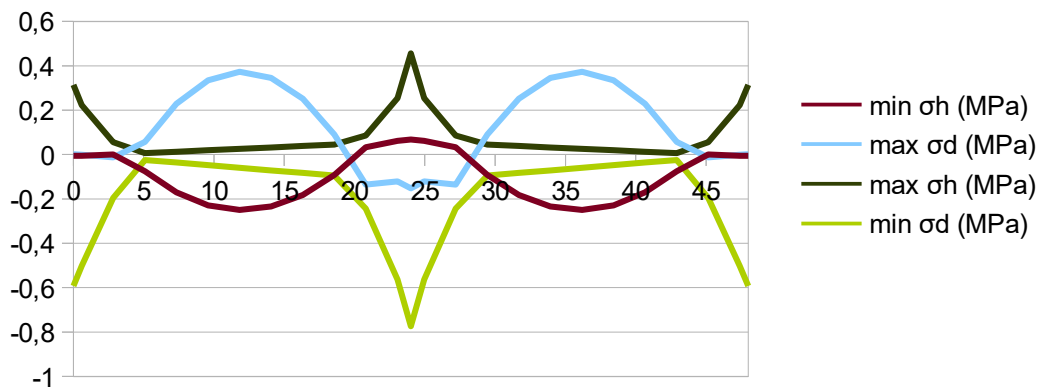
Nerovnoměrná teplota



Rovnoměrná teplota

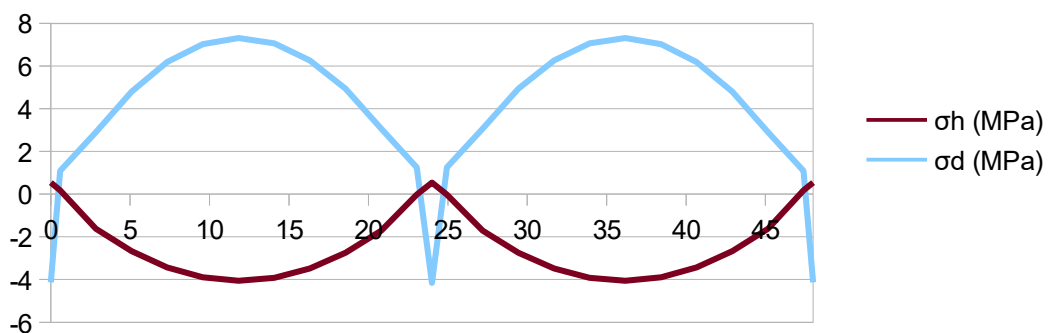


Staveništní zatížení

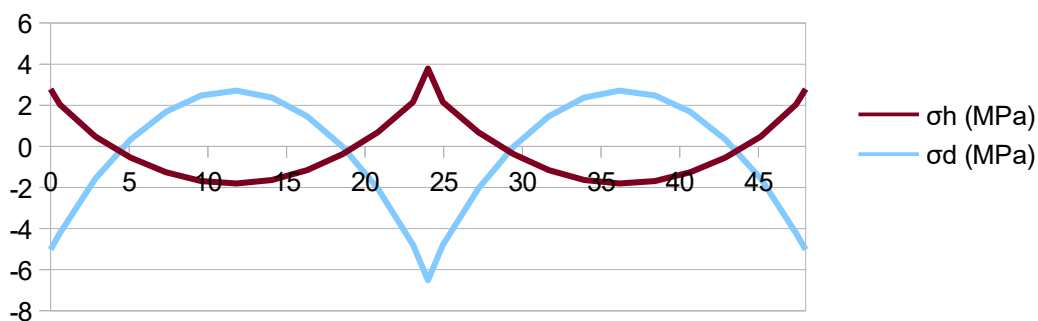


5.5 Napětí z izotropního modelu na krajním nosníku - levá stojina

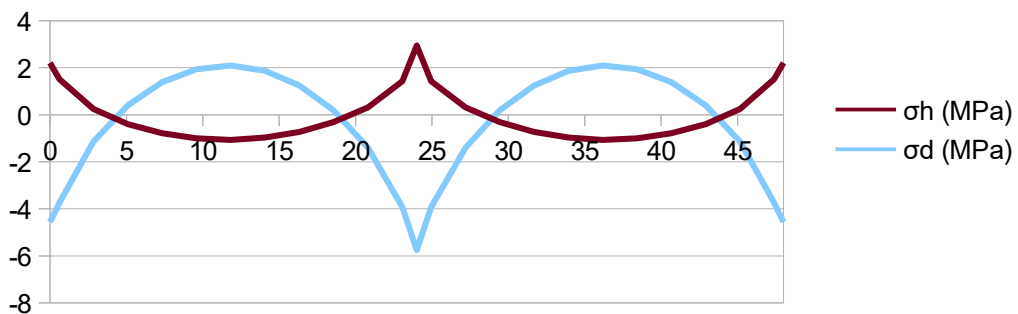
Vlastní tíha - prostý nosník



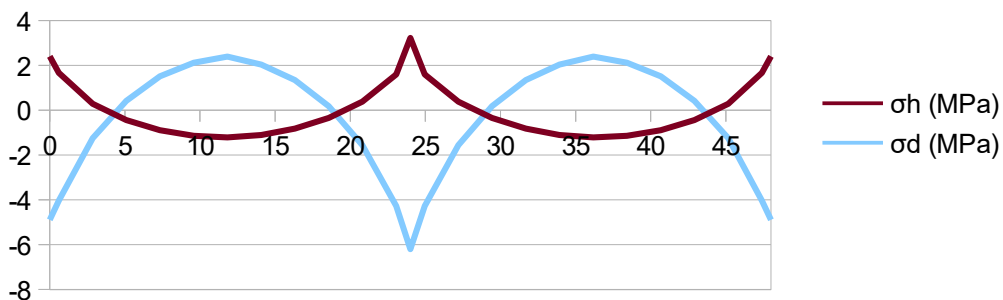
Vlastní tíha - rámová konstrukce



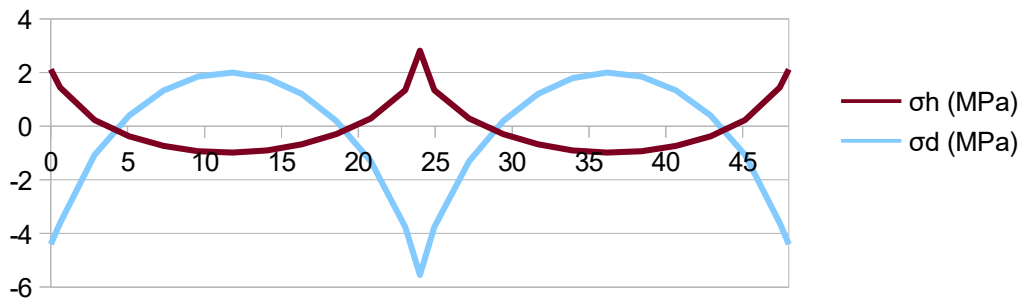
Ostatní stálé - střední hodnoty



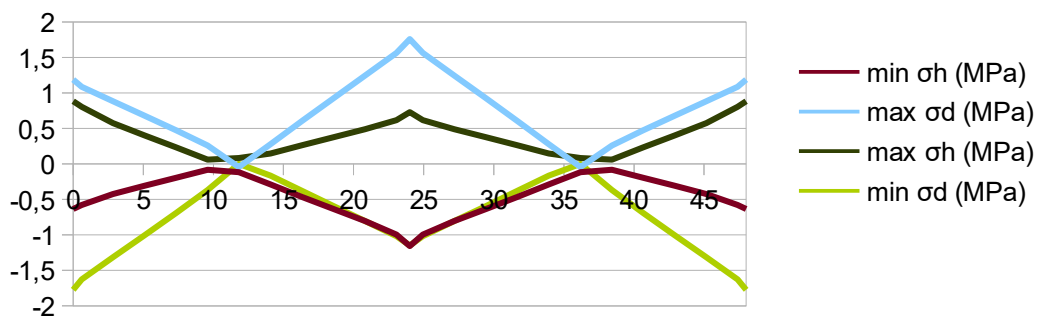
Ostatní stálé - horní hodnoty



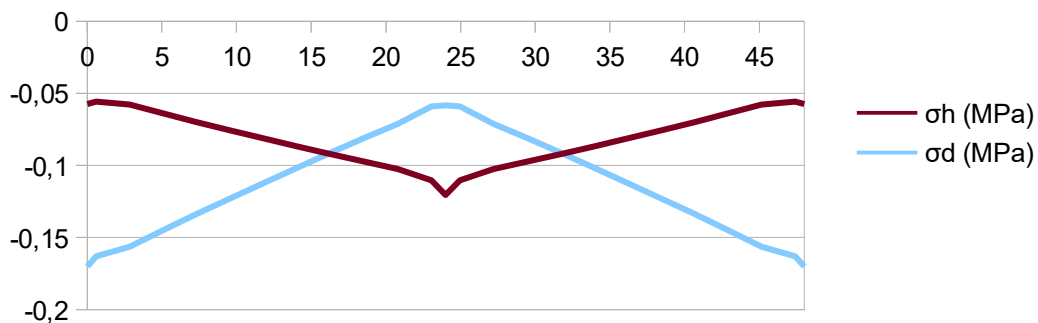
Ostatní stálé - dolní hodnoty



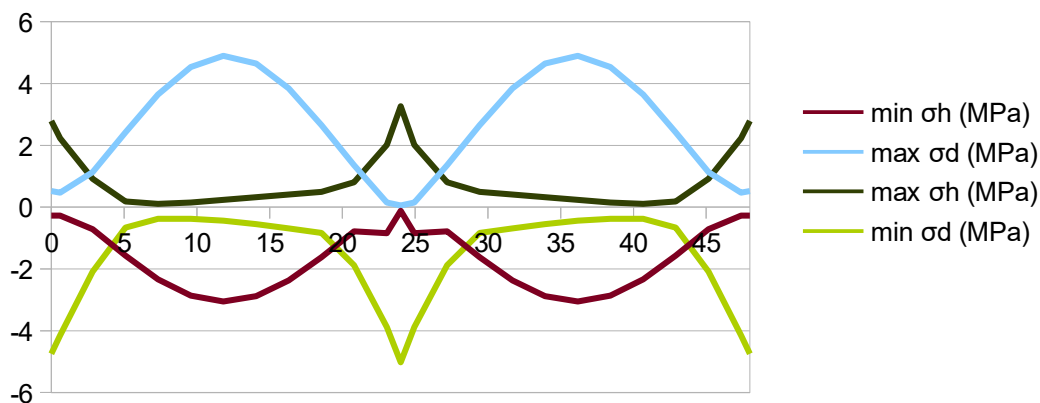
Pokles podpor



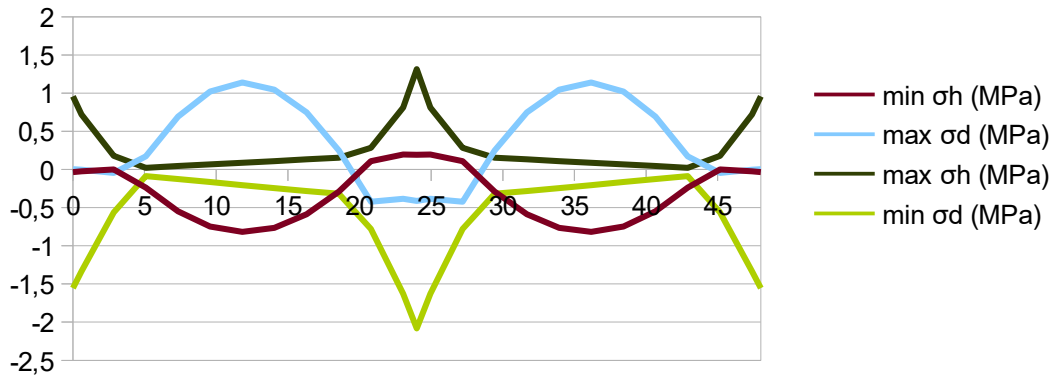
Zemní tlak



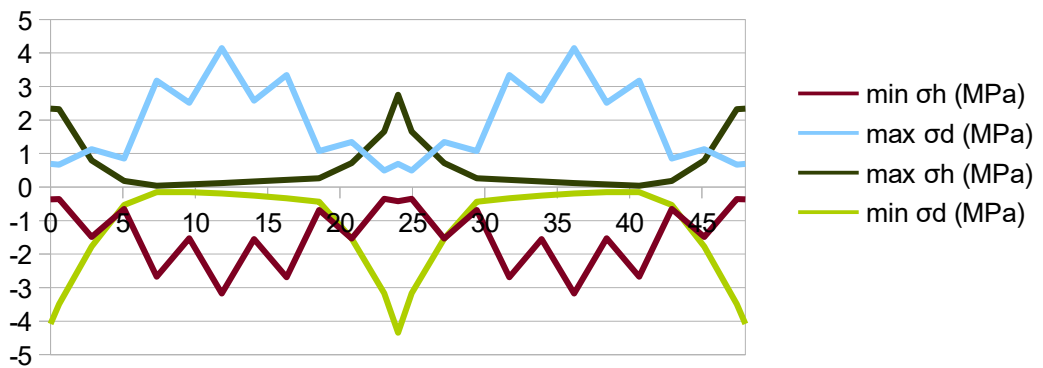
LM1 - náprava



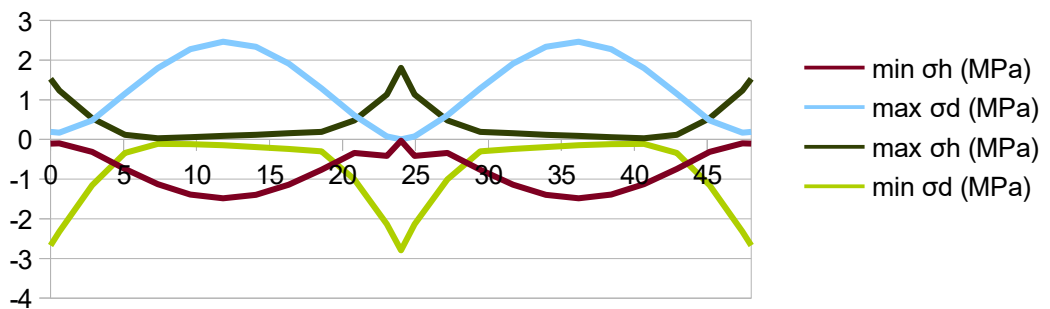
LM1-plošné zatížení



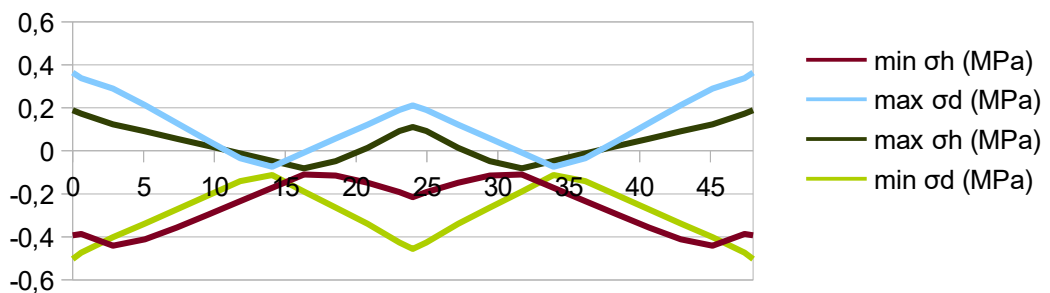
LM2



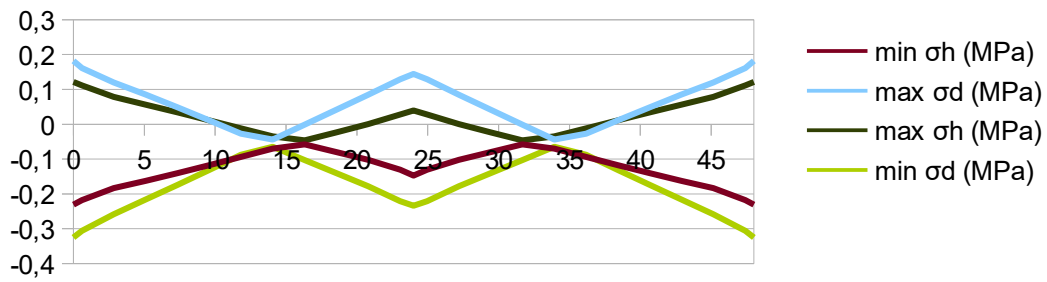
Zatížení na únavu



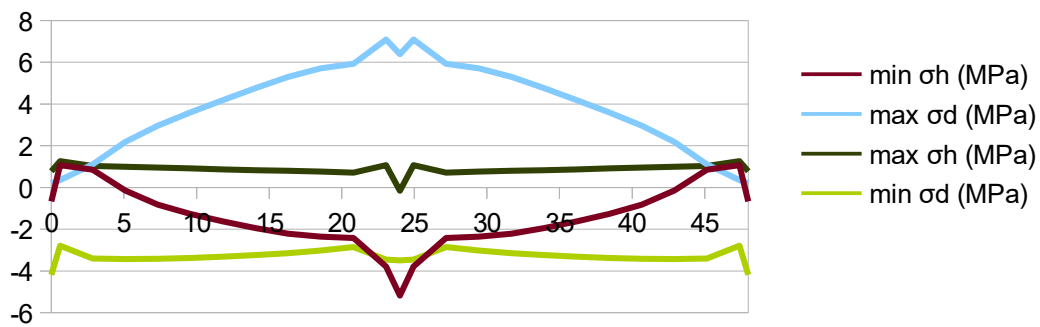
Brzdné síly



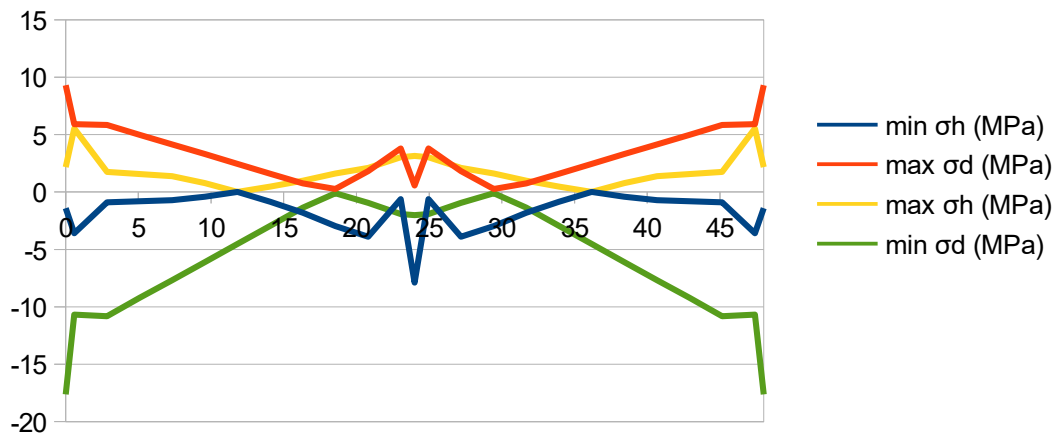
Zvětšení zemního tlaku vlivem dopravy



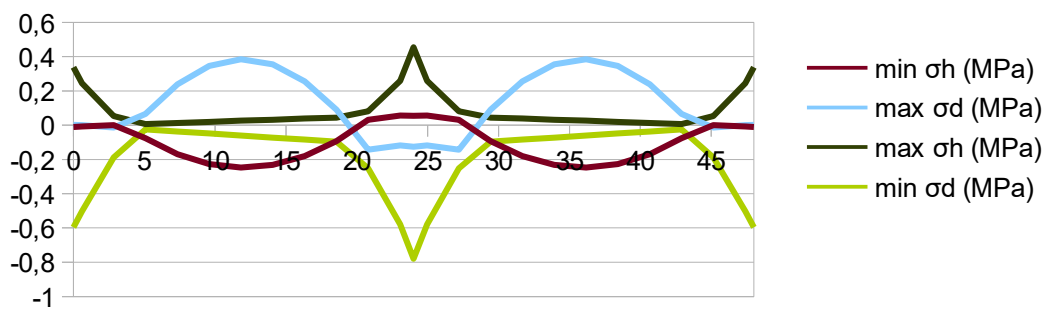
Nerovnoměrná teplota



Rovnoměrná teplota

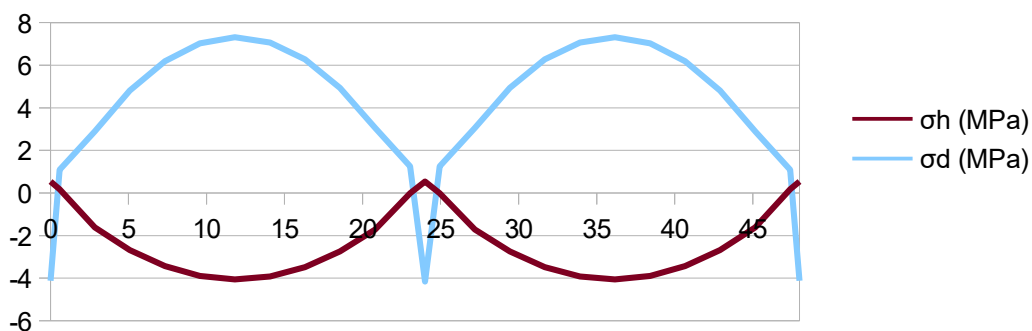


Staveništní zatížení

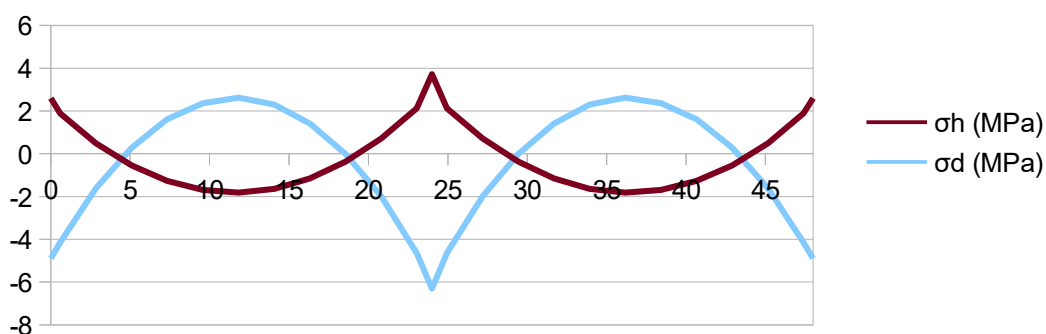


5.6 Napětí z izotropního modelu na krajním nosníku - pravá stojina

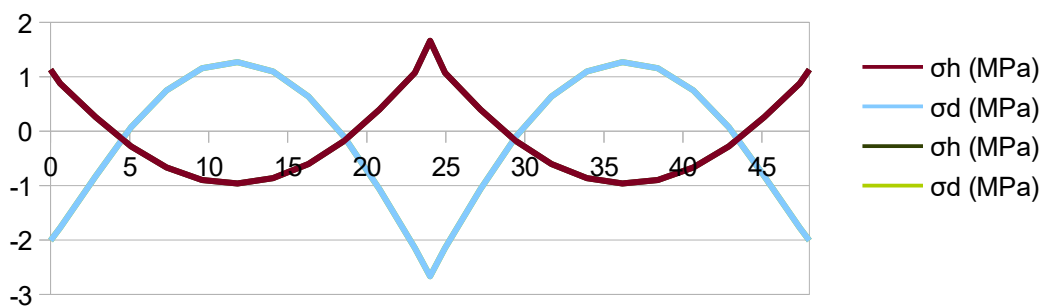
Vlastní tíha - prostý nosník



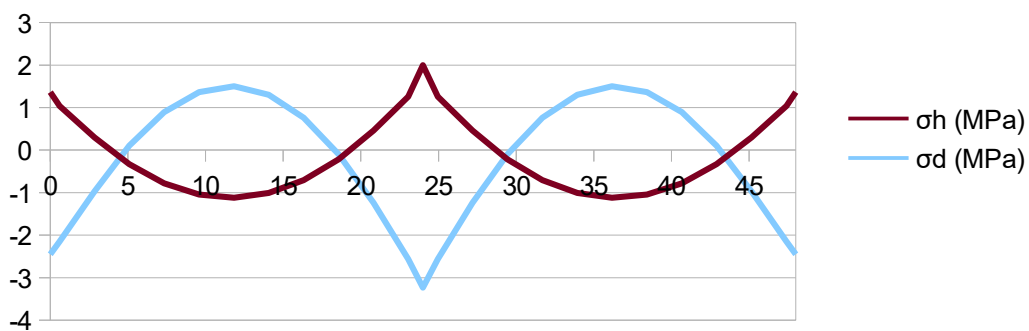
Vlastní tíha - rámová konstrukce



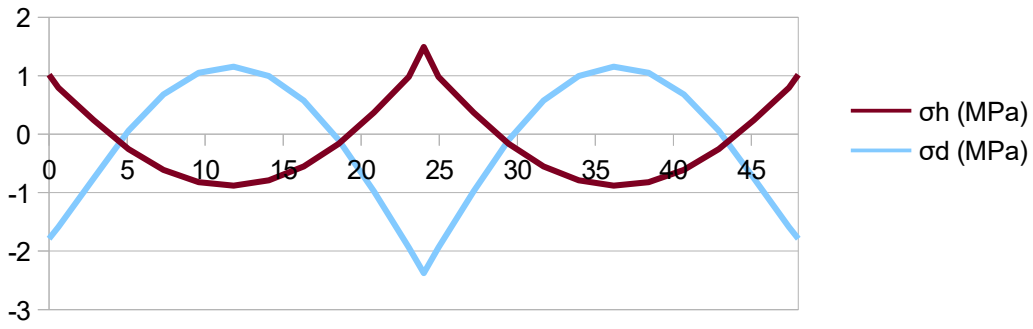
Ostatní stálé - střední hodnoty



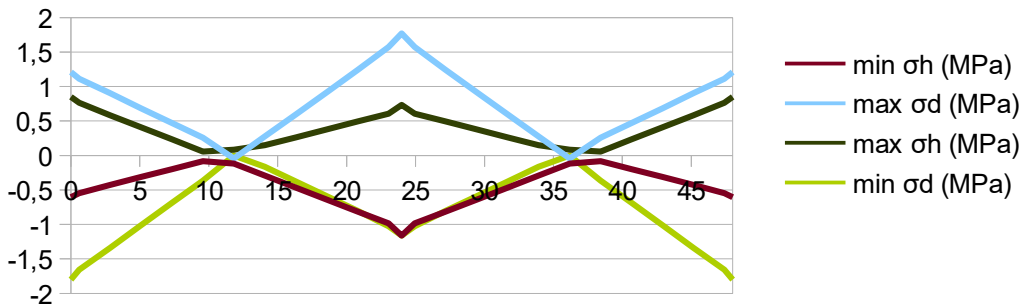
Ostatní stálé - horní hodnoty



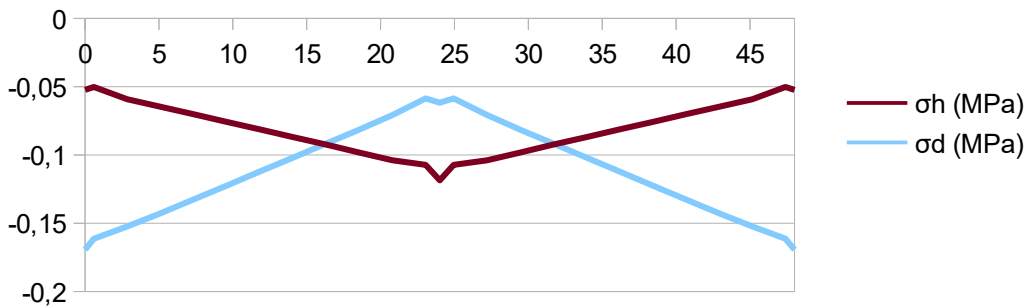
Ostatní stálé - dolní hodnoty



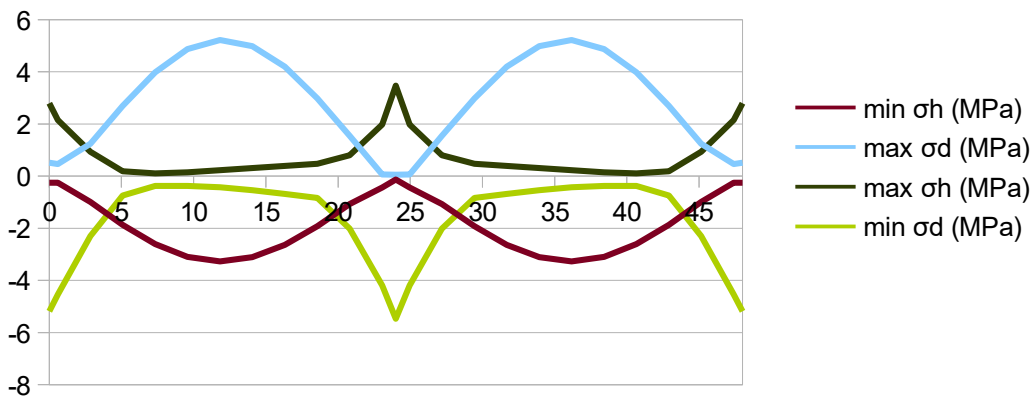
Pokles podpor



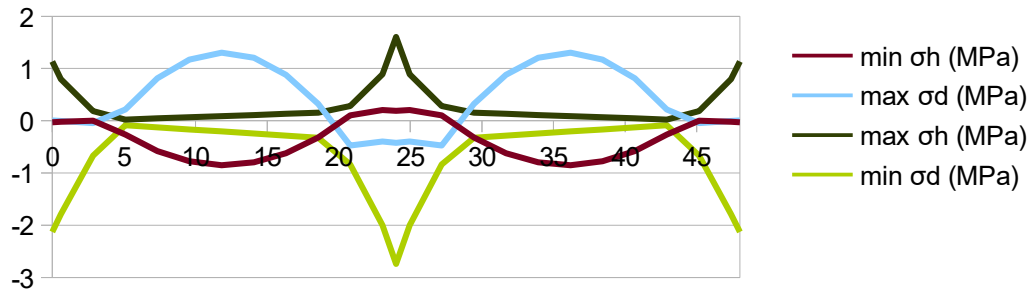
Zemní tlak



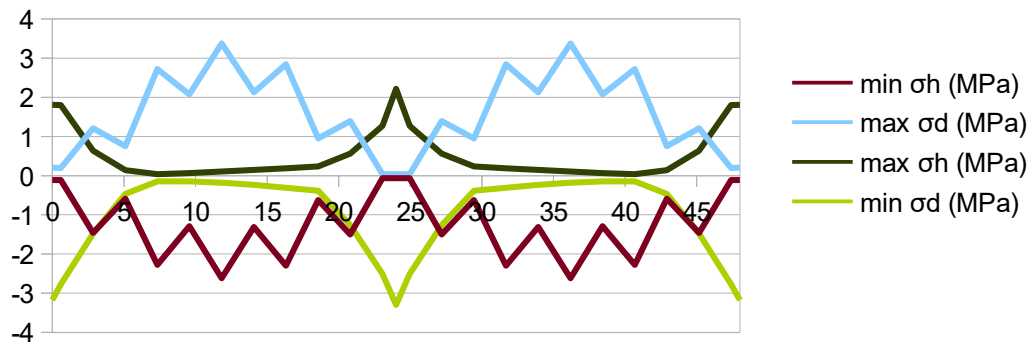
LM1 - náprava



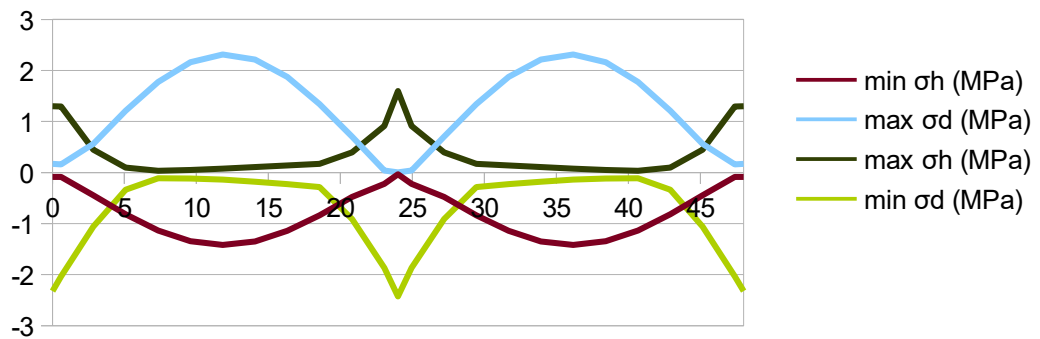
LM1-plošné zatížení



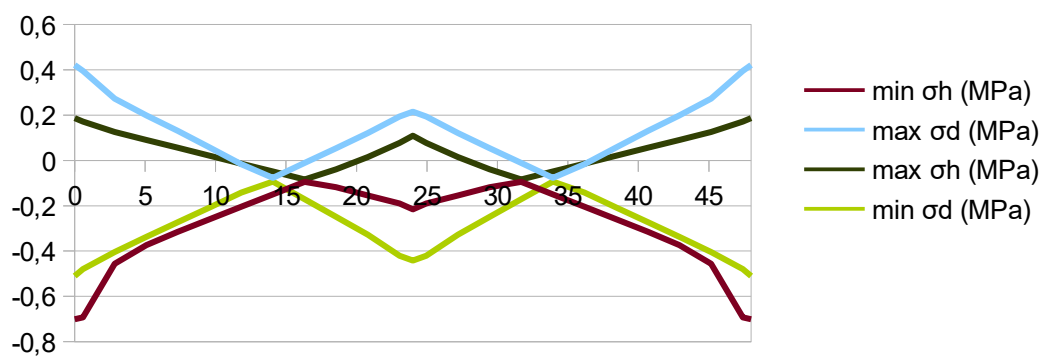
LM2



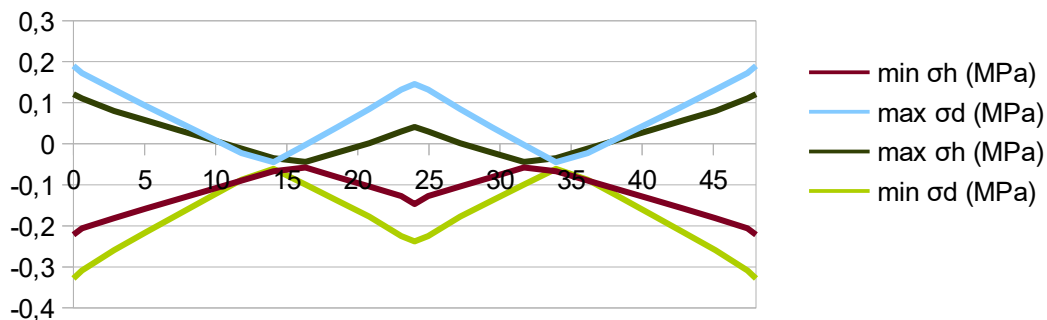
Zatížení na únavu



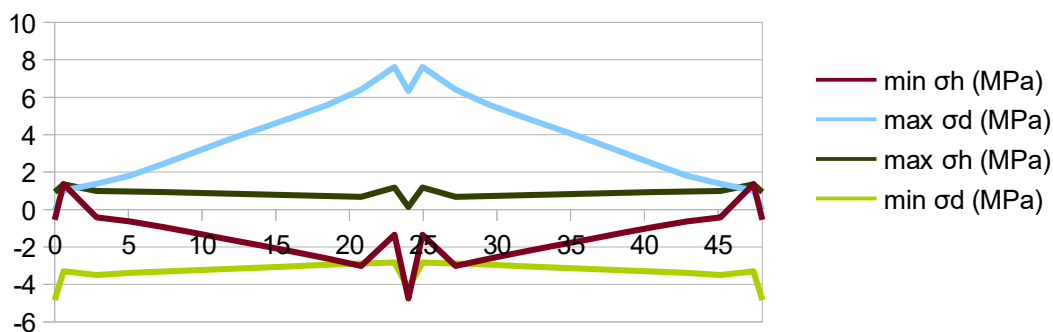
Brzdné síly



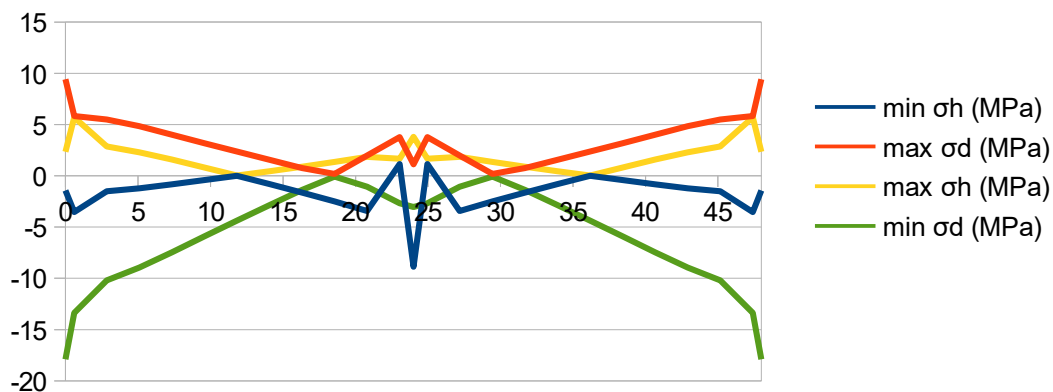
Zvětšení zemního tlaku vlivem dopravy



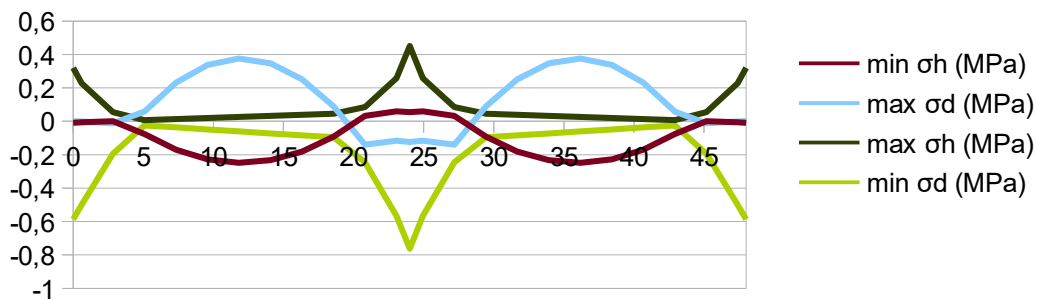
Nerovnoměrná teplota



Rovnoměrná teplota



Staveništní zatížení



5.7 Redistribuce vlastní tíhy

Vlivem změny statického schématu z prostého nosníku na rámovou konstrukci dojde k redistribuci napětí od vlastní tíhy. Výpočet redistribuce je proveden pro čas $t=365$ dní tj. čas uvedení do provozu a čas $t=36\,500$ dní tj. doba na konci životnosti. Tato napětí jsou použita pro posouzení na MSP.

Pro výpočet redistribuce byl použit tento vzorec:

$$S(t) = S_0 + \frac{(S_1 - S_0) * E_c(t_1)}{E_c(t_0)} * \left(\frac{\varphi(t, t_0) - \varphi(t_1, t_0)}{1 + 0,8 * \varphi(t, t_1)} \right)$$

$S(t)$ jsou napětí v čase t

S_0 jsou vnitřní síly po ukončení výstavby, v tomto případě jsou to napětí od vlastní tíhy na prostém nosníku

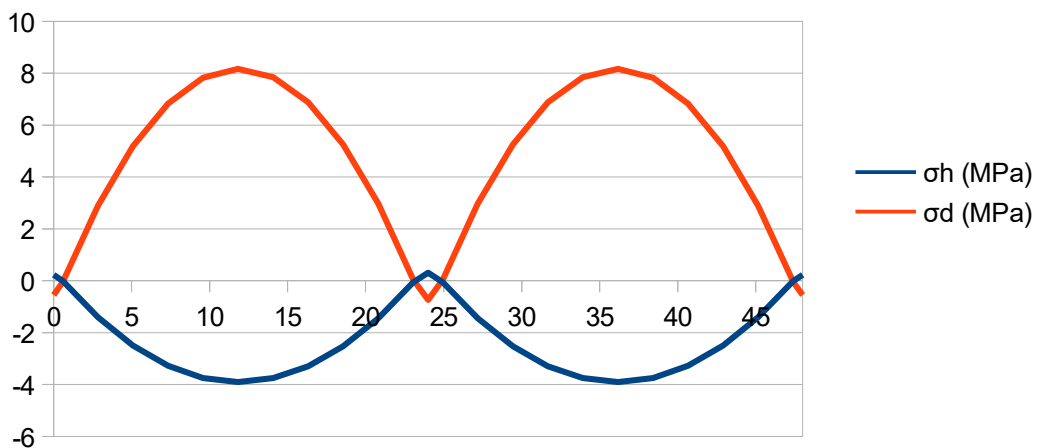
S_1 jsou vnitřní síly na definitivní statické soustavě, v tomto případě jsou to napětí od vlastní tíhy na rámové konstrukci

t_0 je stáří betonu při vnesení zatížení, v tomto případě jsou to 3 dny

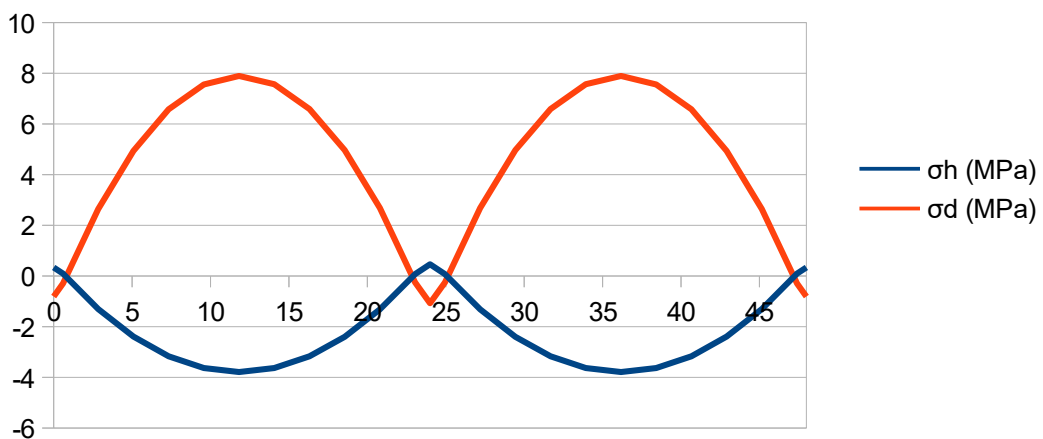
t_1 je stáří betonu při změně statického schématu, v tomto případě je to 28 dní

5.7.1 Ortotropní model - krajní nosník

Vlastní tíha - uvedení do provozu

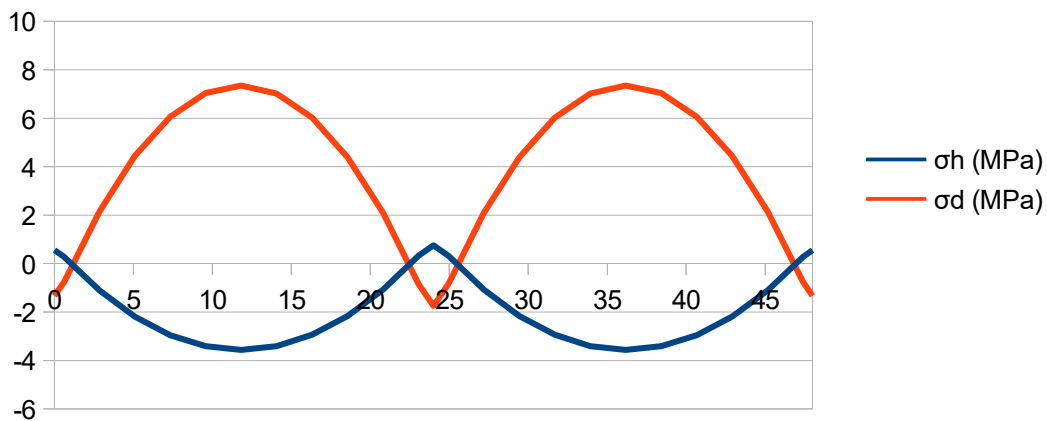


Vlastní tíha - konec životnost

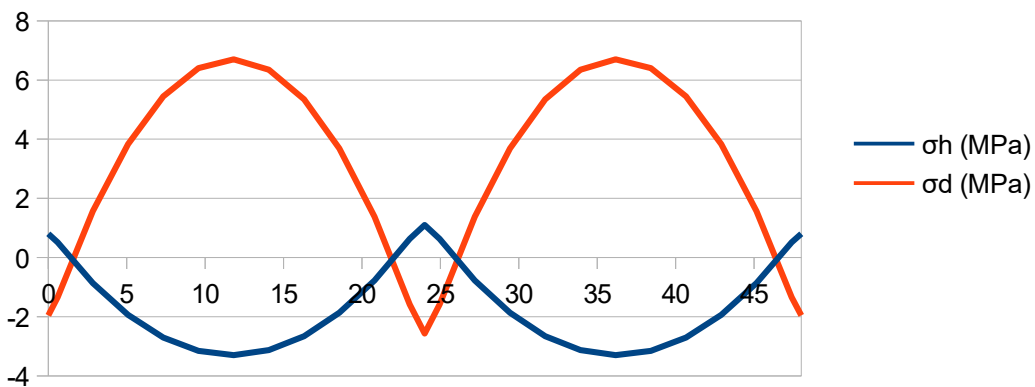


5.7.2 Ortotropní model - prostřední nosník

Vlastní tíha - uvedení do provozu

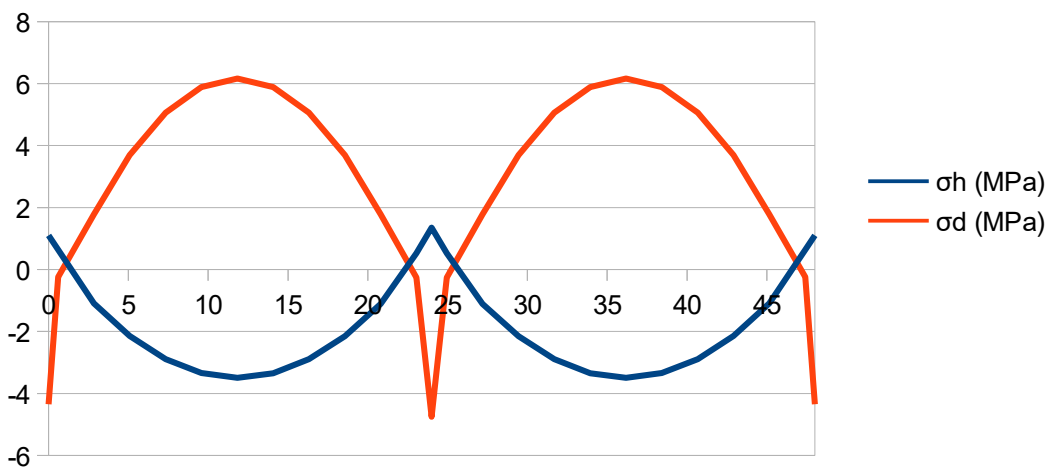


Vlastní tíha - konec životnost

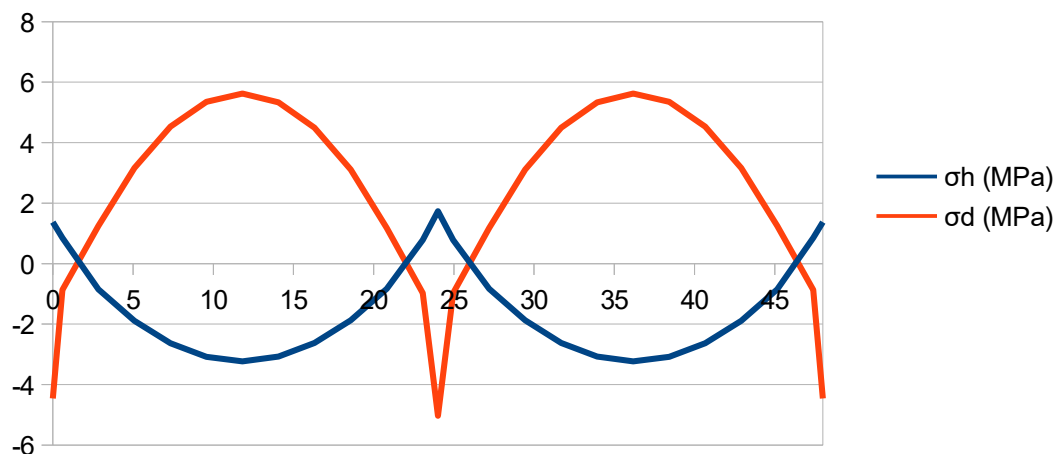


5.7.3 Izotropní model - krajní nosník, levá stojina

Vlastní tíha - uvedení do provozu

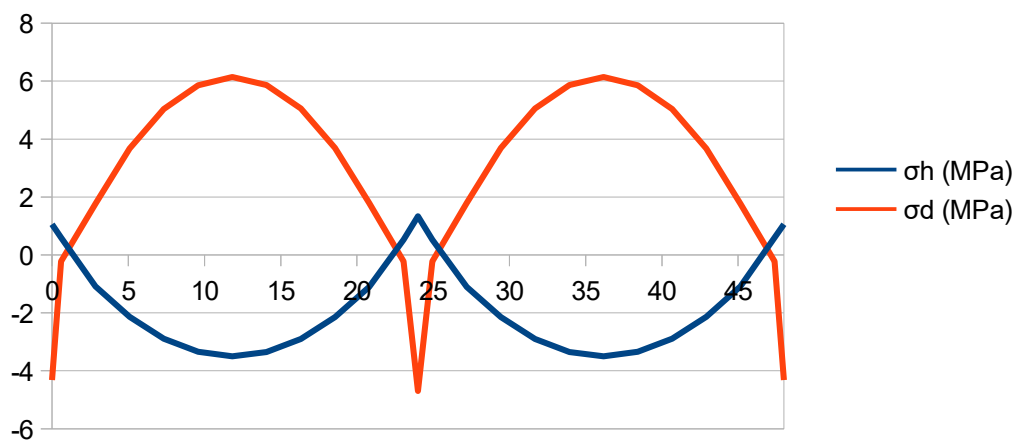


Vlastní tíha - konec životnost

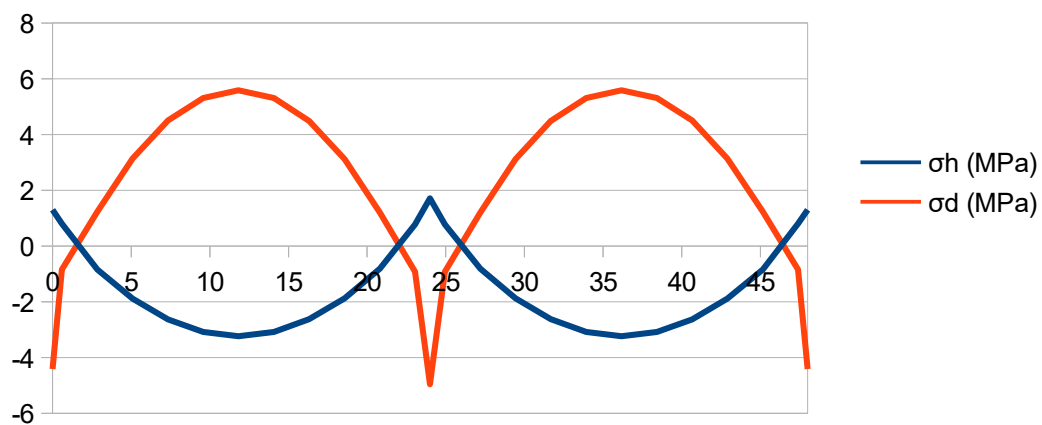


5.7.4 Izotropní model - krajní nosník, pravá stojina

Vlastní tíha - uvedení do provozu



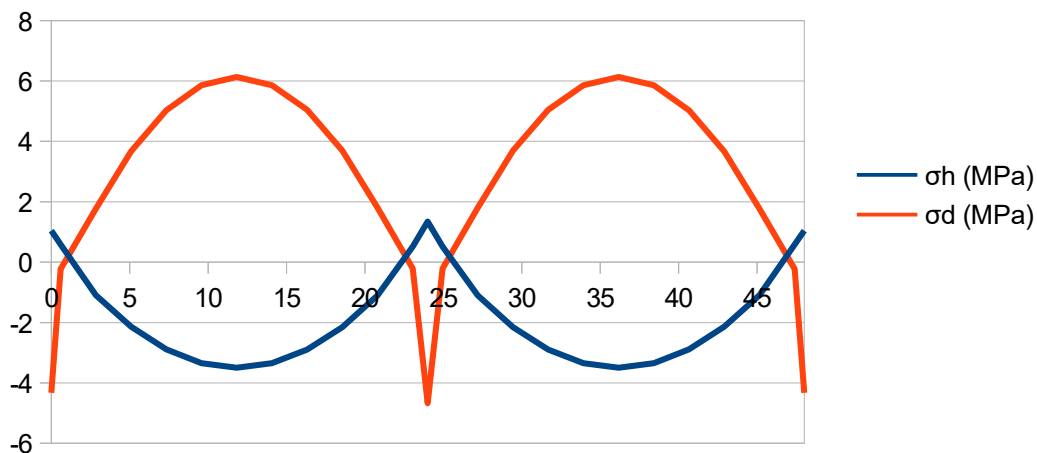
Vlastní tíha - konec životnost



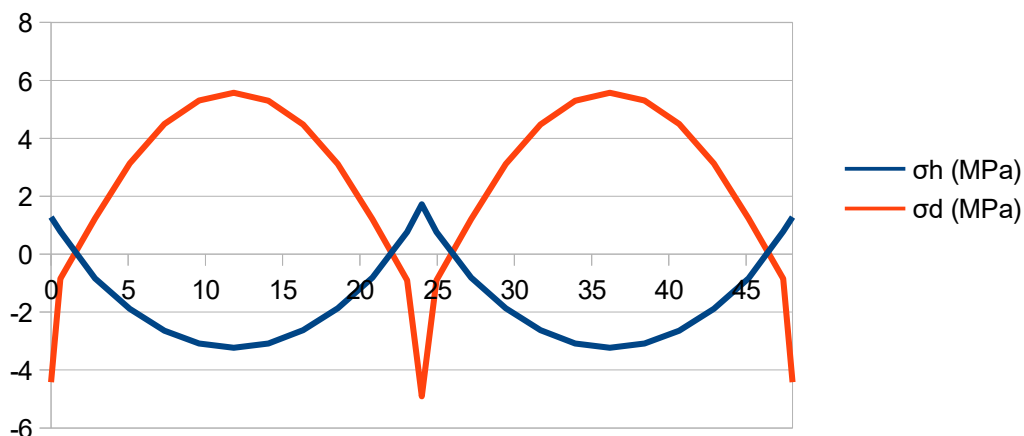
5.7.5 Izotropní model - prostřední nosník

U prostředního nosníku jsou hodnoty pro levou i pravou stojinu shodné.

Vlastní tíha - uvedení do provozu



Vlastní tíha - konec životnost



6. Rozhodující kombinace napětí bez předpětí

6.1 Kombinace pro MSP

Most bude posuzován v čase $t = 28$ dní, tedy v době kdy se předpokládá zmonolitnění nosníků a vnesení předpětí volnými kabely. Kombinuje se zde veškeré stálé zatížení, z proměnného zatížení se kombinuje staveništní zatížení, nerovnoměrná a rovnoměrná složka teploty. Každé z proměnného zatížení je postupně bráno jako hlavní.

Dále bude most posouzen v čase $t = 365$ dní, což je okamžik uvedení konstrukce do provozu. Do kombinací vstupuje stálé zatížení, vlastní tíha je převzata z redistribuce. Z proměnného zatížení se uvažuje zatížení teplotou a zatížení od dopravy. Jsou použity kombináčnické sestavy podle ČSN EN 1990: gr1a, gr1b a gr2.

Nakonec bude most posouzen v čase $t = 36\,500$ dní, tedy na konci životnosti konstrukce. Od kombinací v době uvedení do provozu se liší pouze hodnotou vlastní tíhy.

Charakteristická kombinace zatížení:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Častá kombinace zatížení:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \Psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

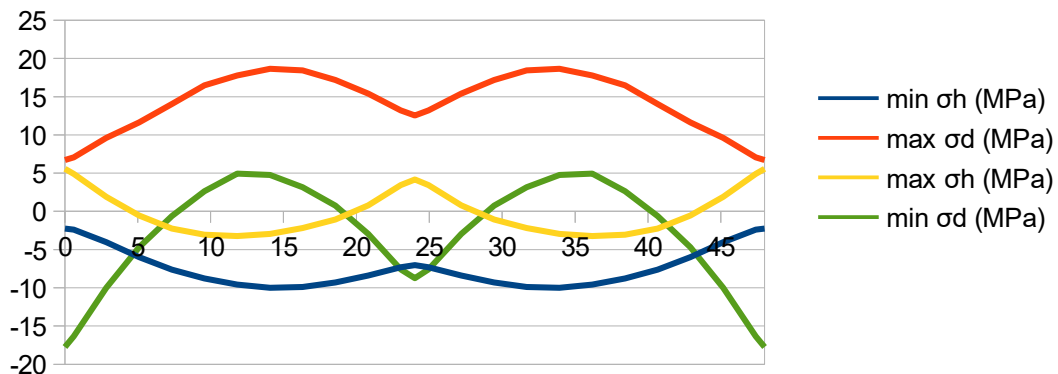
Kvazistálá kombinace zatížení:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

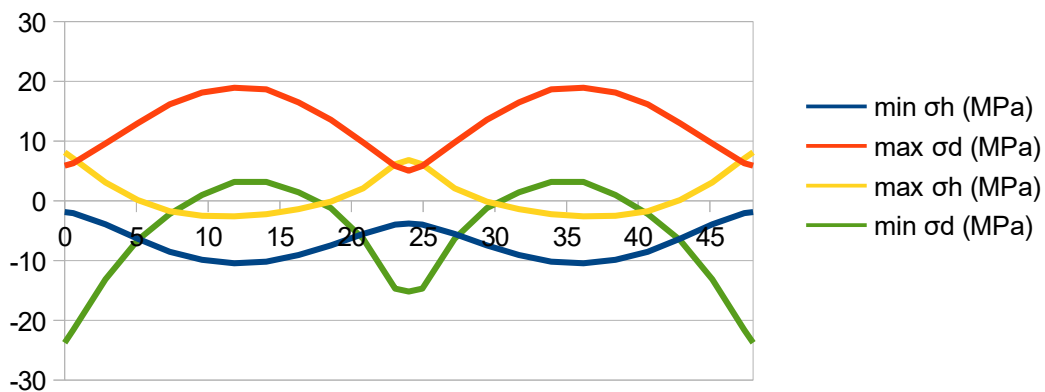
6.1.1 Charakteristická kombinace

6.1.1.1 Ortotropní model - prostřední nosník

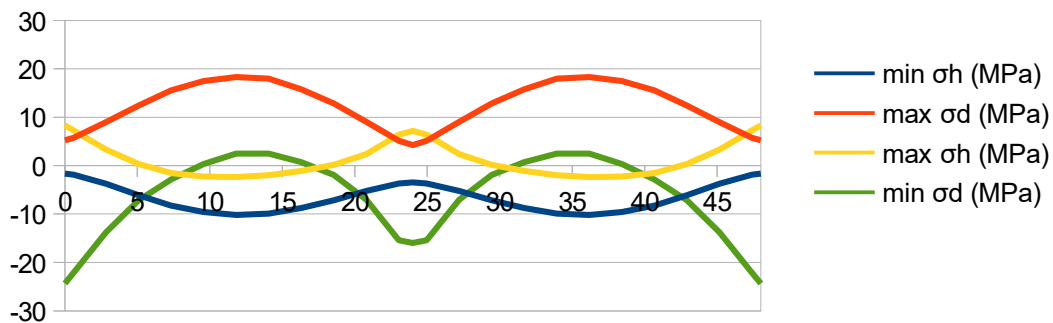
Charakteristická kombinace - TR



Charakteristická kombinace - UP

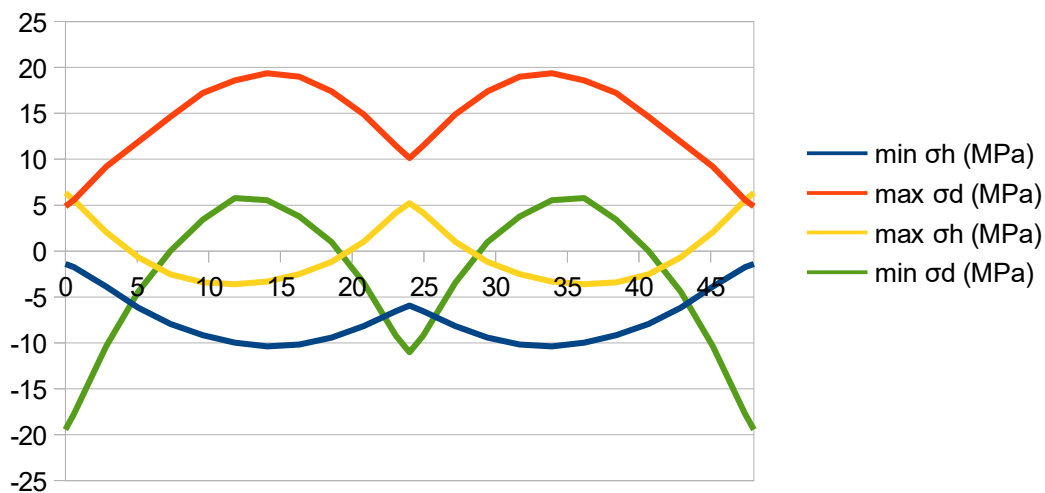


Charakteristická kombinace - KŽ

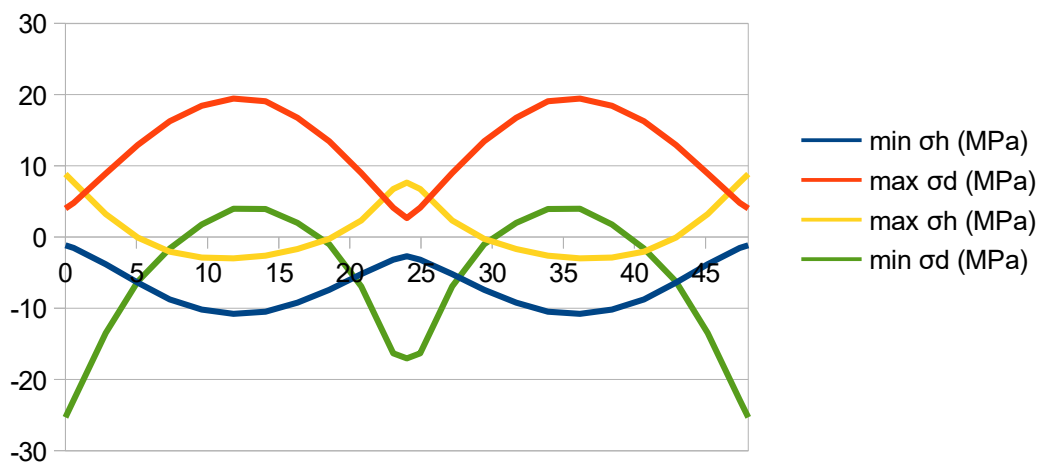


6.1.1.2 Ortotropní model - krajní nosník

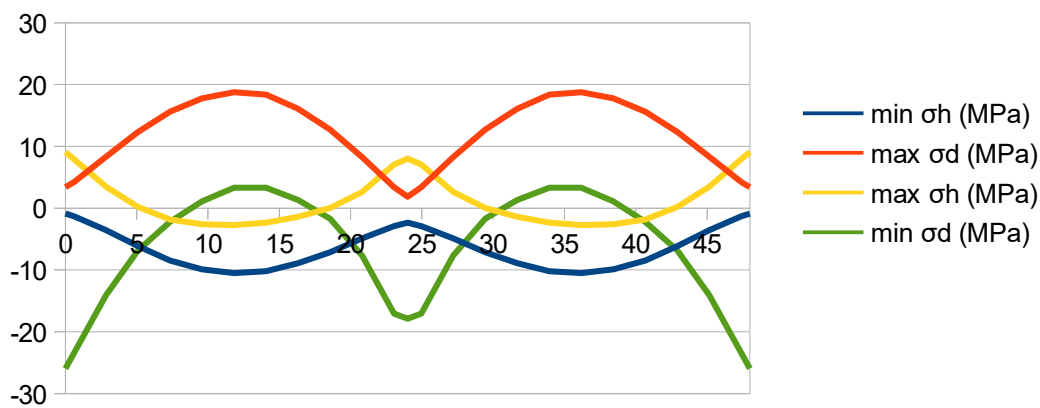
Charakteristická kombinace - TR



Charakteristická kombinace - UP

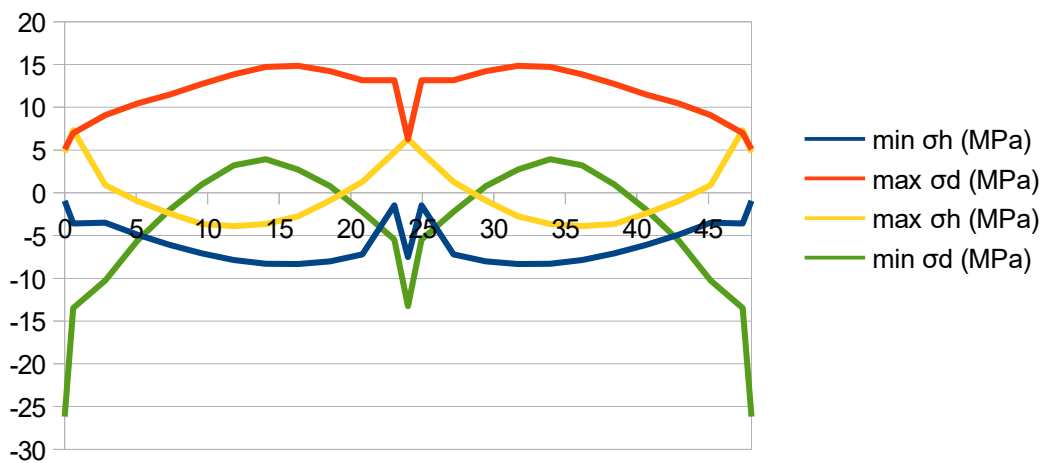


Charakteristická kombinace - KŽ

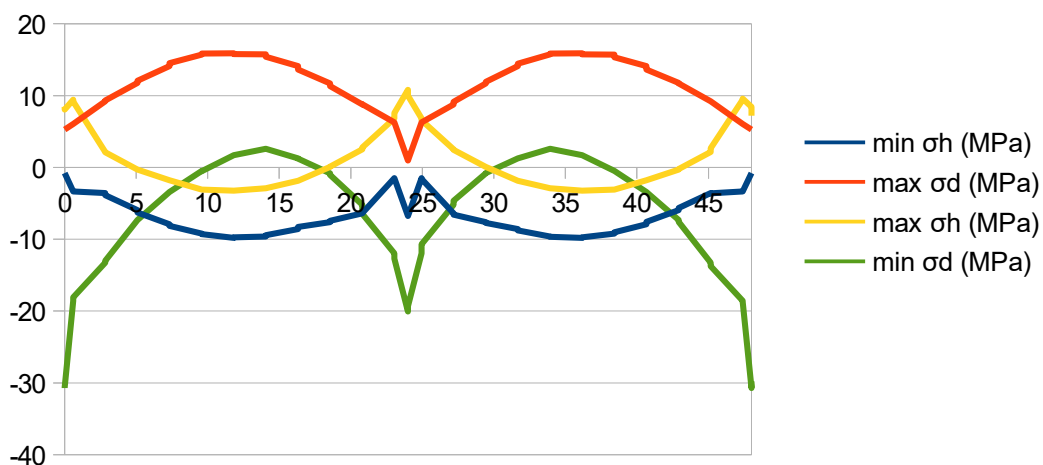


6.1.1.3 Izotropní model - prostřední nosník, levá stojina

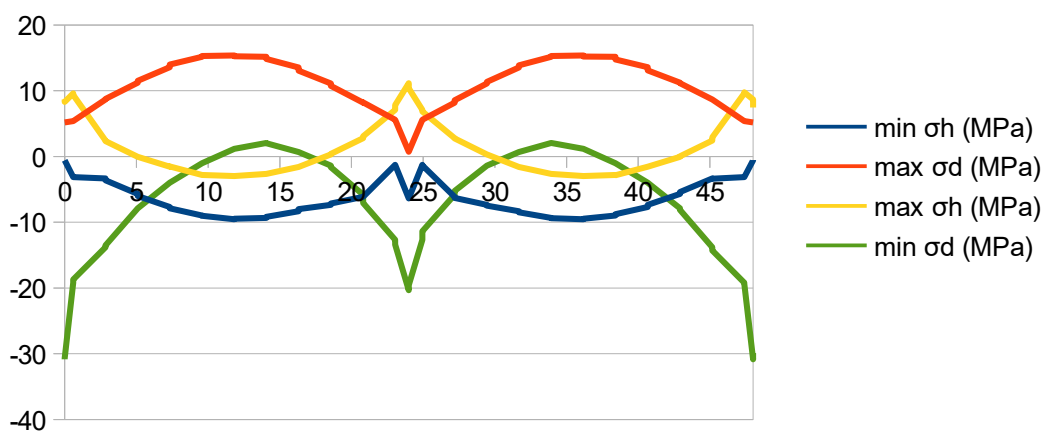
Charakteristická kombinace - TR



Charakteristická kombinace - UP

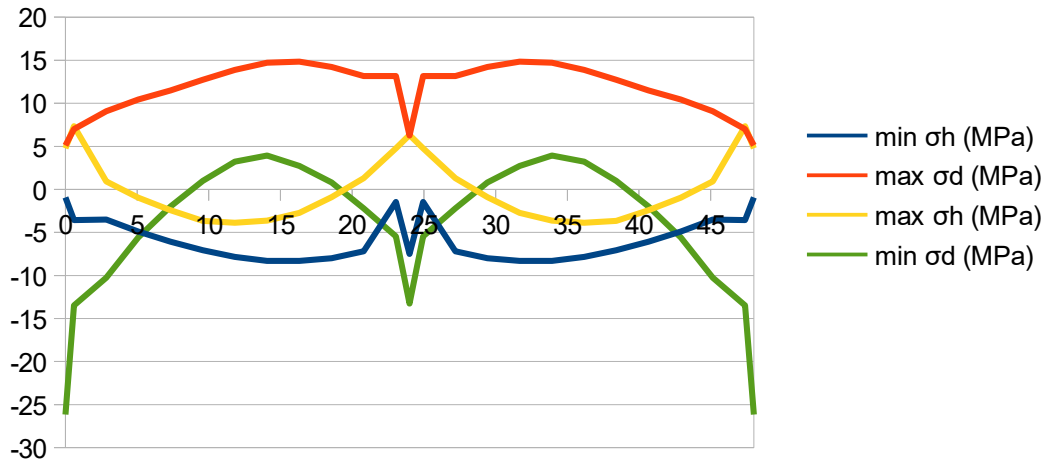


Charakteristická kombinace - KŽ

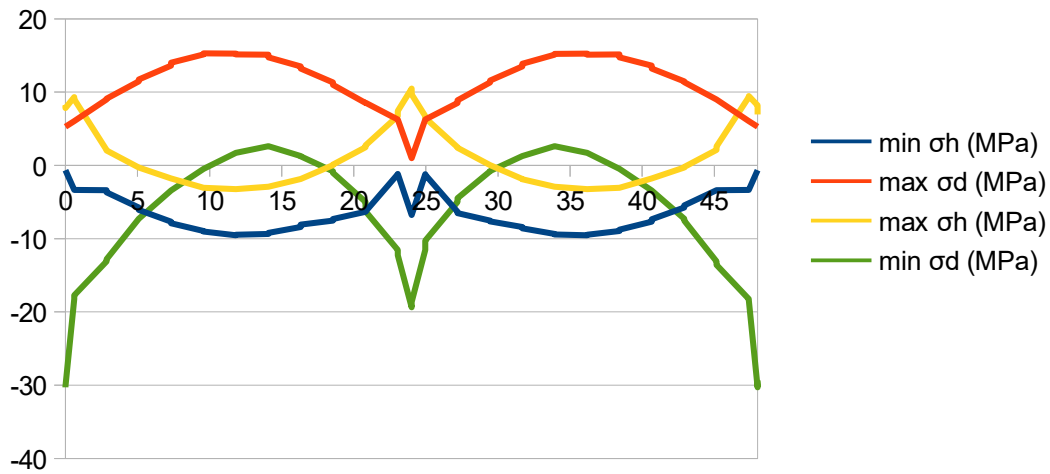


6.1.1.4 Izotropní model - prostřední nosník, pravá stojina

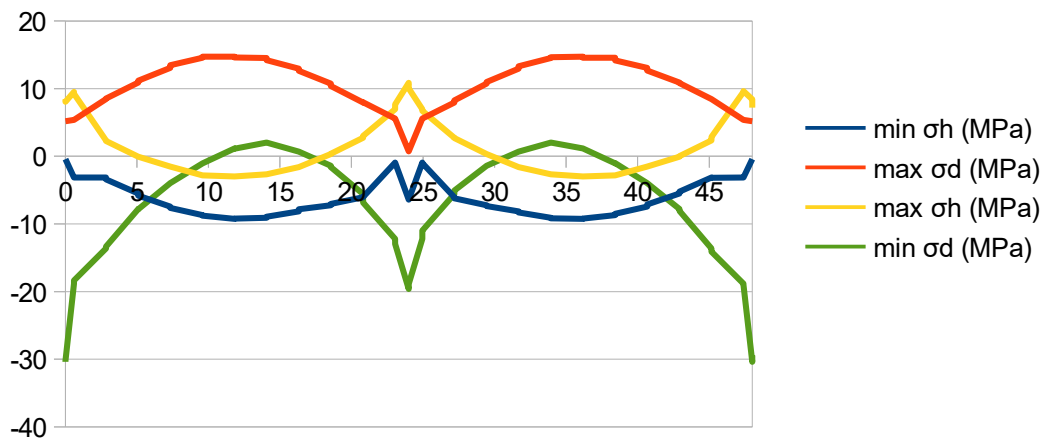
Charakteristická kombinace - TR



Charakteristická kombinace - UP

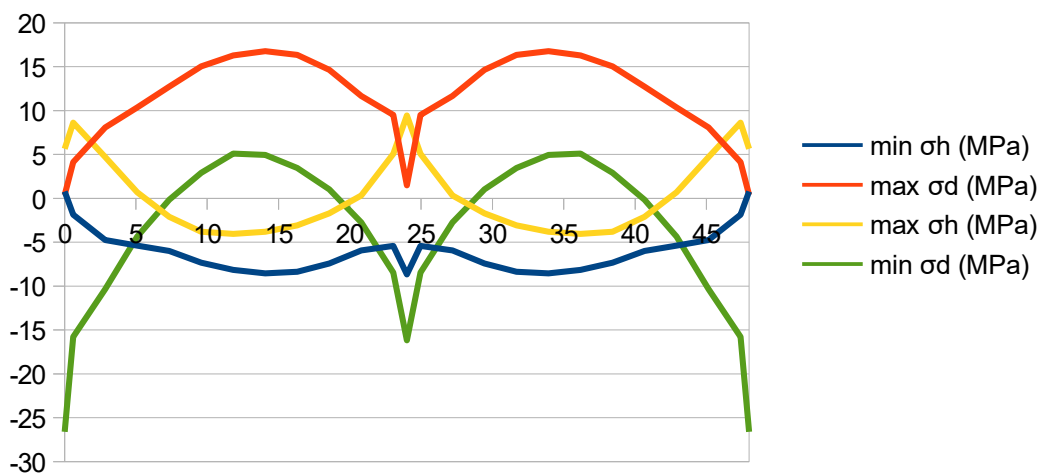


Charakteristická kombinace - KŽ

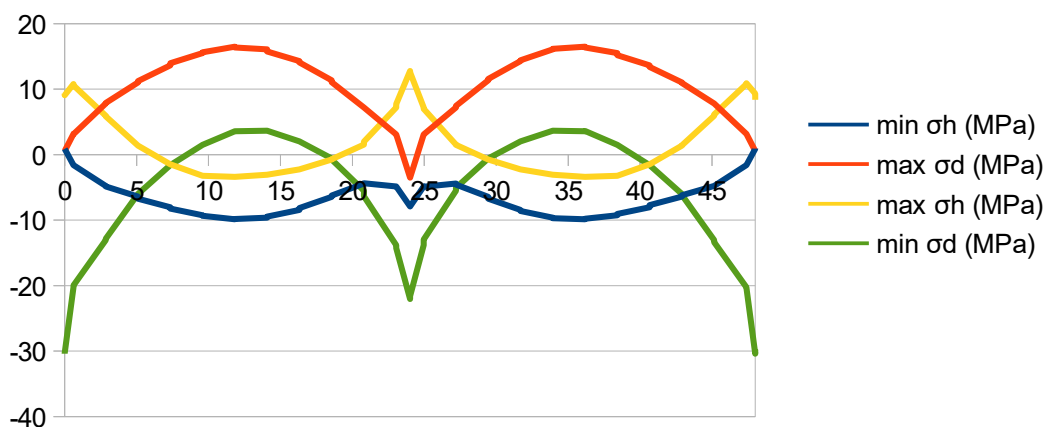


6.1.1.5 Izotropní model - krajní nosník, levá stojina

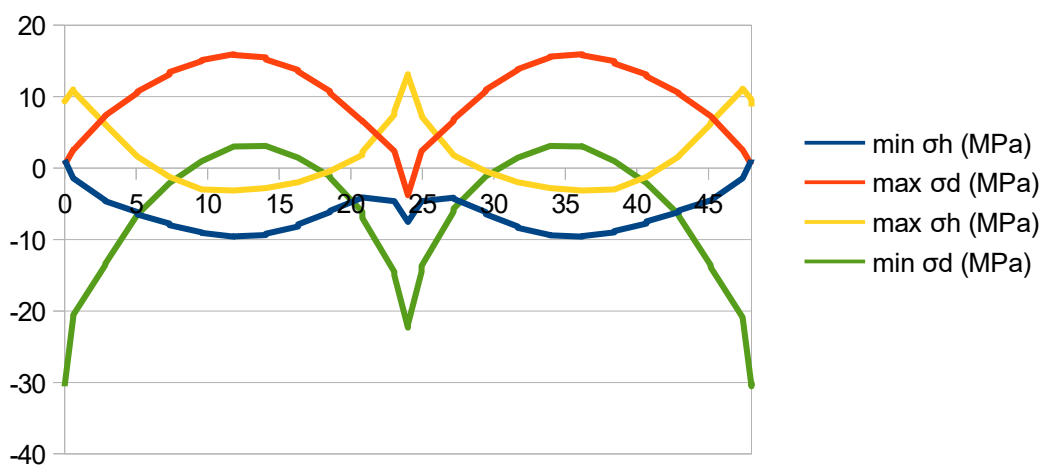
Charakteristická kombinace - TR



Charakteristická kombinace - UP

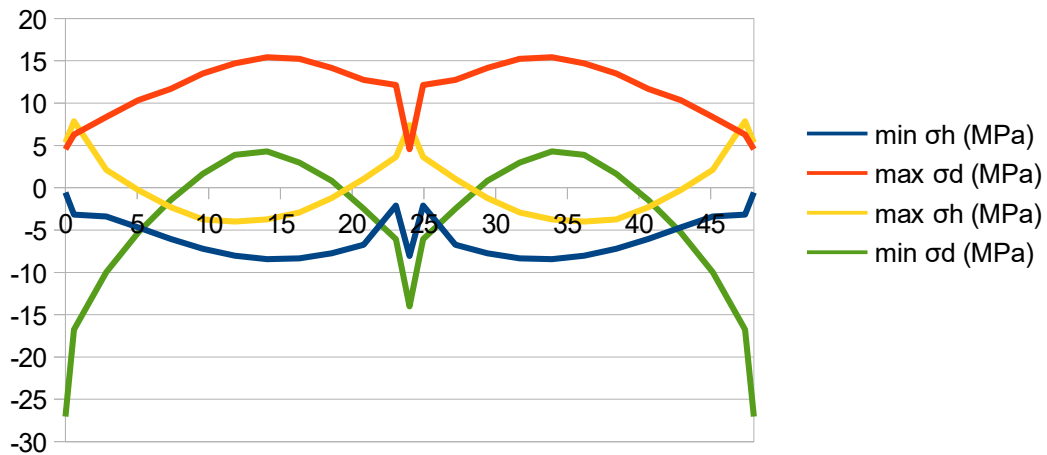


Charakteristická kombinace - KŽ

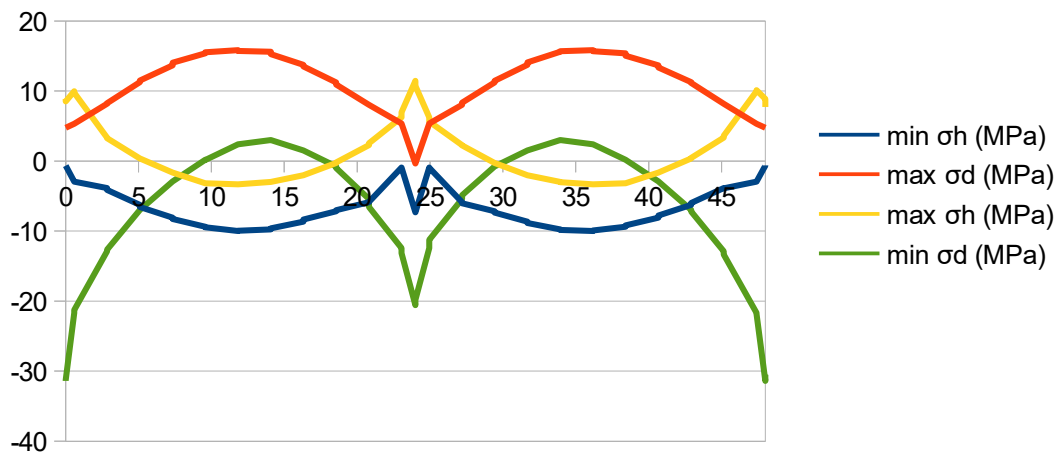


6.1.1.6 Izotropní model - krajní nosník, pravá stojina

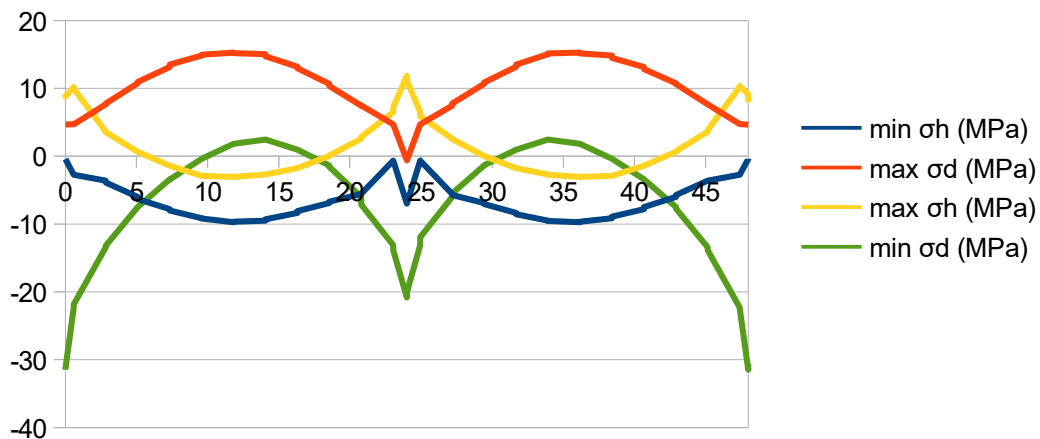
Charakteristická kombinace - TR



Charakteristická kombinace - UP



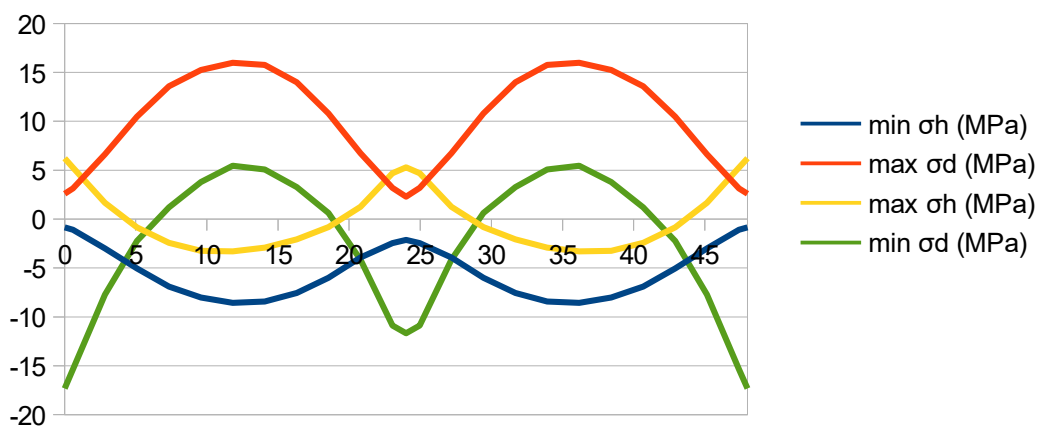
Charakteristická kombinace - KŽ



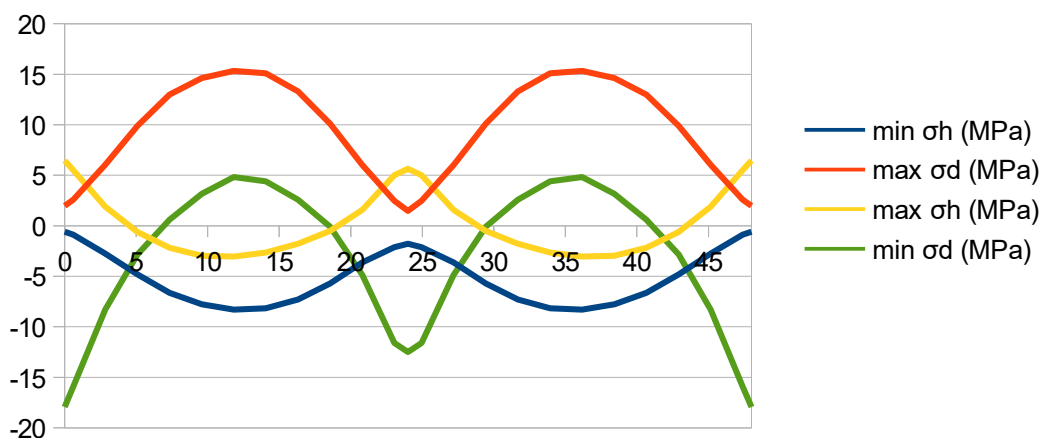
6.1.2 Častá kombinace

6.1.2.1 Ortotropní model - prostřední nosník

Častá kombinace - UP

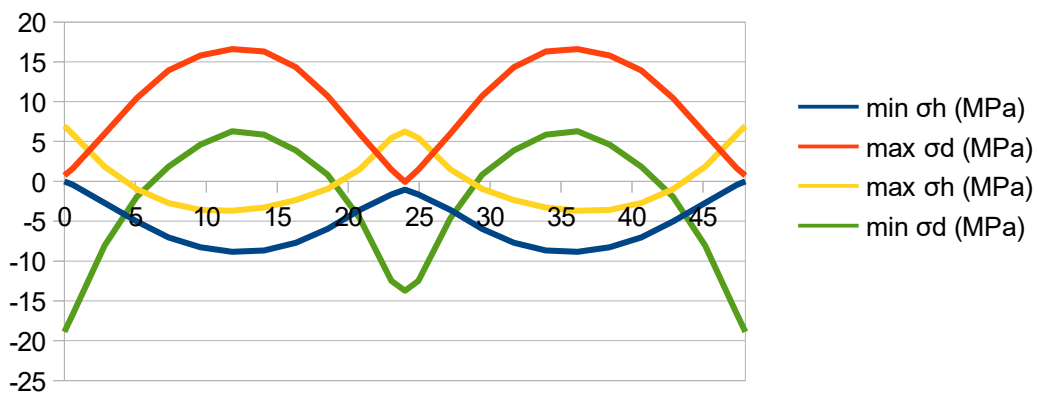


Častá kombinace - KŽ

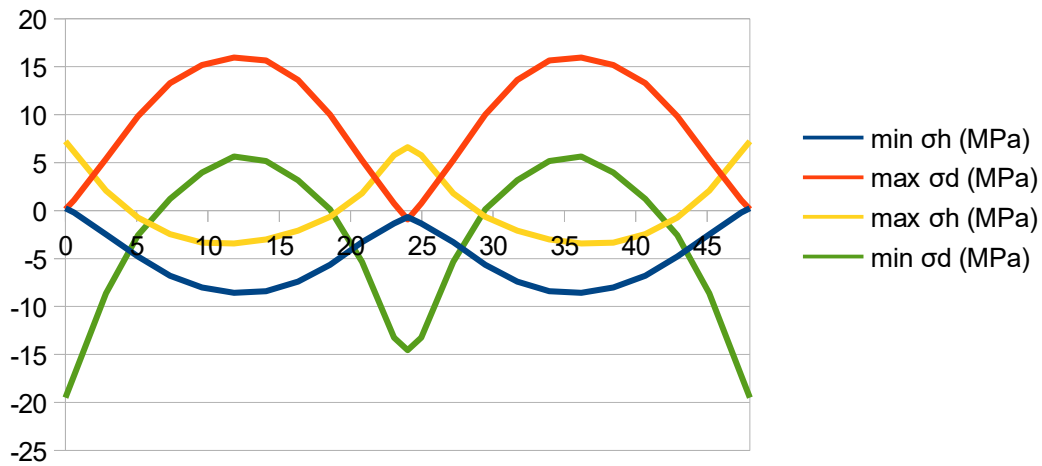


6.1.2.2 Ortotropní model - krajní nosník

Častá kombinace - UP

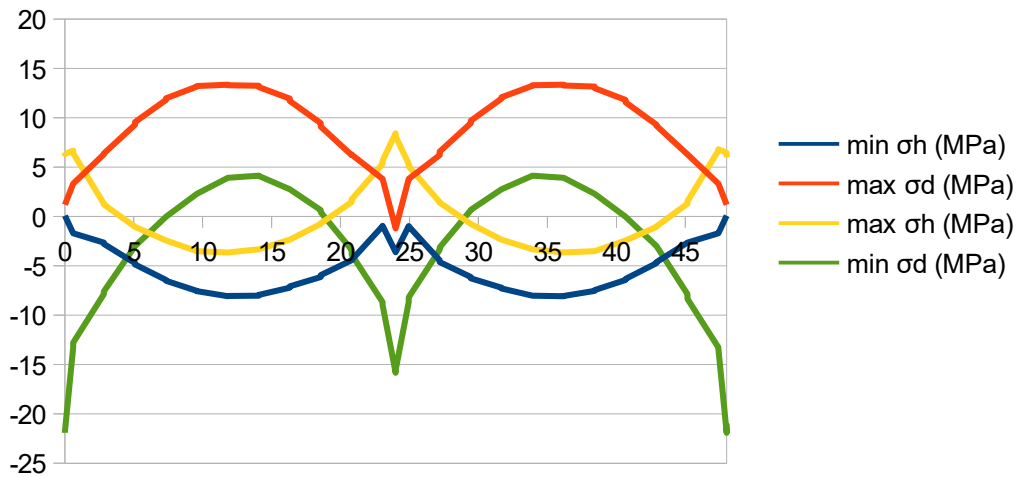


Častá kombinace - KŽ

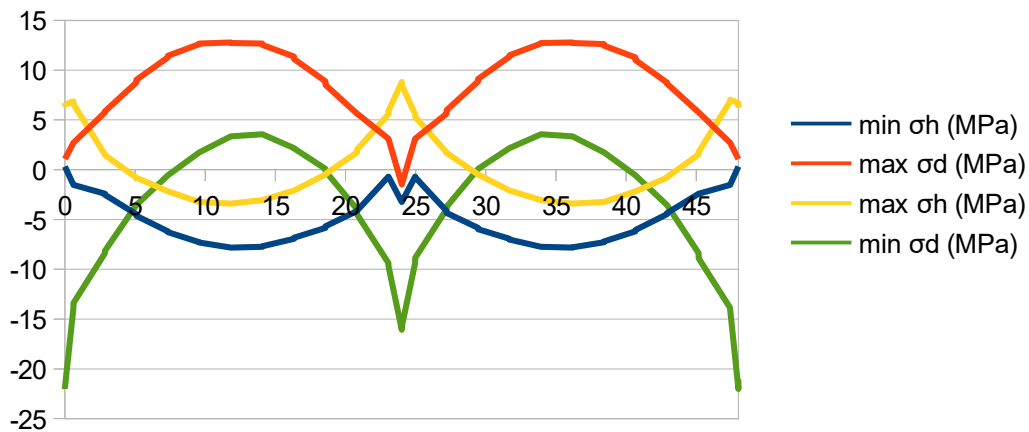


6.1.2.3 Izotropní model - prostřední nosník, levá stojina

Častá kombinace - UP

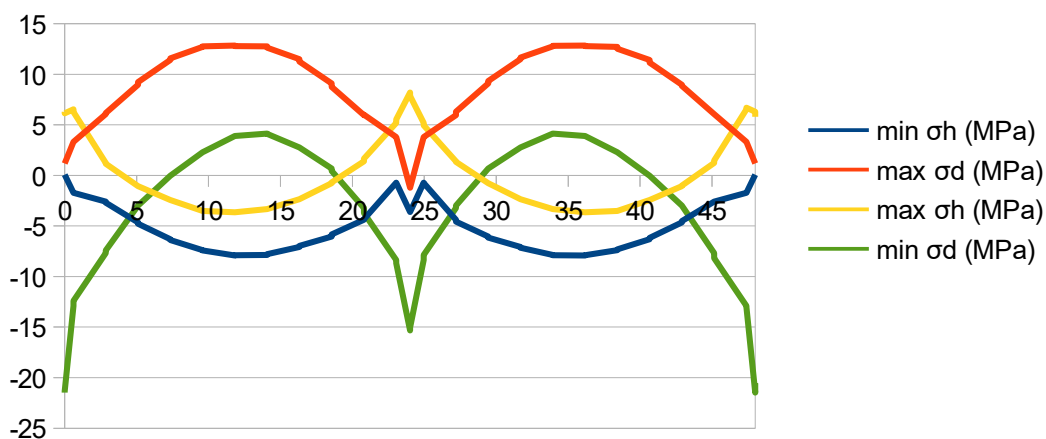


Častá kombinace - KŽ

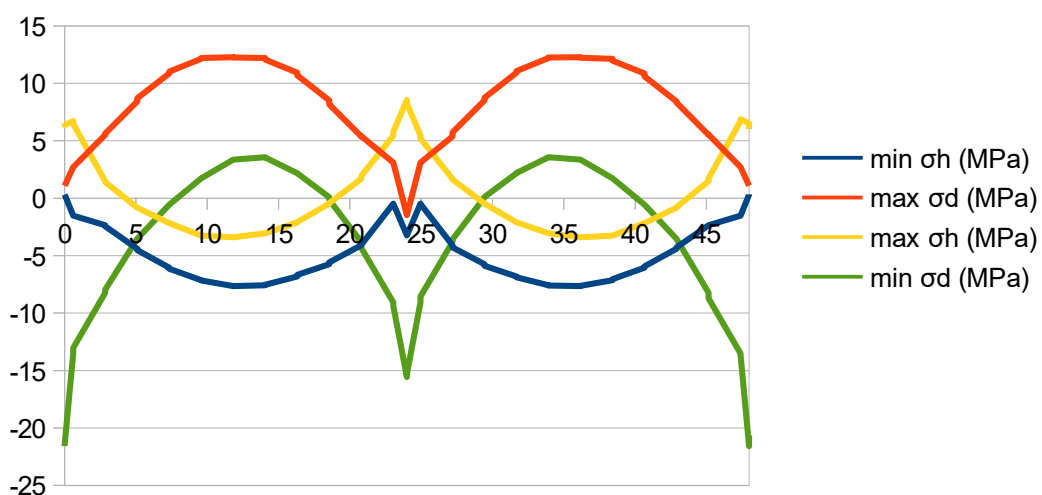


6.1.2.4 Izotropní model - prostřední nosník, pravá stojina

Častá kombinace - UP

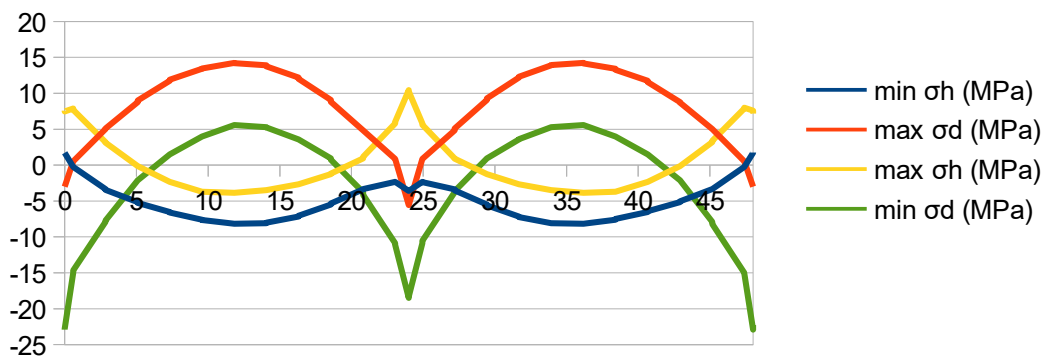


Častá kombinace - KŽ

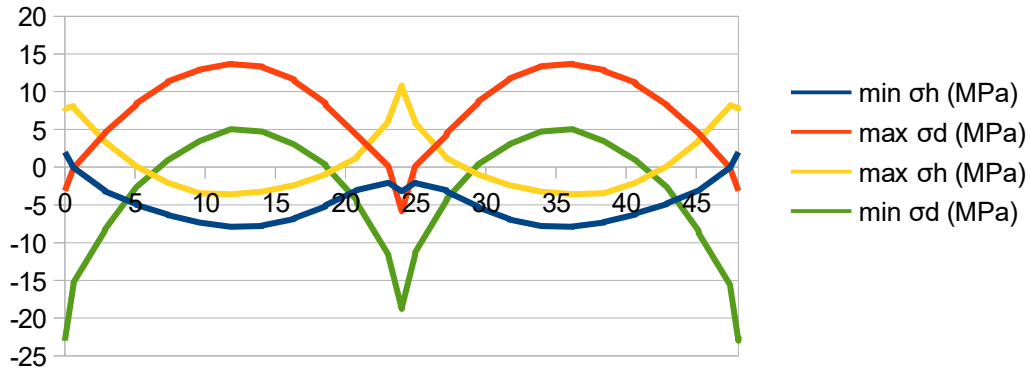


6.1.2.5 Izotropní model - krajní nosník, levá stojina

Častá kombinace - UP

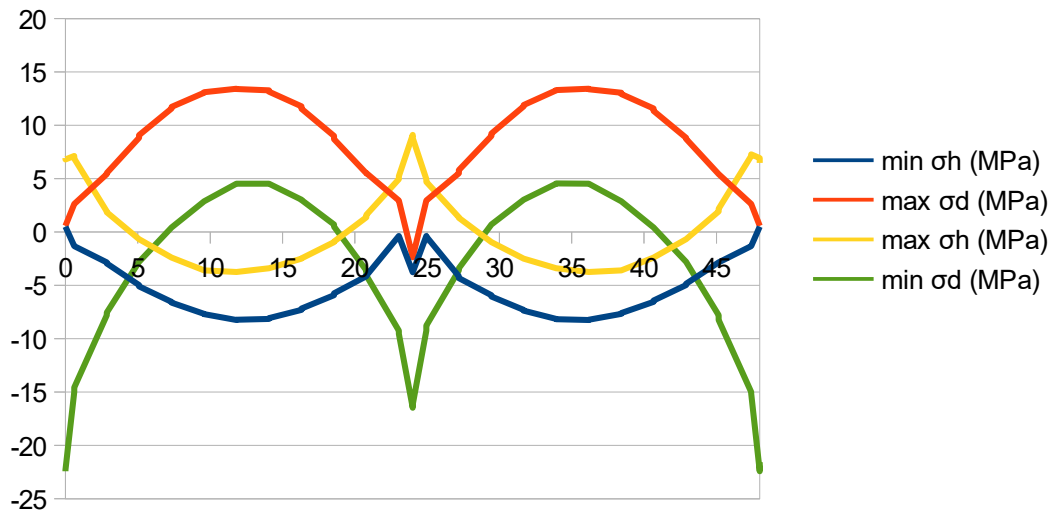


Častá kombinace - KŽ

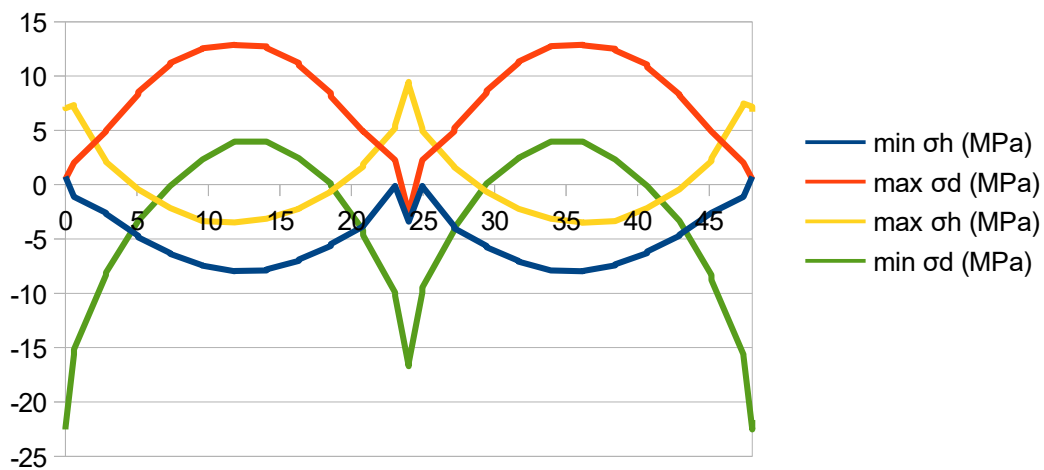


6.1.2.6 Izotropní model - krajní nosník, pravá stojina

Častá kombinace - UP



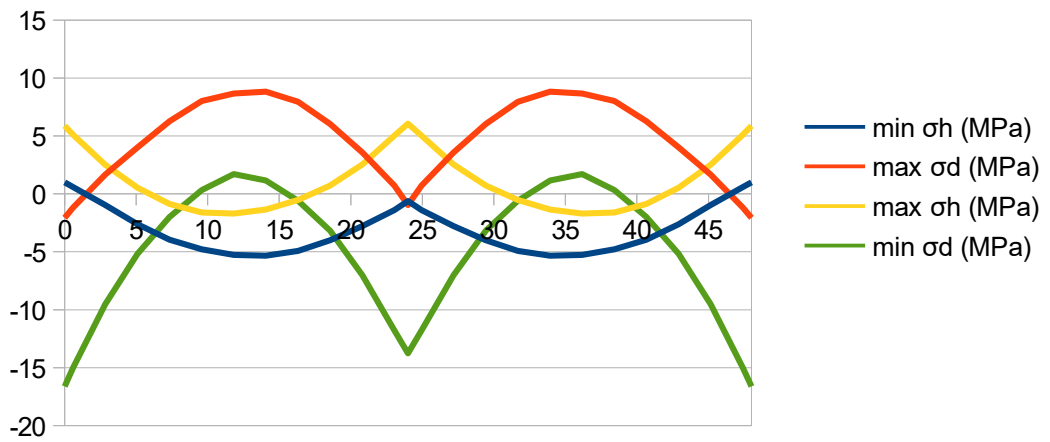
Častá kombinace - KŽ



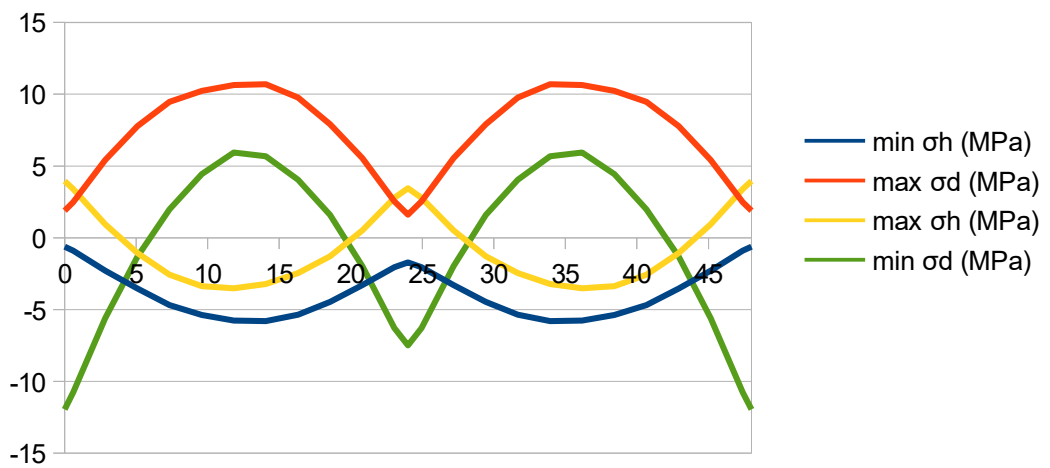
6.1.3 Kvazistálá kombinace

6.1.3.1 Ortotropní model - prostřední nosník

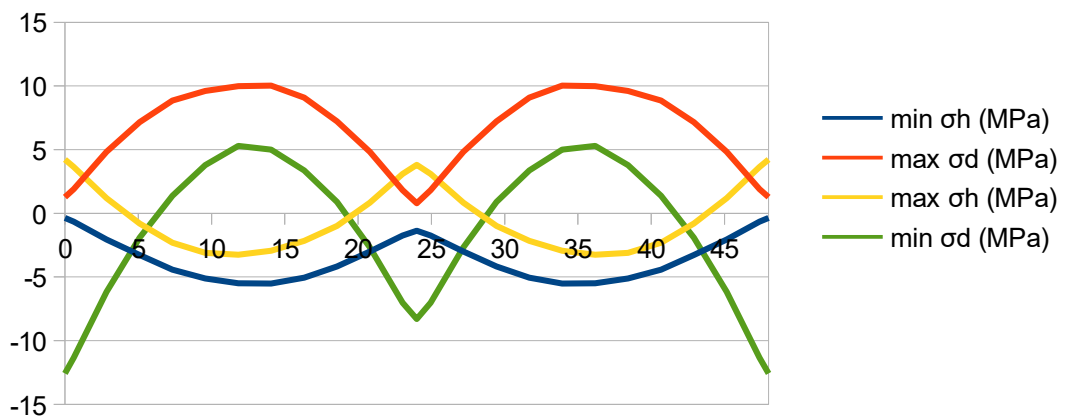
Kvazistálá kombinace - TR



Kvazistálá kombinace - UP

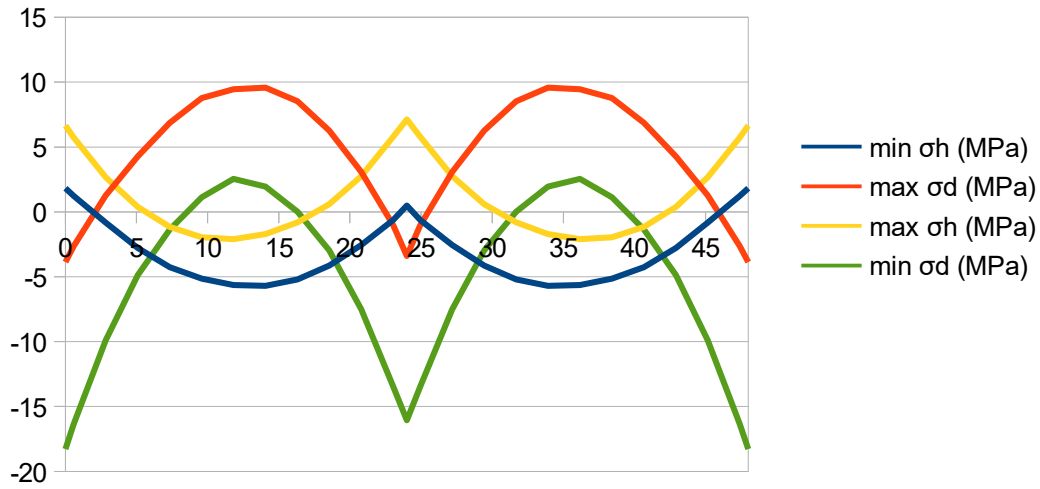


Kvazistálá kombinace - KŽ

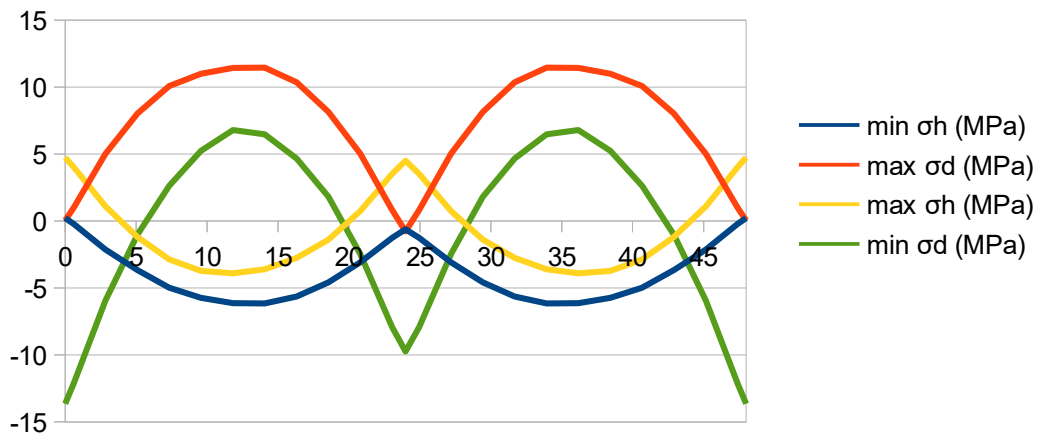


6.1.3.2 Ortotropní model - krajní nosník

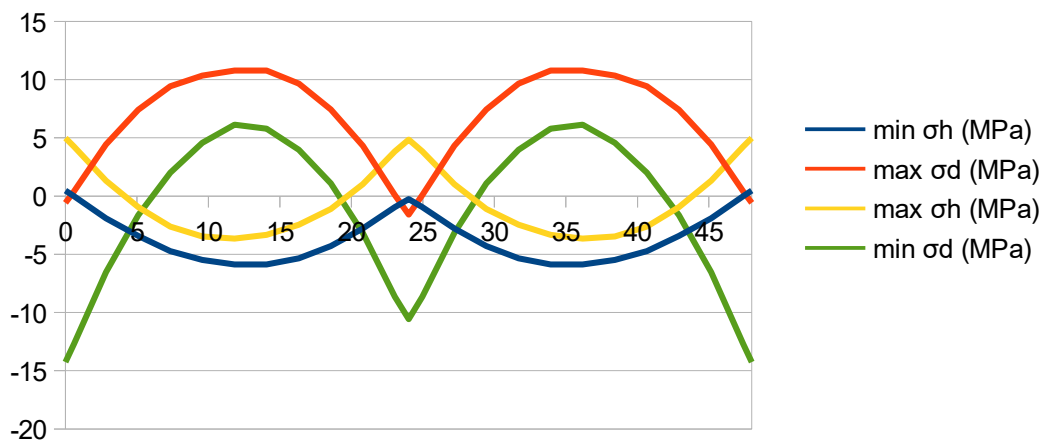
Kvazistálá kombinace - TR



Kvazistálá kombinace - UP

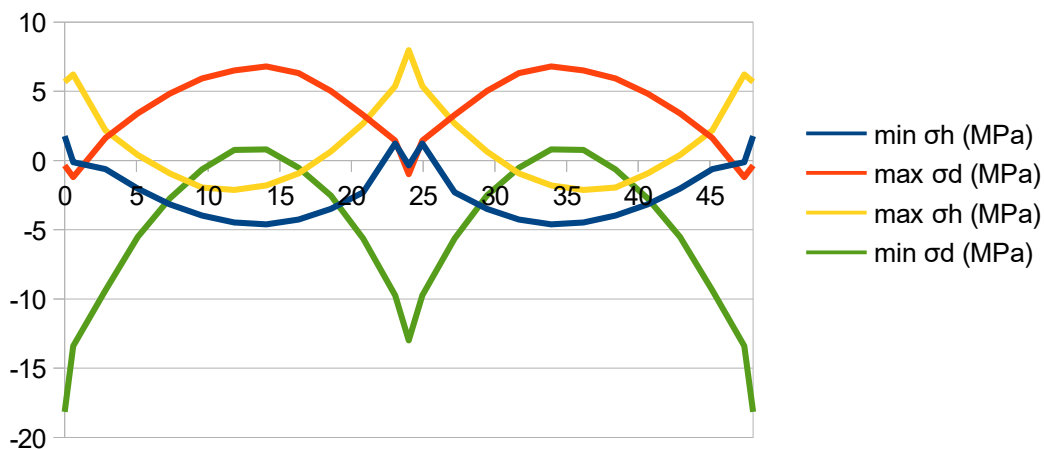


Kvazistálá kombinace - KŽ

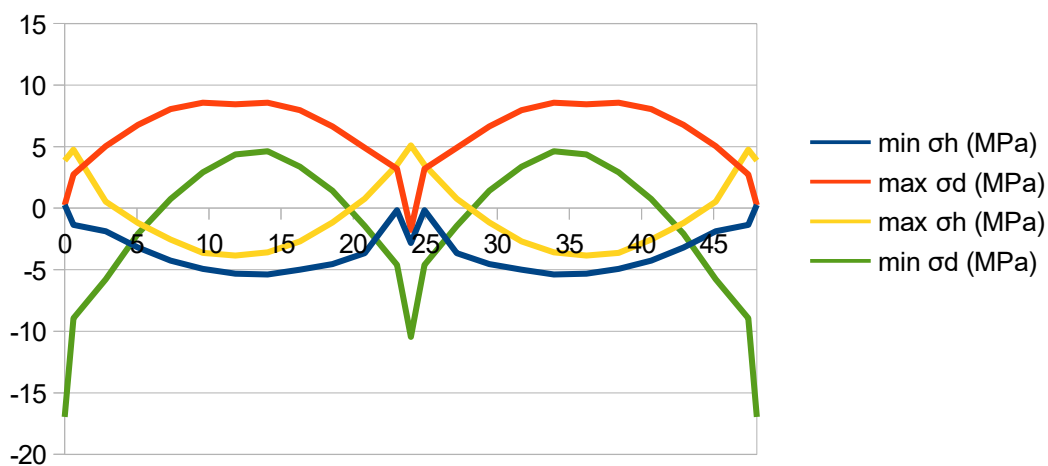


6.1.3.3 Izotropní model - prostřední nosník, levá stojina

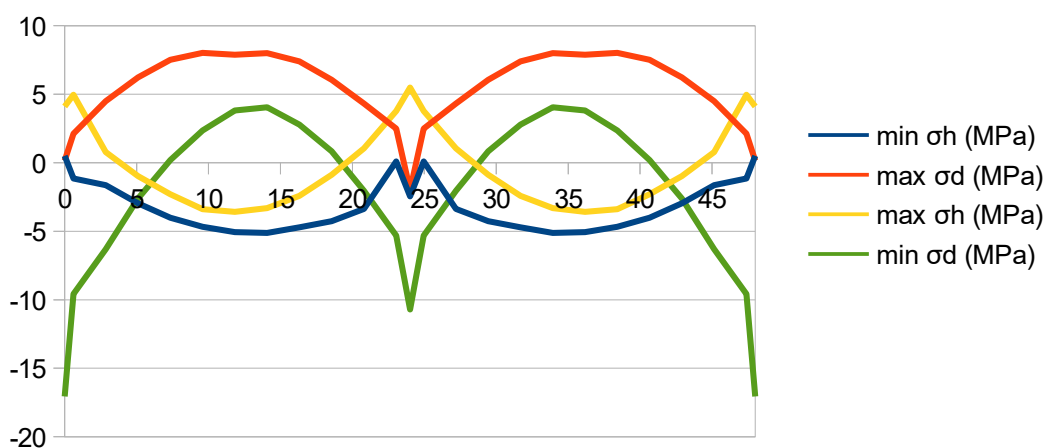
Kvazistálá kombinace - TR



Kvazistálá kombinace - UP

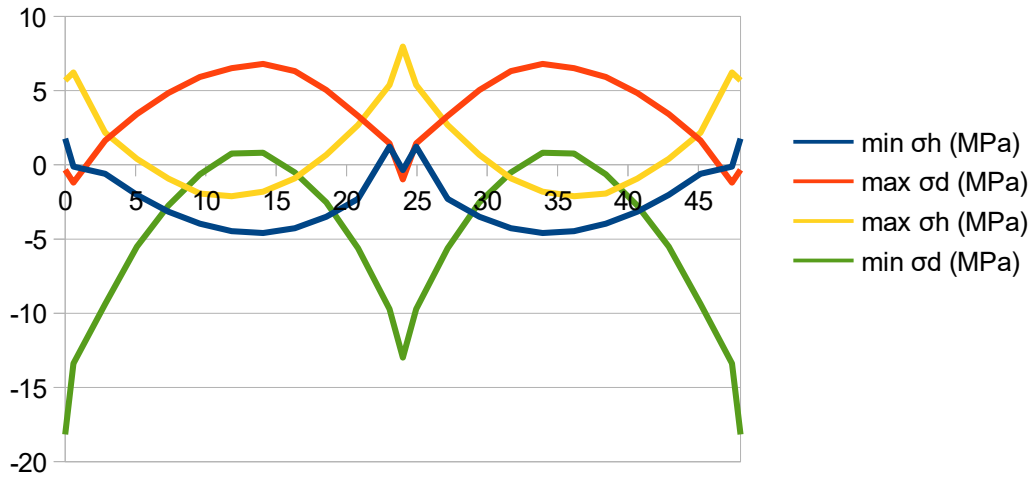


Kvazistálá kombinace - KŽ

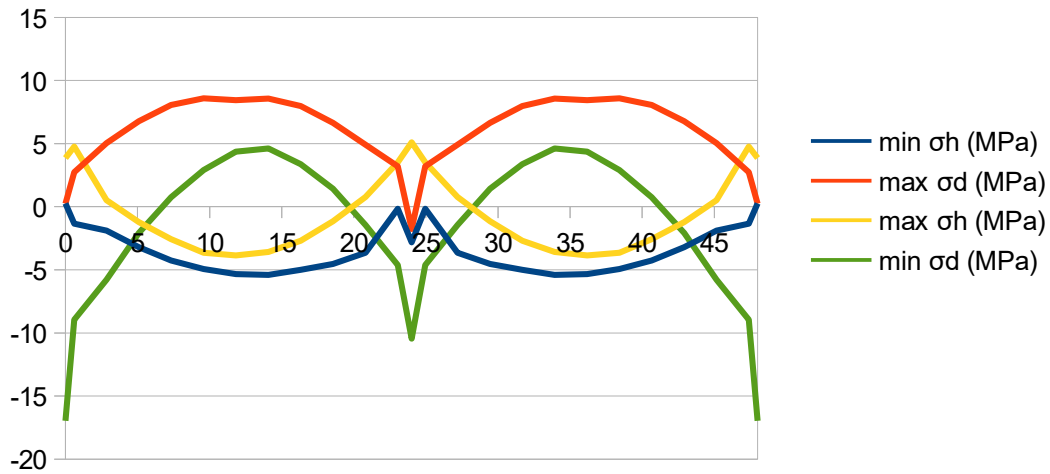


6.1.3.4 Izotropní model - prostřední nosník, pravá stojina

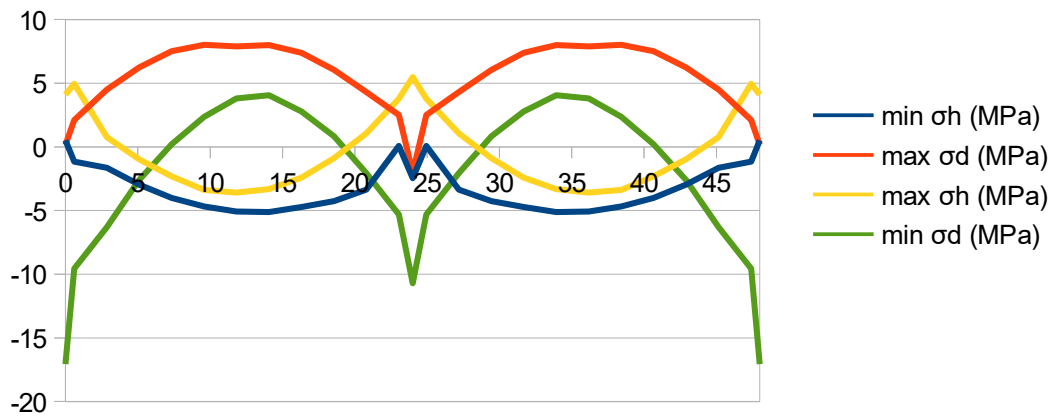
Kvazistálá kombinace - TR



Kvazistálá kombinace - UP

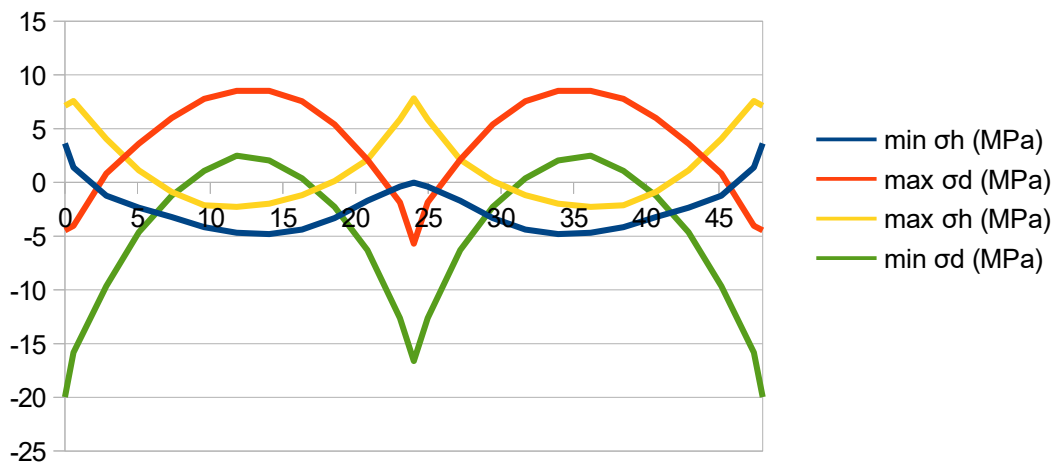


Kvazistálá kombinace - KŽ

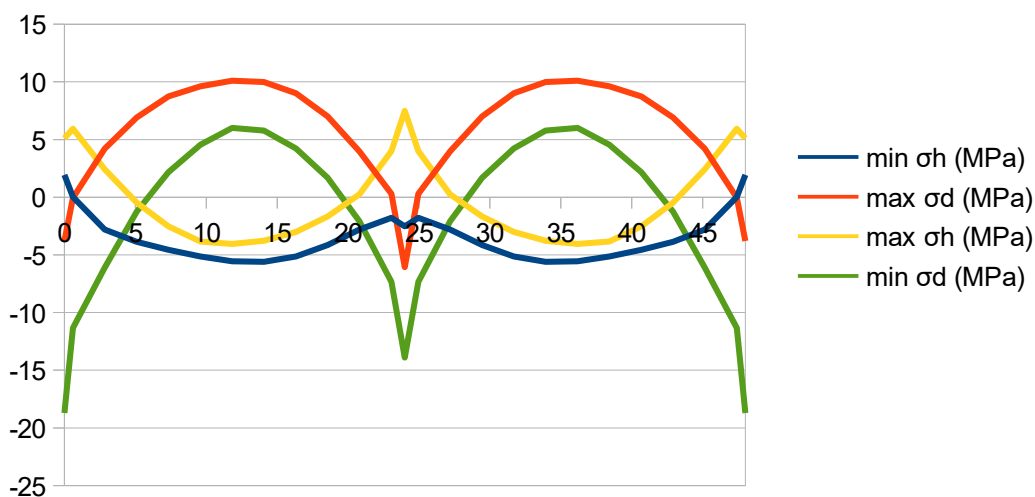


6.1.3.5 Izotropní model - krajní nosník, levá stojina

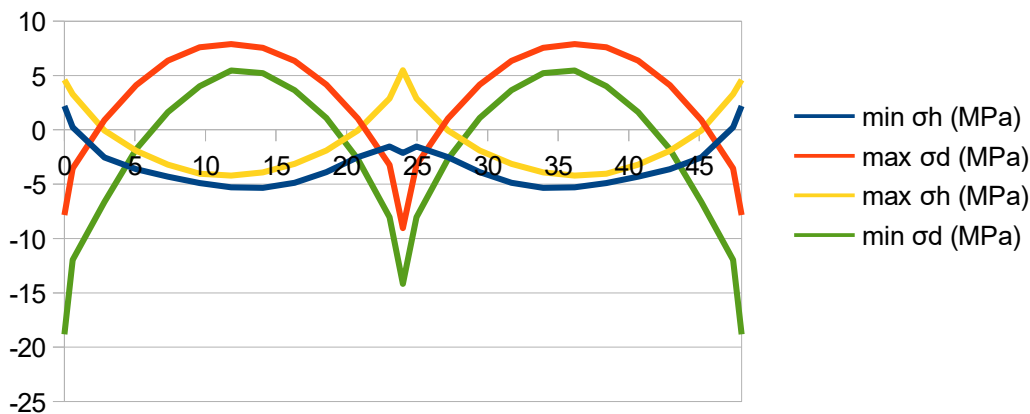
Kvazistálá kombinace - TR



Kvazistálá kombinace - UP

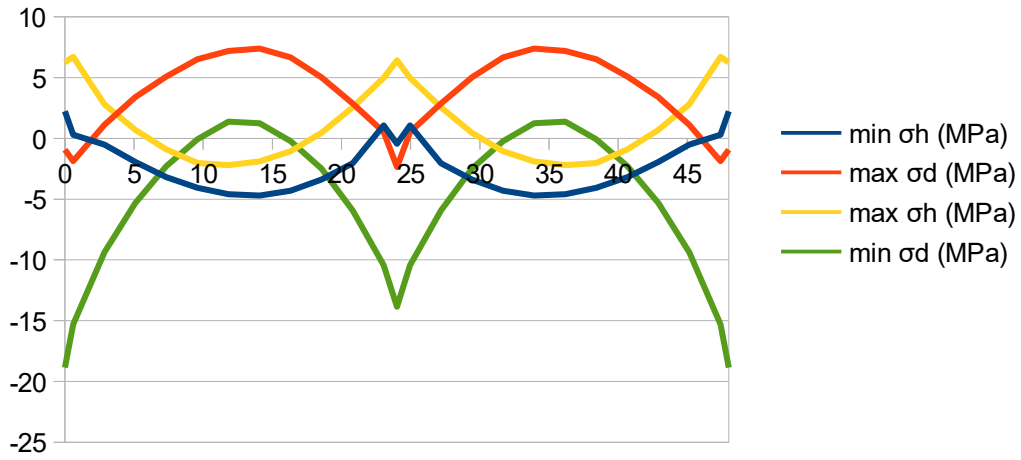


Kvazistálá kombinace - KŽ

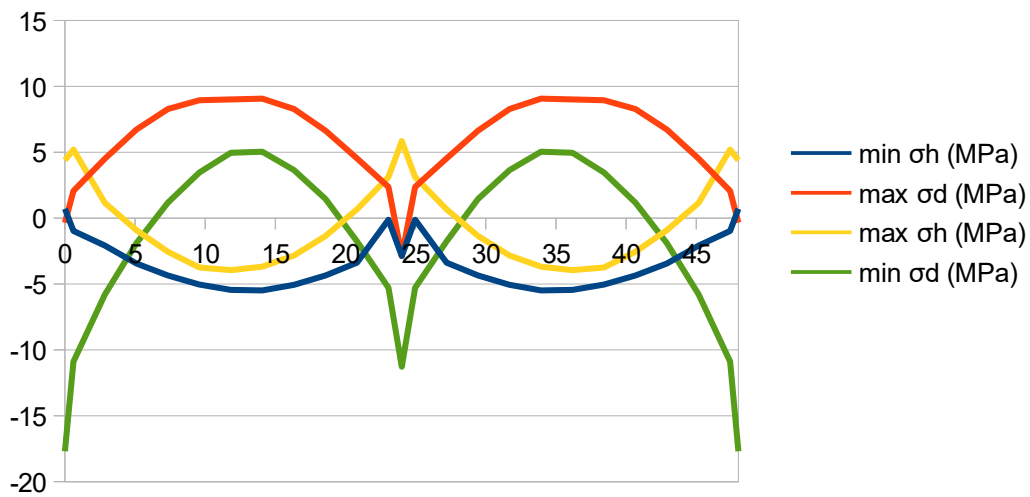


6.1.3.6 Izotropní model - krajní nosník, pravá stojina

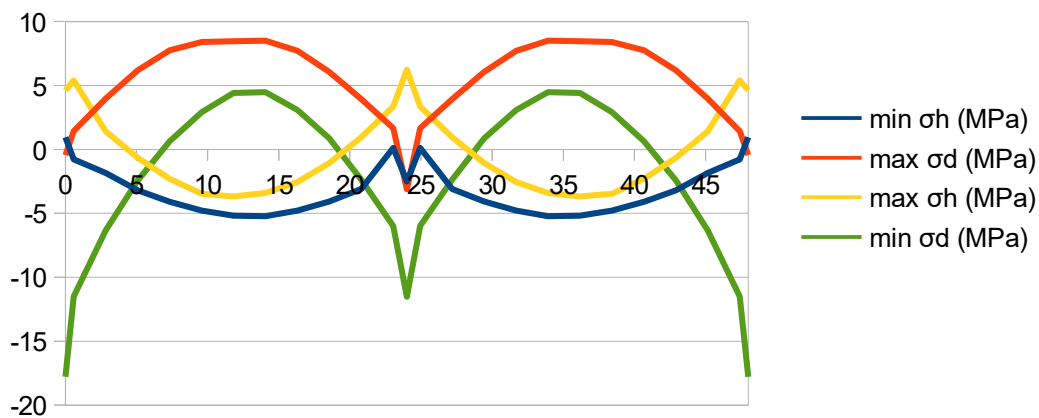
Kvazistálá kombinace - TR



Kvazistálá kombinace - UP



Kvazistálá kombinace - KŽ



6.2 Kombinace pro MSÚ

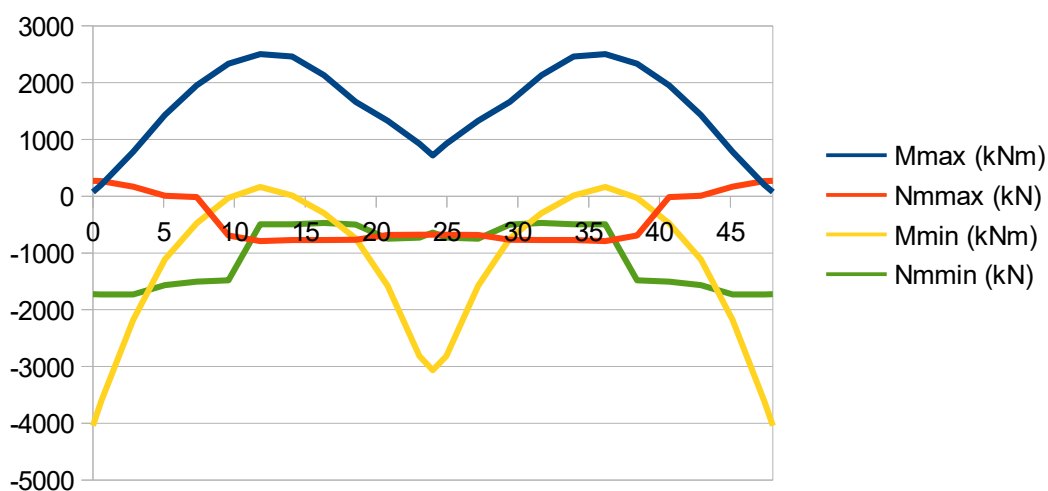
Pro posouzení mezního stavu únosnosti je potřeba znát ohybové momenty. Kombinace je tedy provedena z maximálního a minimálního ohybového momentu a jim odpovídajících normálových sil. Výsledky jsou uvedeny pouze pro ortotropní model, protože z izotropního modelu jsou známa pouze napětí. Byly vybrány rozhodující hodnoty z rovnic 6.10a a 6.10b podle ČSN EN 1990:

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

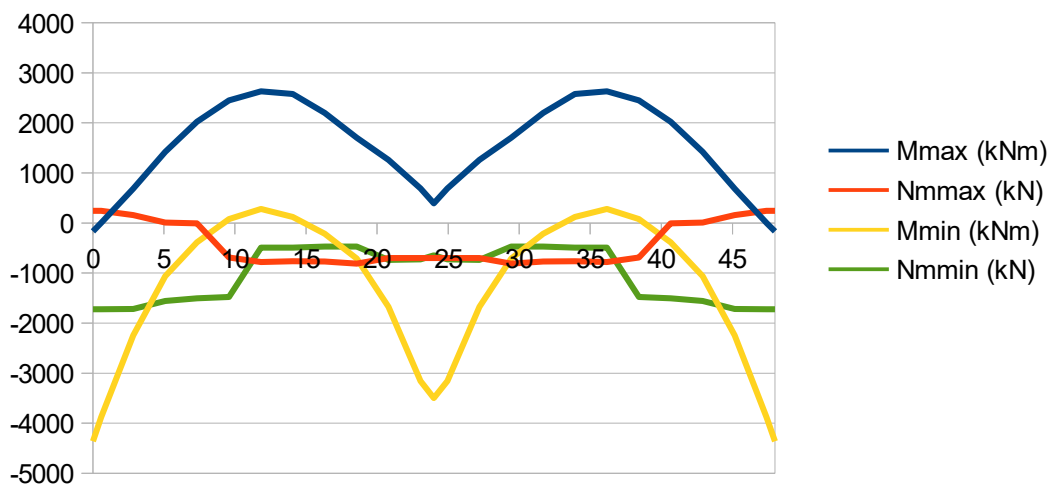
$$6.10b \quad \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

6.2.1 Ortotropní model - prostřední nosník

Prostřední nosník



Krajní nosník



7. Předpětí

7.1 Konstrukční zásady

Krytí předpínací výztuže

$$c_{\text{nom}} = c_{\text{min}} + \Delta c_{\text{dev}}$$

$$\Delta c_{\text{dev}} = 5 \text{ mm}$$

$$c_{\text{min}} = \max\{c_{\text{min,b}}; c_{\text{min,dur}}; 10 \text{ mm}\}$$

$$c_{\text{min,b}} = 1,5 * \varnothing = 1,5 * 15,7 = 24 \text{ mm}$$

třída konstrukce S4+2(100let)-1(kontrola kvality)-1(pevnost betonu) = S4

V tomto případě pro stupeň vlivu prostředí XF2 + XD1 + XC4 a pro třídu konstrukce S4 je $c_{\text{min,dur}} = 45 \text{ mm}$.

$$c_{\text{min}} = \max\{c_{\text{min,b}}; c_{\text{min,dur}}; 10 \text{ mm}\} = \max\{24 \text{ mm}; 45 \text{ mm}; 10 \text{ mm}\} = 45 \text{ mm}$$

$$c_{\text{nom}} = c_{\text{min}} + \Delta c_{\text{dev}} = 45 + 5 = 50 \text{ mm}$$

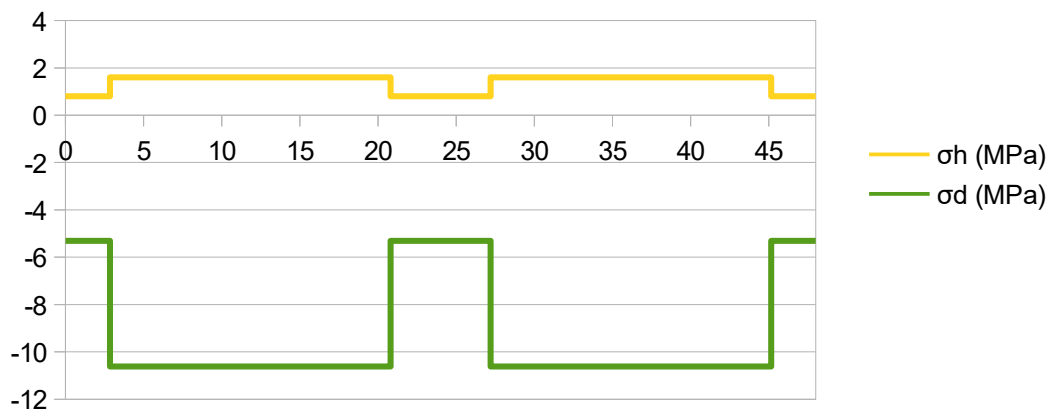
7.2 Předpětí předem se soudržností

Byly navrženy 4 lana $\varnothing 15,7 \text{ mm}$ v každé stojně s excentricitou 714 mm.

Polovina lan je mezi staničeními mostu 0,000 m a 2,845 m, 20,805 m a 27,195 m, 45,155 m a 48,000 m odseparována. Kotevní napětí je 1473 MPa. Ztráty předpětí jsou odhadnuty: v čase vnesení předpětí (TR) je uvažována hodnota 5%, v době uvedení do provozu (UP) 15% a na konci životnosti (KŽ) dosahují ztráty předpětí 25%. Protože předpětí bude vneseno do konstrukce v čase $t = 3$ dny na prostém nosníku, v čase $t = 28$ dní dojde ke změně statického schématu je provedena redistribuce účinků předpětí, podle stejného vzorce jako redistribuce vlastní tíhy.

7.2.1 Účinky předpětí na prostém nosníku

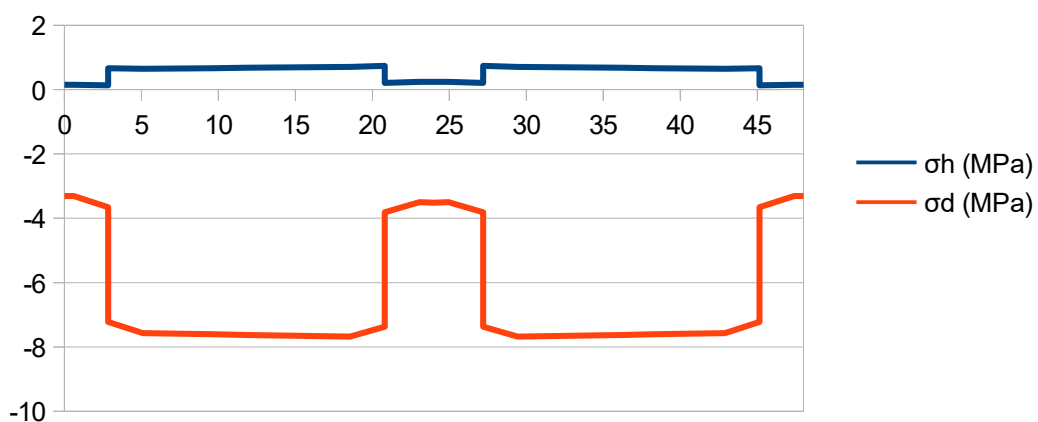
Předpětí předem na prostém nosníku - TR



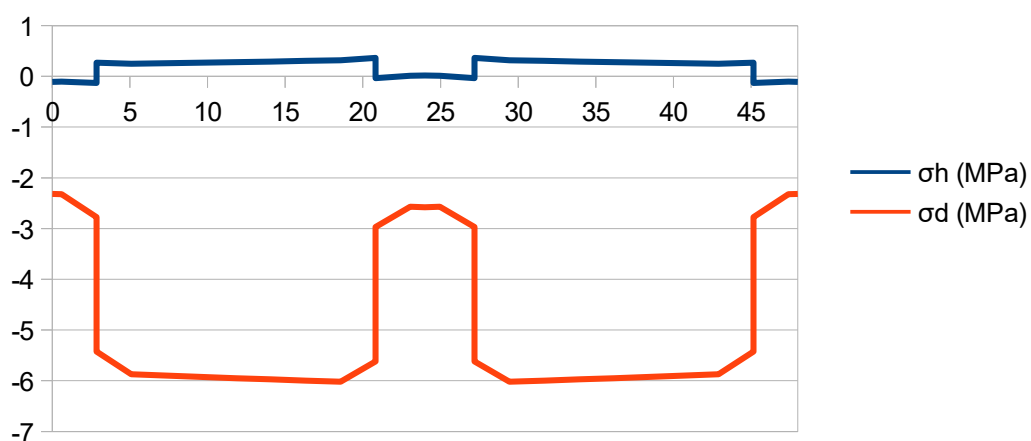
7.2.2 Účinky předpětí po redistribuci

7.2.2.1 Ortotropní model - prostřední nosník

Uvedení do provozu

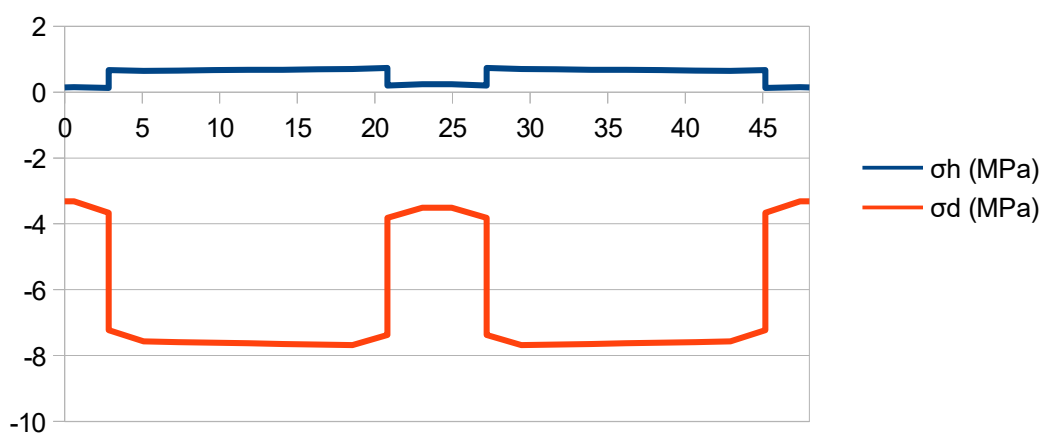


Konec životnosti

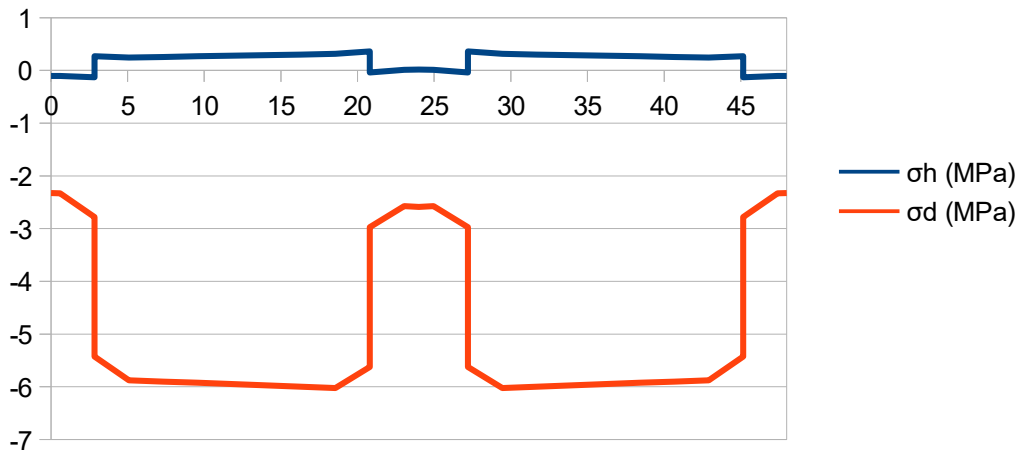


7.2.2.2 Ortotropní model - krajní nosník

Uvedení do provozu



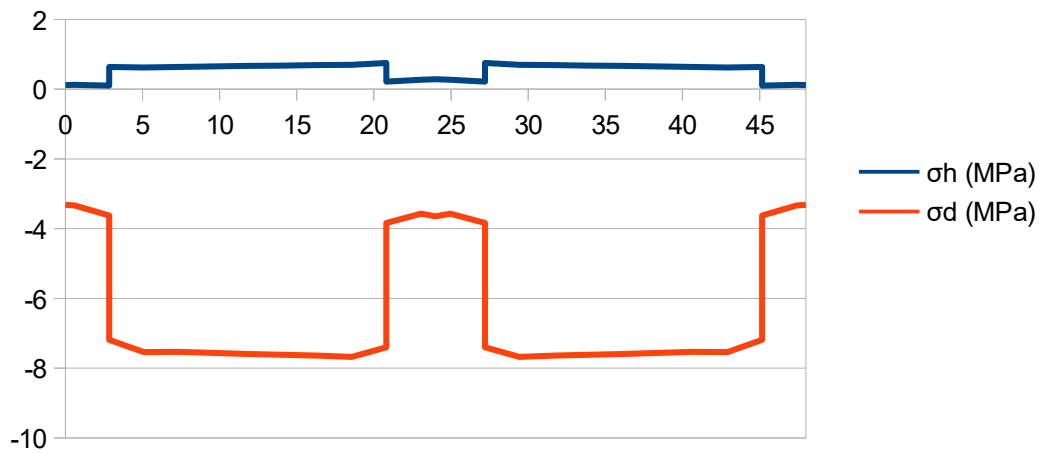
Konec životnosti



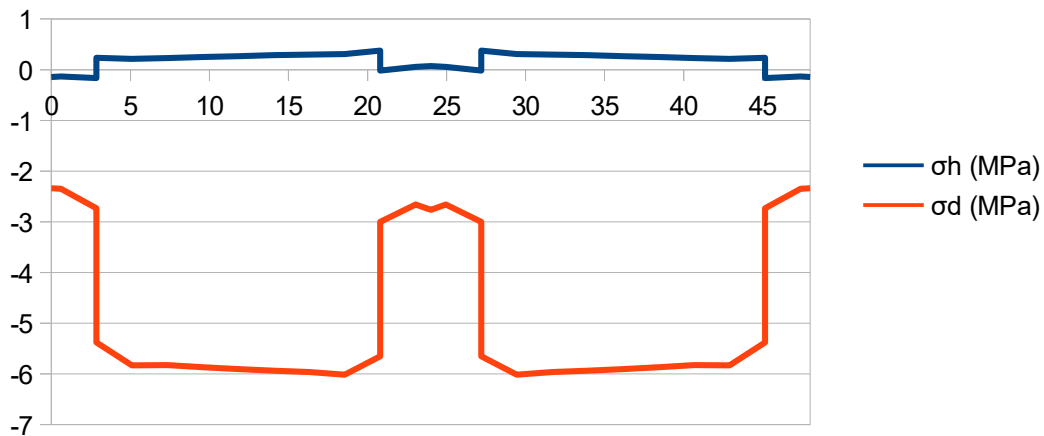
7.2.2.3 Izotropní model - prostřední nosník

Hodnoty pro pravou a levou stojinu jsou stejné

Uvedení do provozu

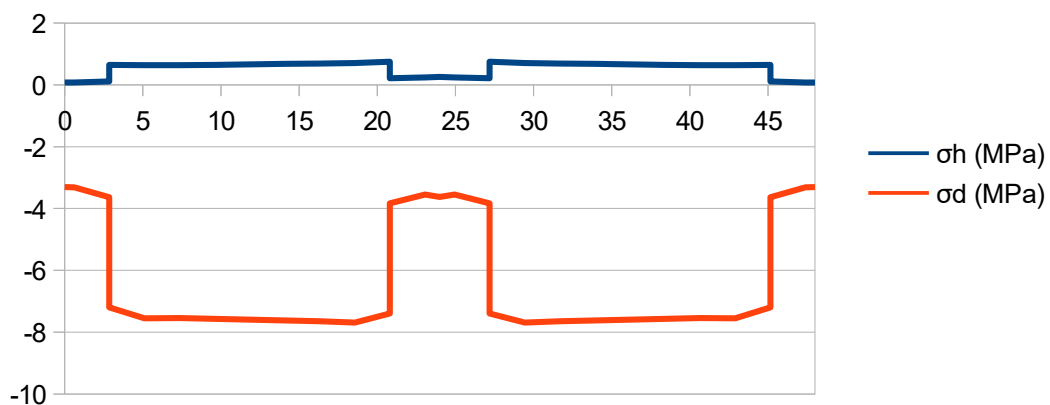


Konec životnosti

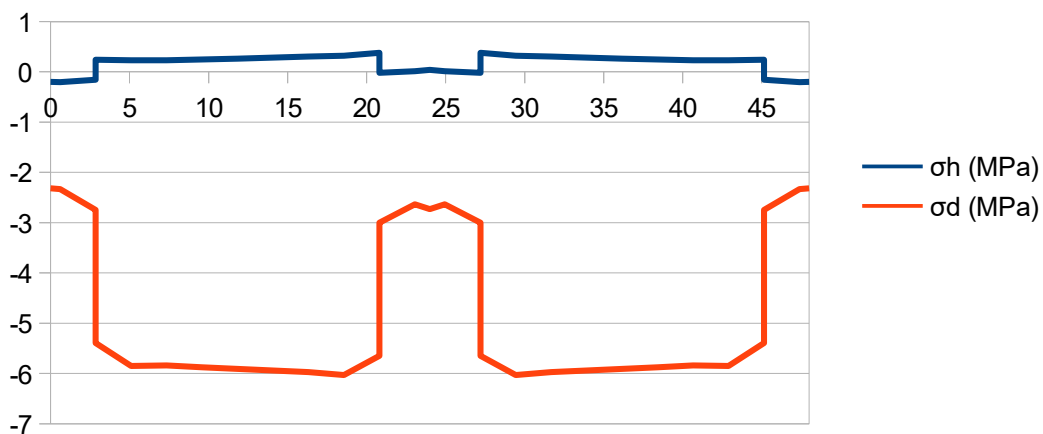


7.2.2.4 Izotropní model - krajní nosník, levá stojina

Uvedení do provozu

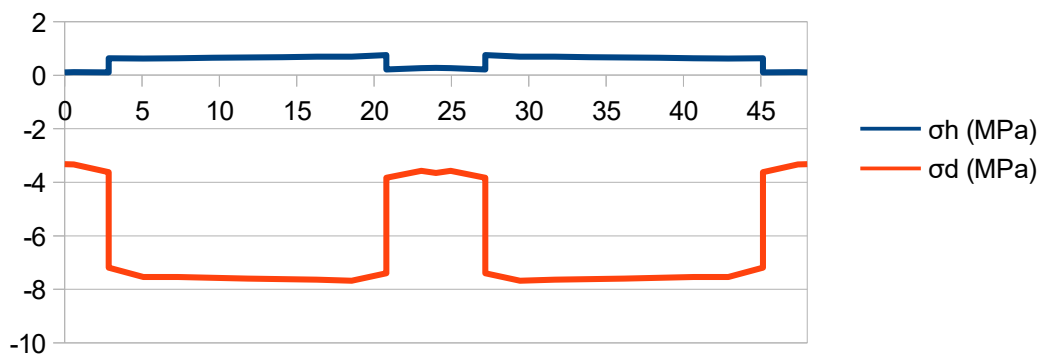


Konec životnosti

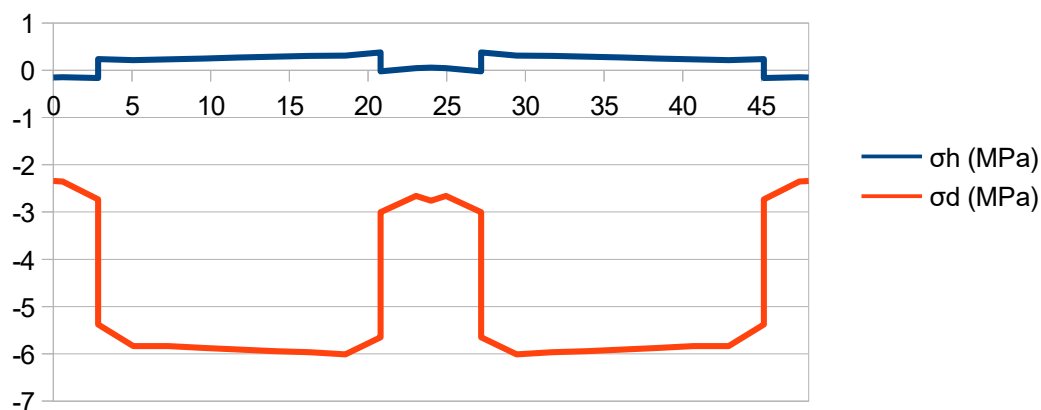


7.2.2.5 Izotropní model - krajní nosník, pravá stojina

Uvedení do provozu



Konec životnosti

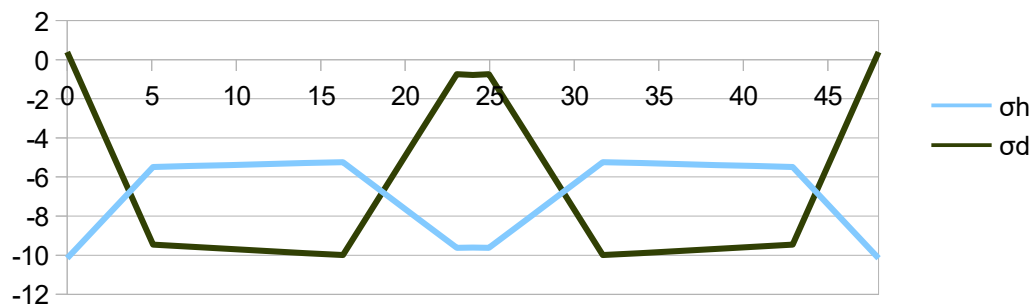


7.3 Předpětí volnými kabley

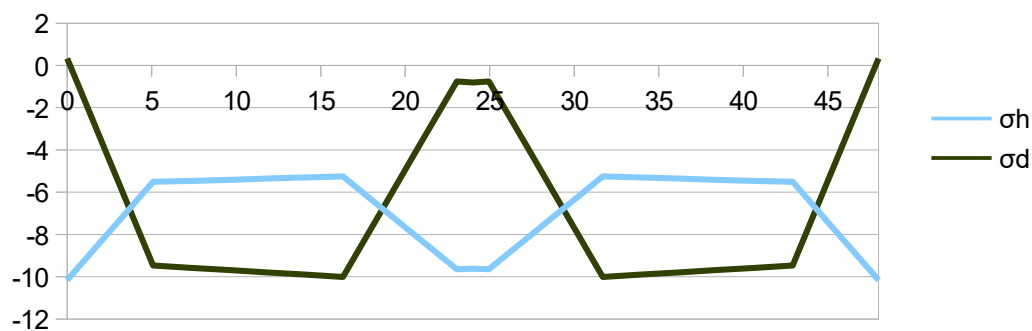
V každém nosníku byly navrženy 2 kabely po 12 lanech $\varnothing 15,7$ mm s proměnou excentricitou. Předpětí bude vneseno do konstrukce po jejím zmonolitnění. Kotevní napětí je 1473 MPa. Ztráty předpětí jsou odhadnuty: v době vnesení předpětí jsou 5%, v době uvedení do provozu 12% a na konci životnosti 22%. Dále jsou uvedeny hodnoty předpětí v době vnesení napětí, hodnoty pro ostatní časy se získají přenásobením hodnoty vyjadřující ztrátu předpětí.

7.3.1 Předpětí na ortotropním modelu

Prostřední nosník

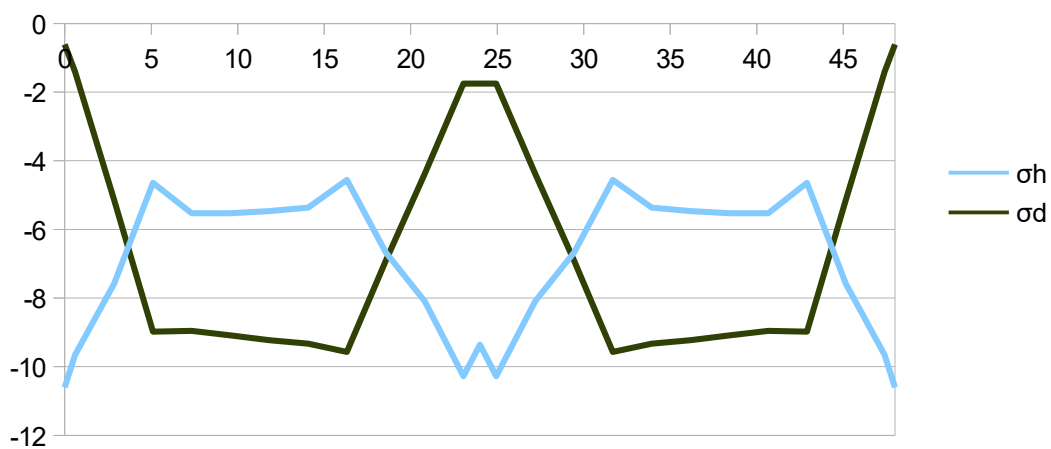


Krajní nosník

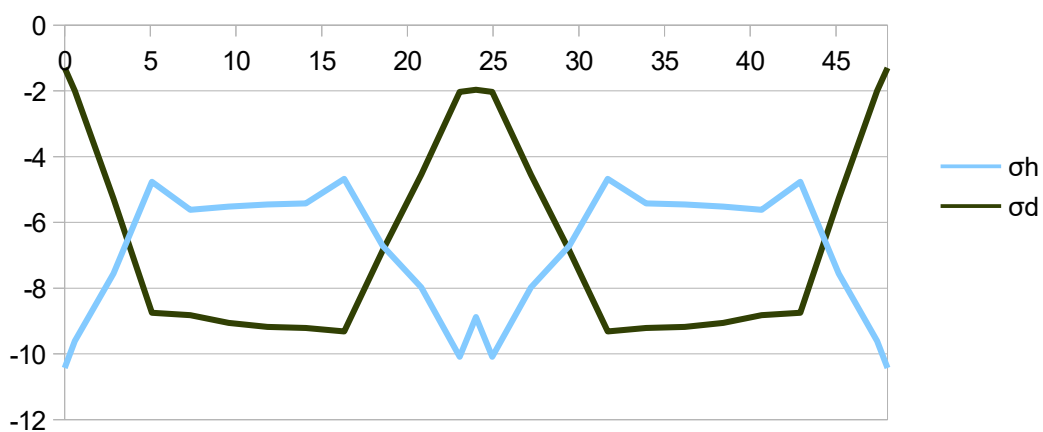


7.3.2 Předpětí na izotropním modelu

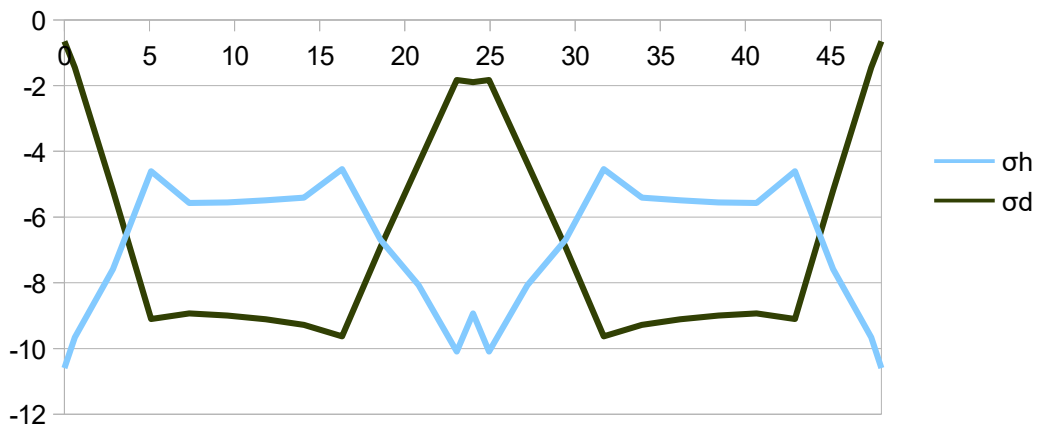
Prostřední nosník



Krajní nosník - levá stojina



Krajní nosník - pravá stojina



8. Posouzení mezního stavu použitelnosti

V mezním stavu omezení napětí je nutné omezit napětí v betonu v tlaku při charakteristické kombinaci na $0,6 \cdot f_{ck}$

Pro posouzení je uvažována hodnota :

$$0,6 \cdot f_{ck} = 0,6 \cdot 161 = 96,6 \text{ MPa}$$

Aby bylo možné uvažovat lineární dotvarování, je hodnota napětí v tlaku omezena při kvazistálé kombinaci na $0,45 \cdot f_{ck}$

Pro posouzení je uvažována hodnota :

$$0,45 \cdot f_{ck} = 0,45 \cdot 161 = 62,4 \text{ MPa}$$

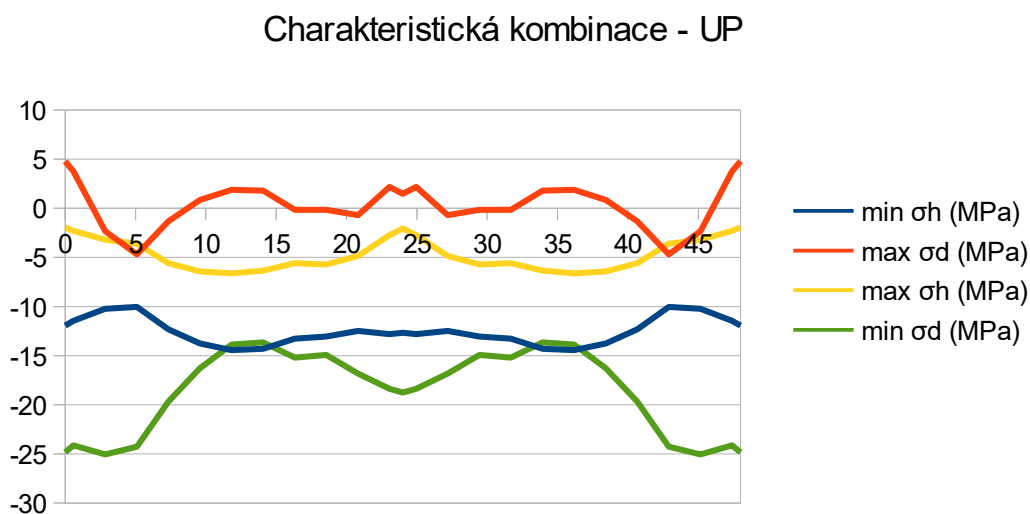
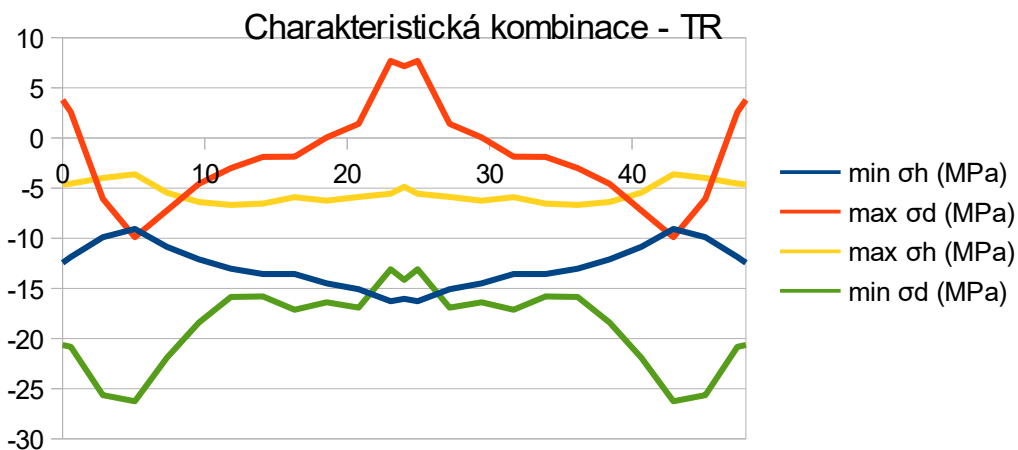
Z hlediska mezního stavu omezení trhlin je požadována dekomprese při kvazistálé kombinaci zatížení a při časté kombinaci zatížení má být hodnota napětí v betonu v tahu omezena hodnotou:

$$\frac{2}{3} \cdot \min(f_{ctm,el}; \frac{f_{ctfm}}{K}) = \frac{2}{3} \cdot \min(15,7; \frac{9,2}{1,25}) = \frac{2}{3} \cdot \min(15,7; 7,36) = 4,91 \text{ MPa}$$

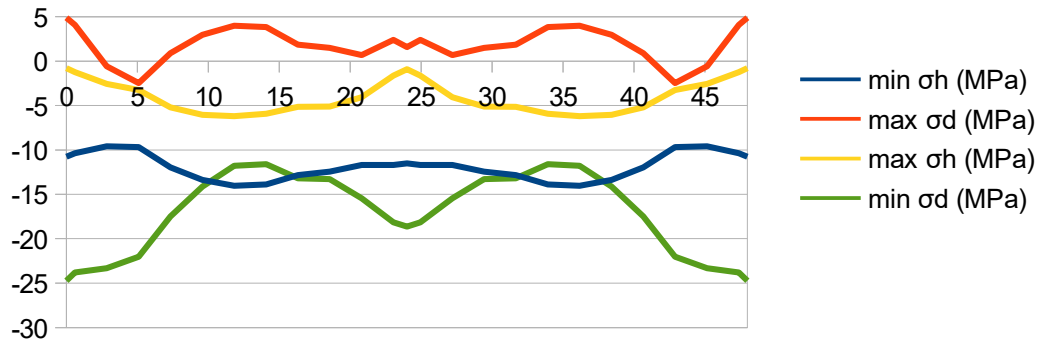
8.1 Charakteristická kombinace včetně předpětí

8.1.1 Ortotropní model - prostřední nosník

$$\sigma_{lim} = -96,6 \text{ MPa}$$



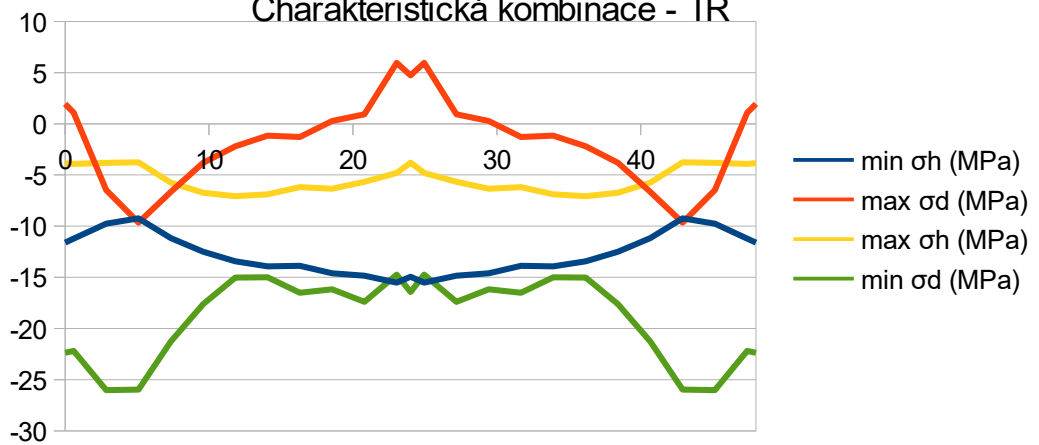
Charakteristická kombinace - KŽ



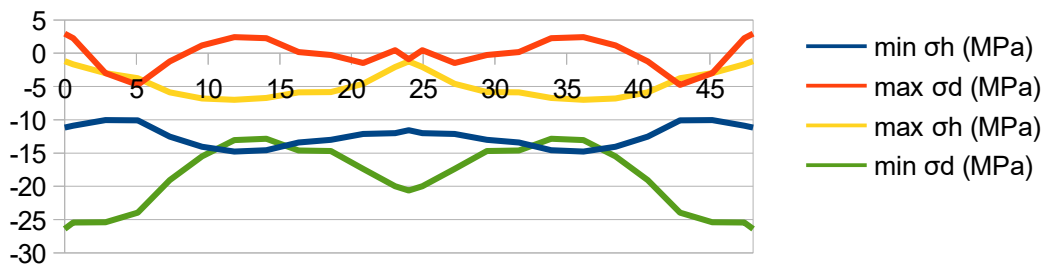
8.1.2 Ortotropní model - krajní nosník

$$\sigma_{lim} = -96,6 \text{ MPa}$$

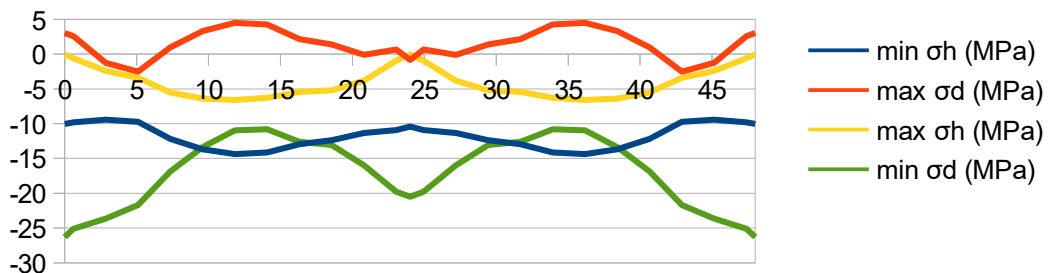
Charakteristická kombinace - TR



Charakteristická kombinace - UP

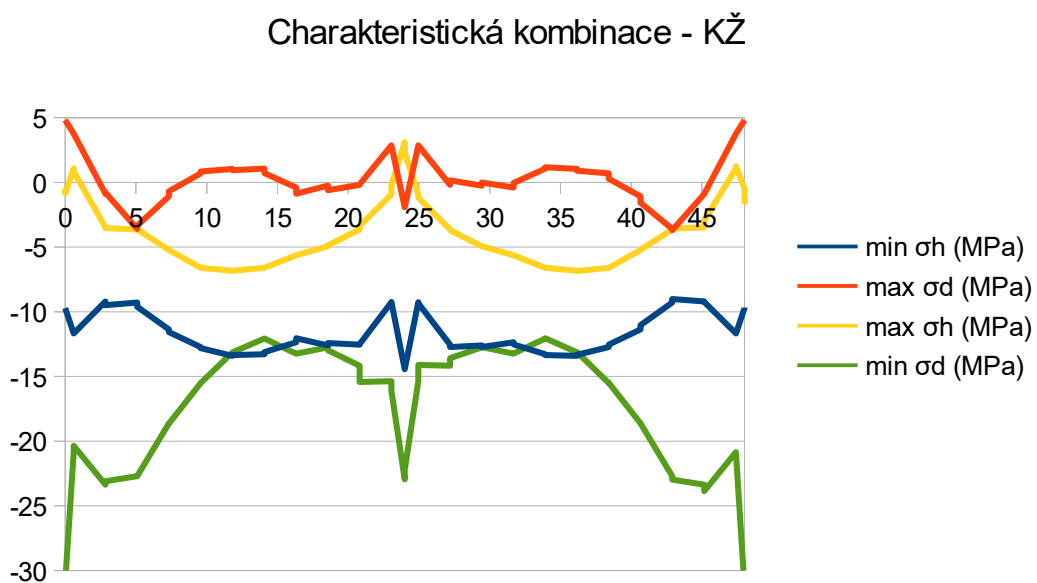
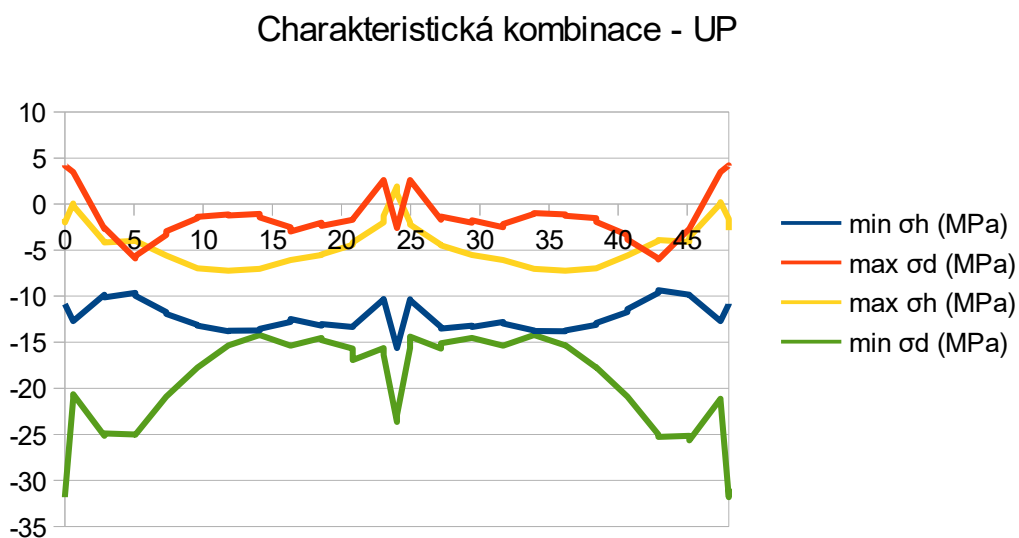
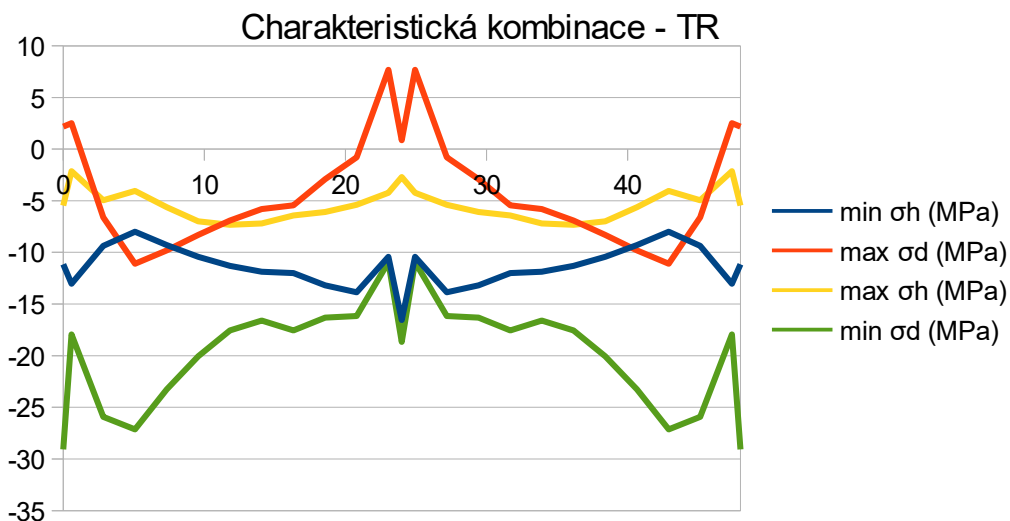


Charakteristická kombinace - KŽ



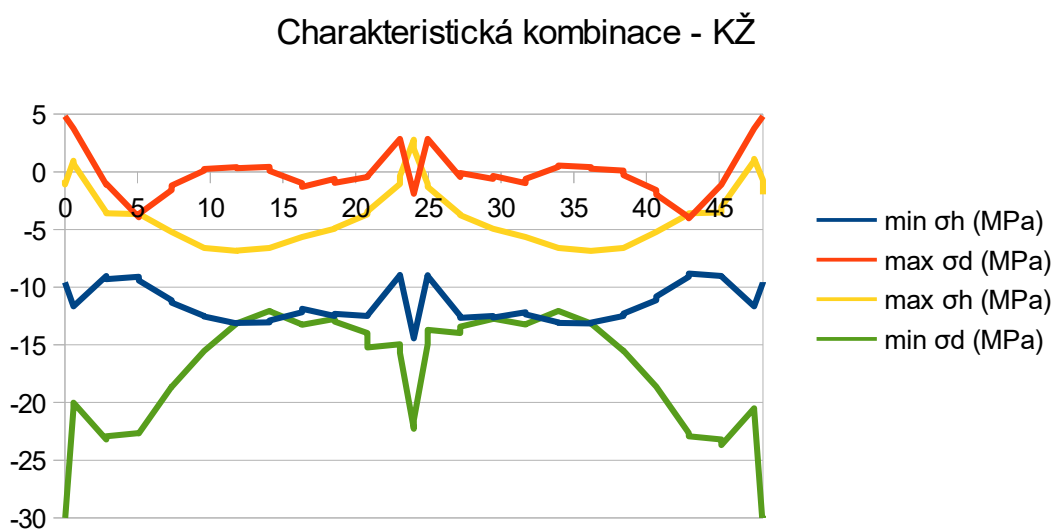
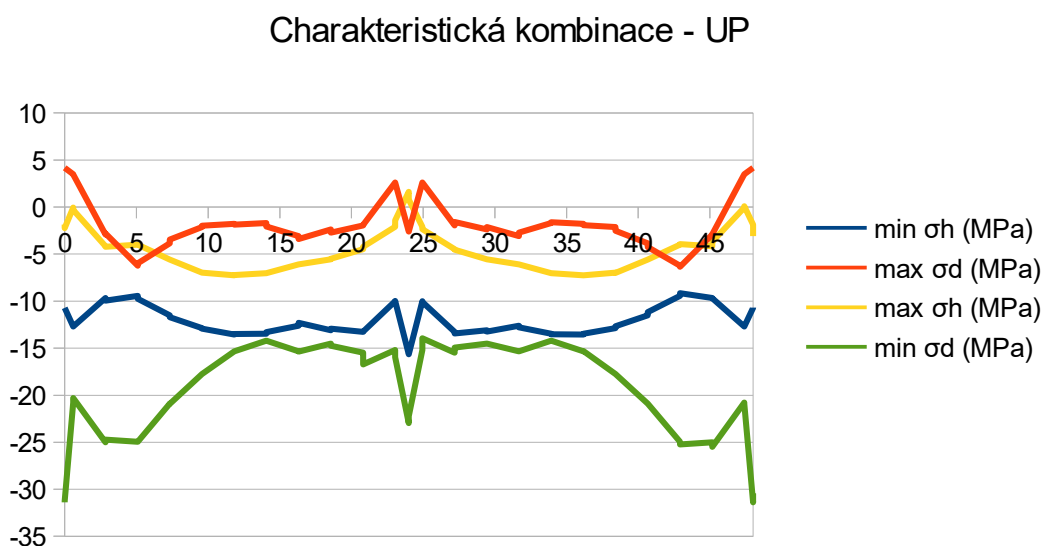
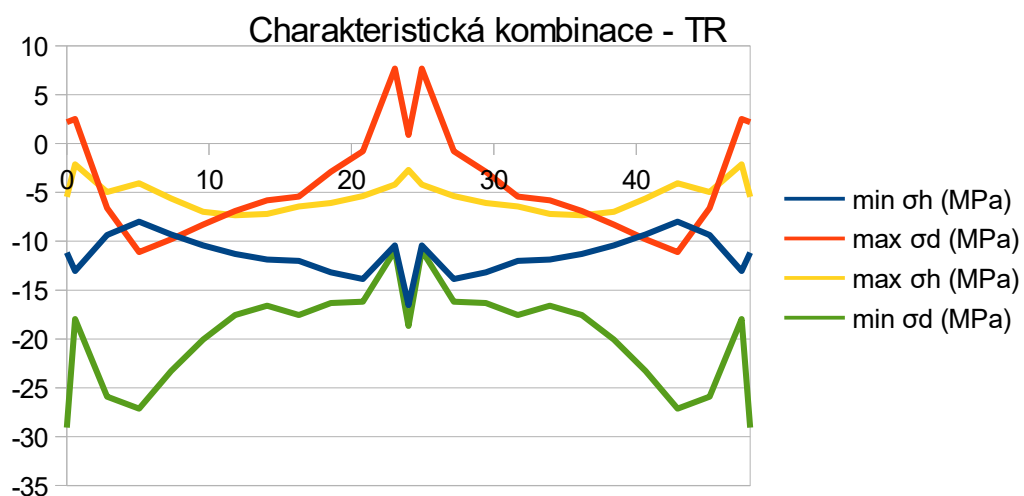
8.1.3. Izotropní model - prostřední nosník, levá stojina

$$\sigma_{lim} = -96,6 \text{ MPa}$$



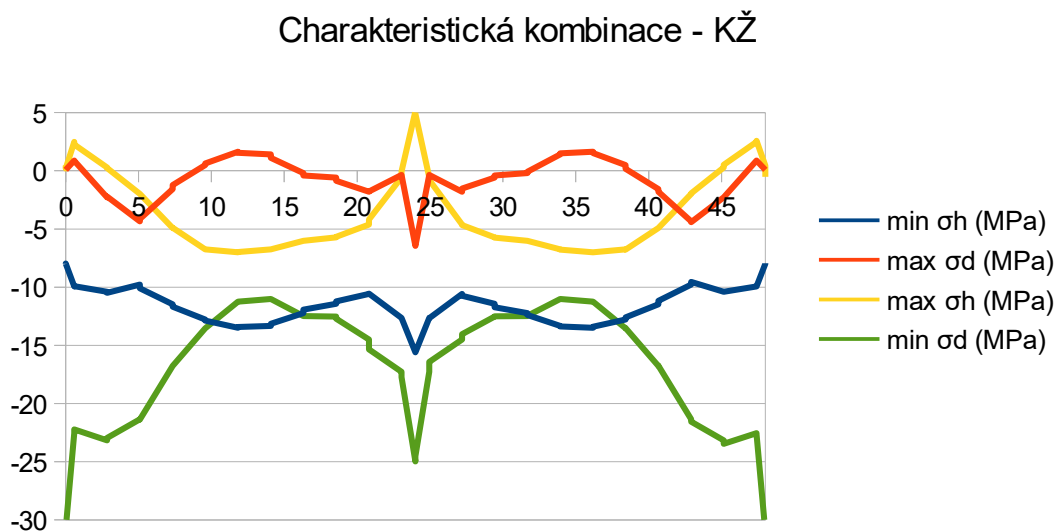
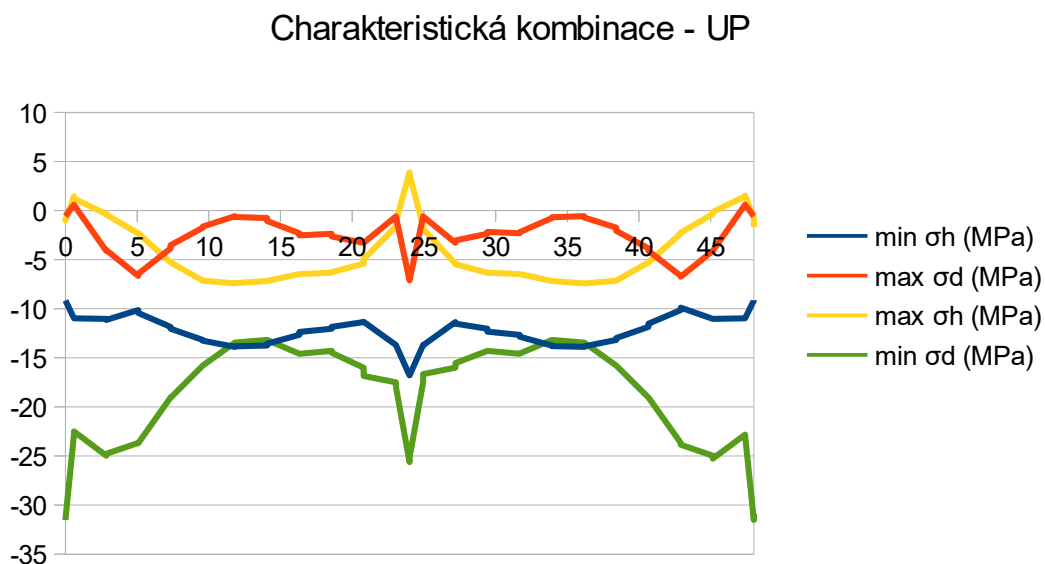
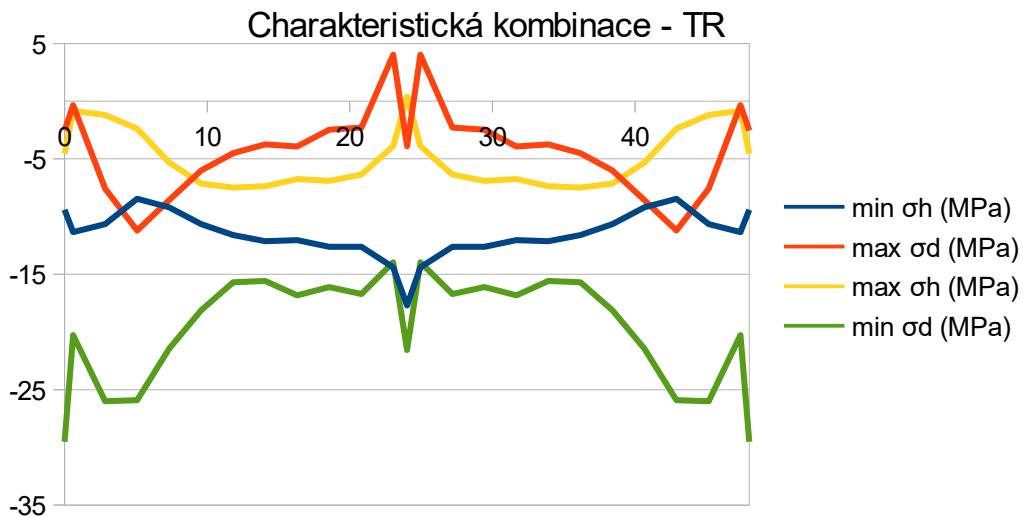
8.1.4 Izotropní model - prostřední nosník, pravá stojina

$$\sigma_{lim} = -96,6 \text{ MPa}$$



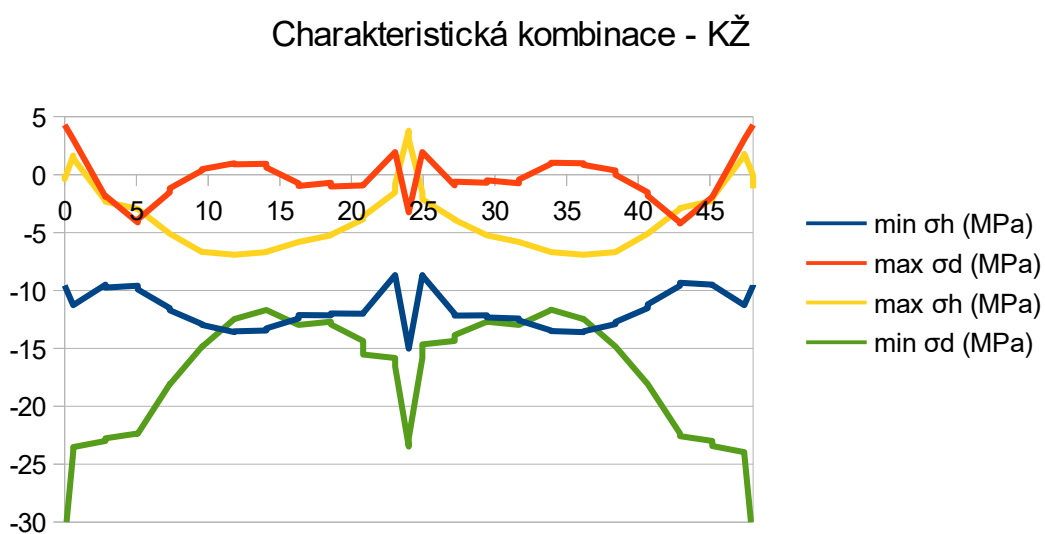
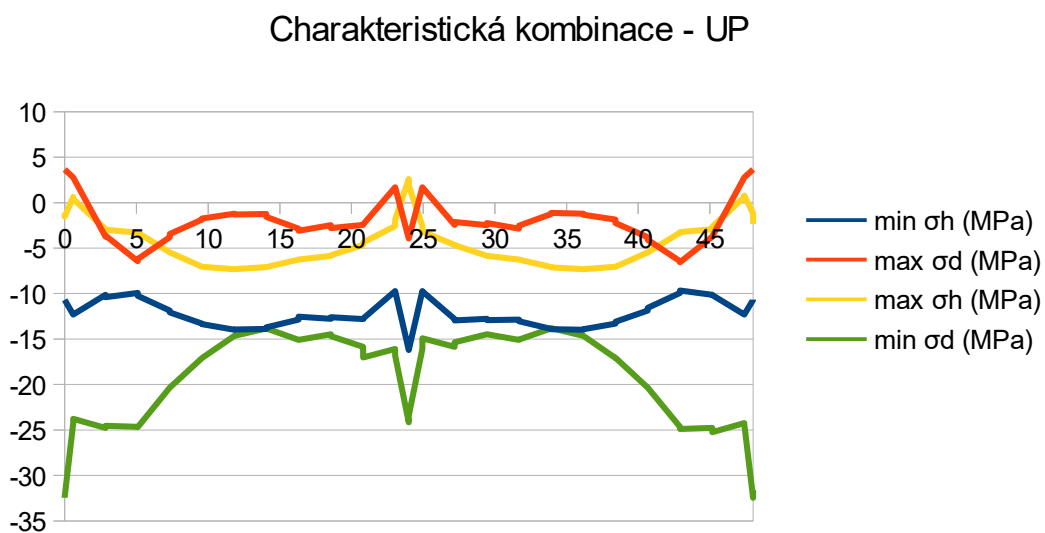
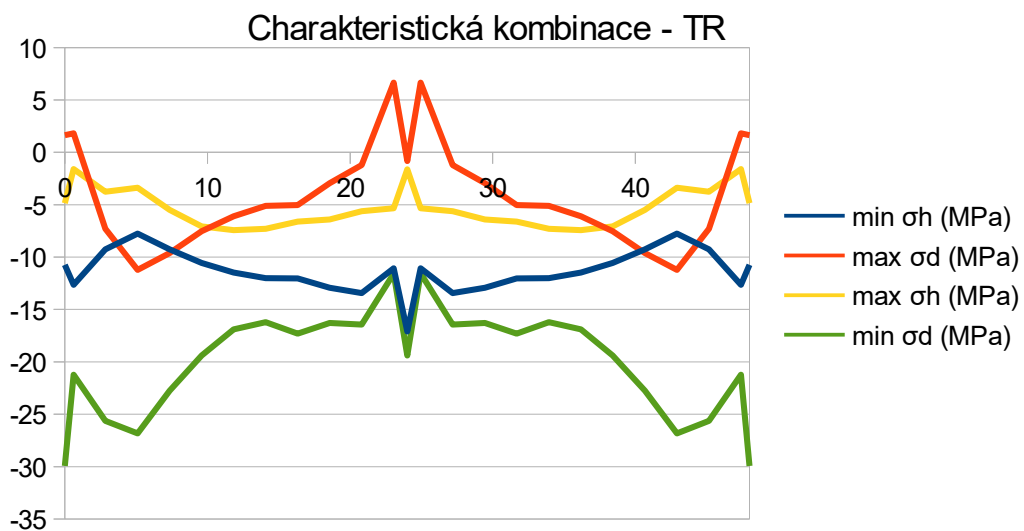
8.1.5 Izotropní model - krajní nosník, levá stojina

$$\sigma_{lim} = -96,6 \text{ MPa}$$



8.1.6 Izotropní model - krajní nosník, pravá stojina

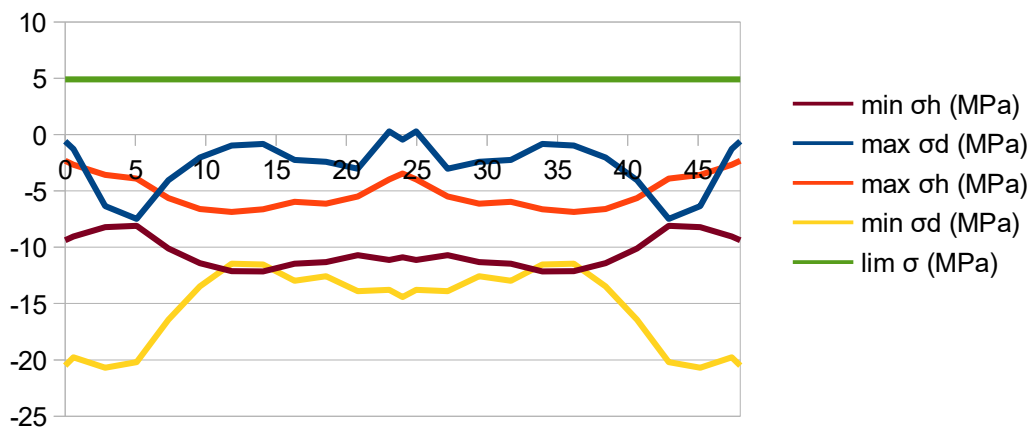
$\sigma_{lim} = -96,6 \text{ MPa}$



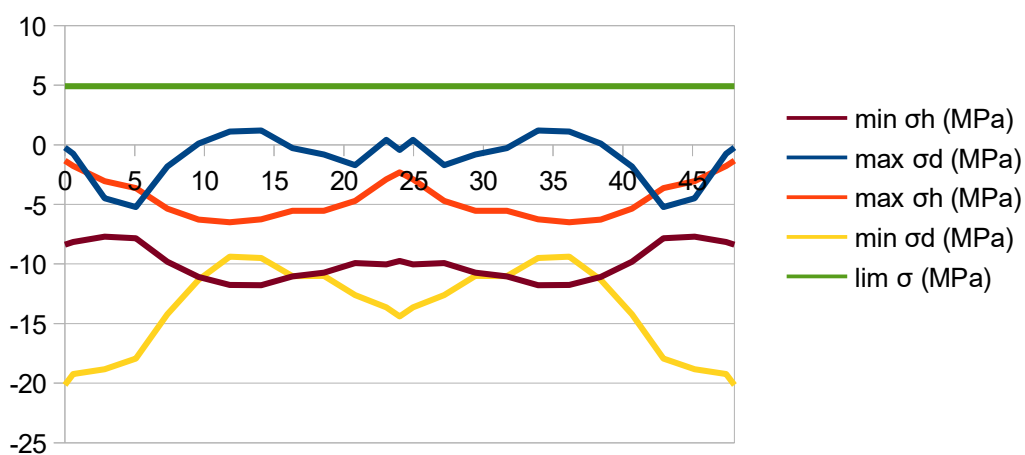
8.2 Častá kombinace včetně předpětí

8.2.1 Ortotropní model - prostřední nosník

Častá kombinace - UP

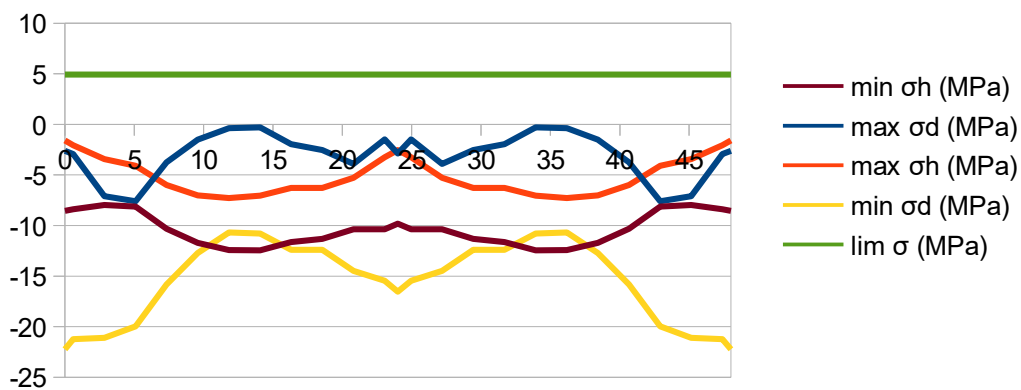


Častá kombinace - KŽ

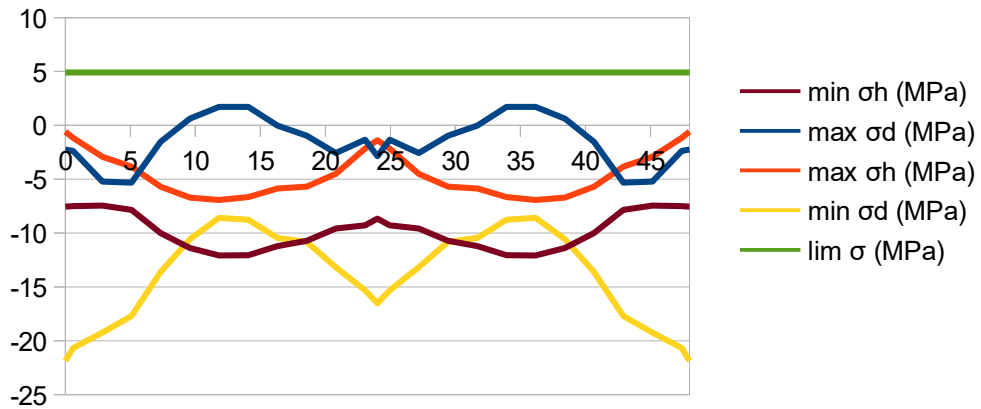


8.2.2 Ortotropní model - krajní nosník

Častá kombinace - UP

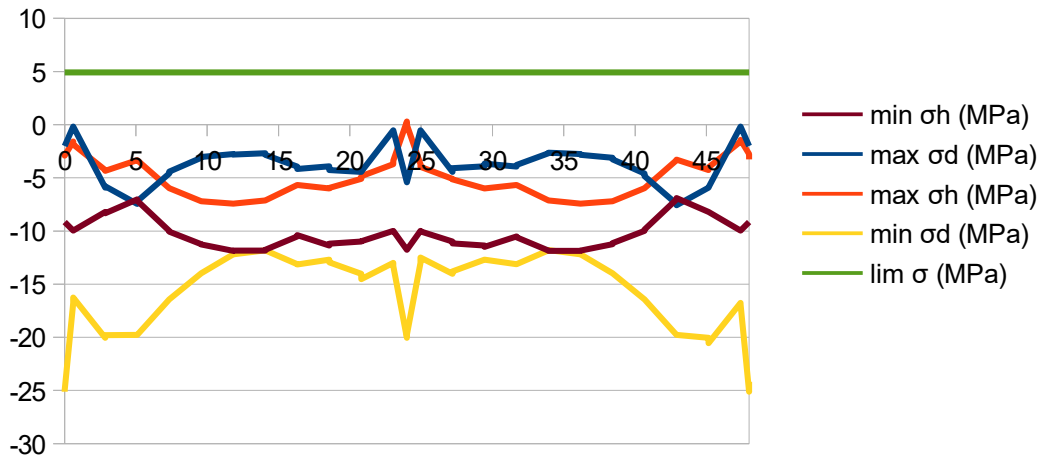


Častá kombinace - KŽ

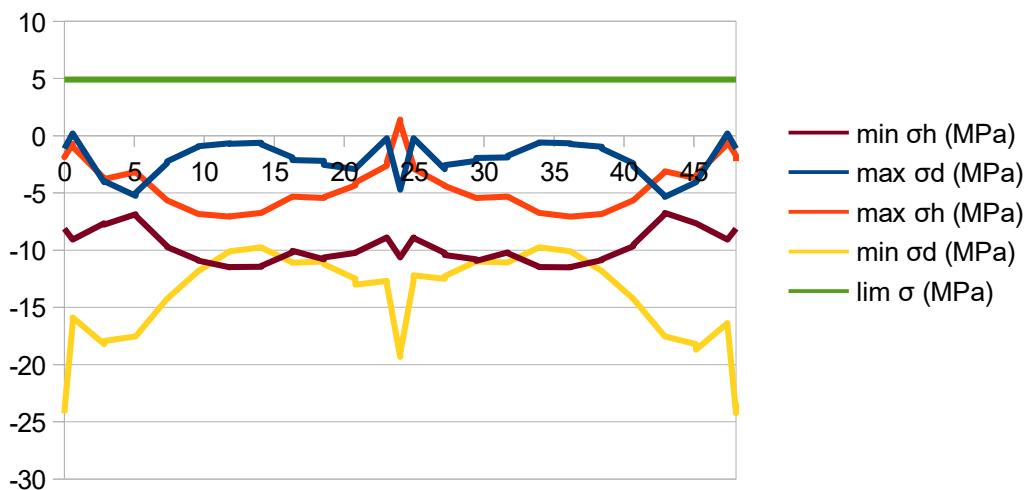


8.2.3 Izotropní model - prostřední nosník, levá stojina

Častá kombinace - UP

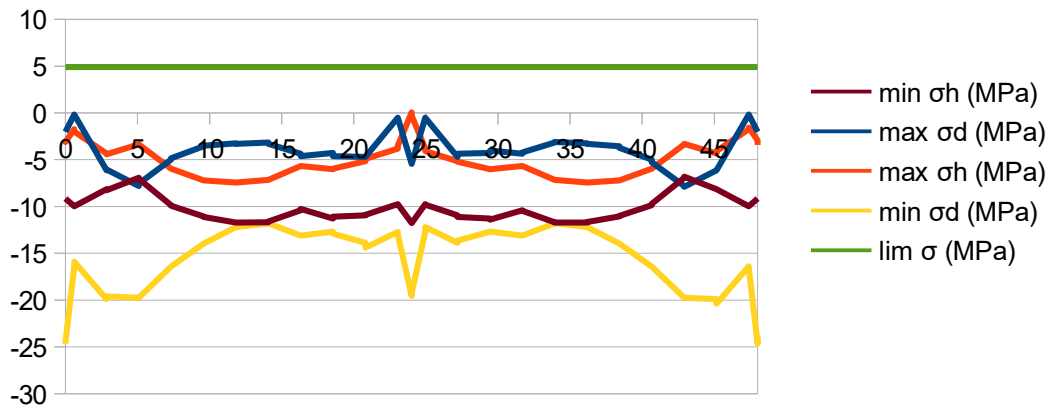


Častá kombinace - KŽ

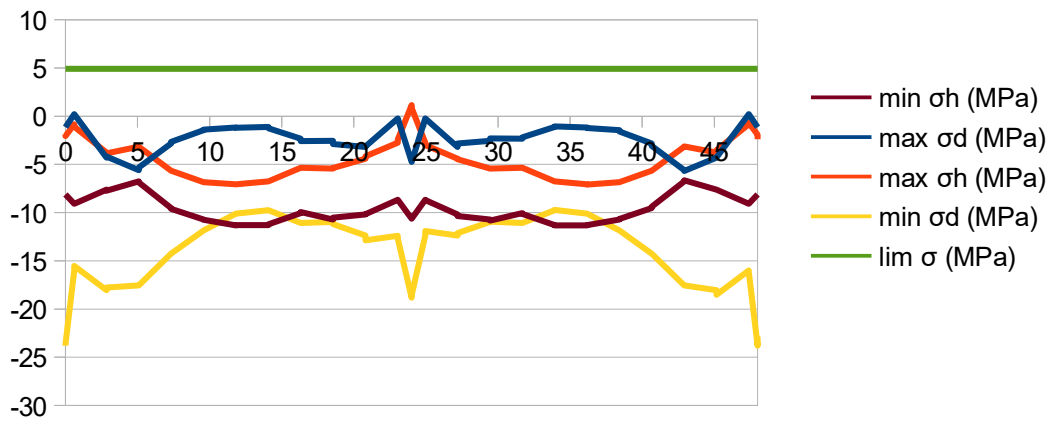


8.2.4 Izotropní model - prostřední nosník, pravá stojina

Častá kombinace - UP

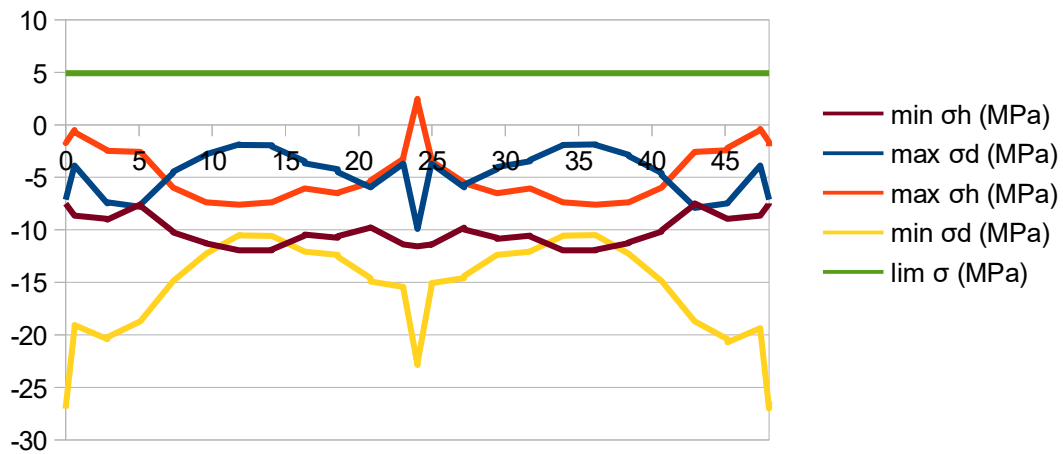


Častá kombinace - KŽ

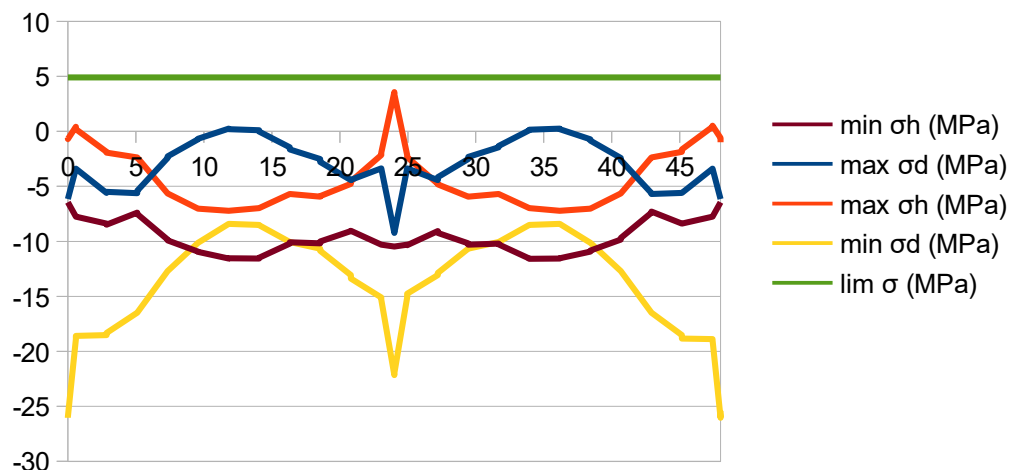


8.2.5 Izotropní model - krajní nosník, levá stojina

Častá kombinace - UP

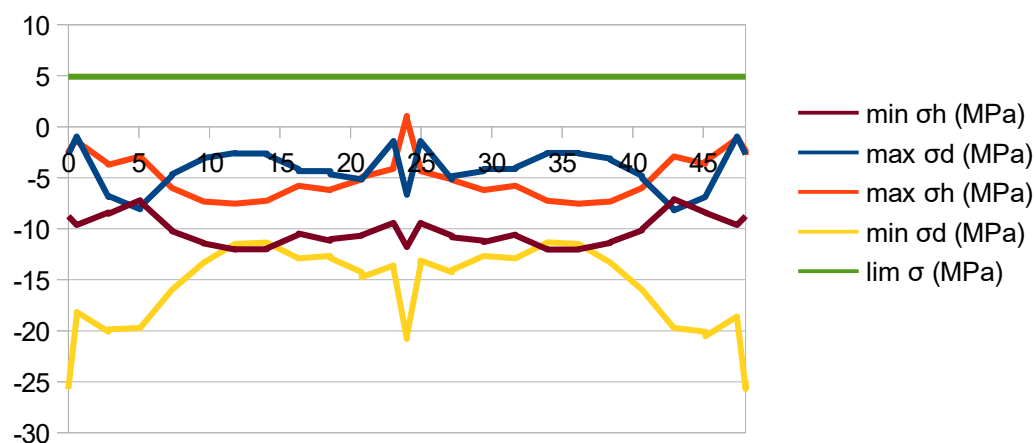


Častá kombinace - KŽ

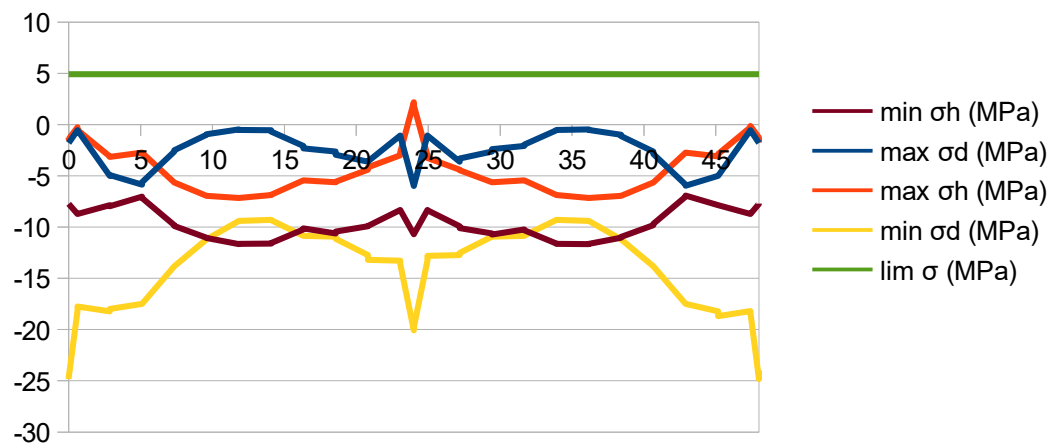


8.2.6 Izotropní model - krajní nosník, pravá stojina

Častá kombinace - UP



Častá kombinace - KŽ



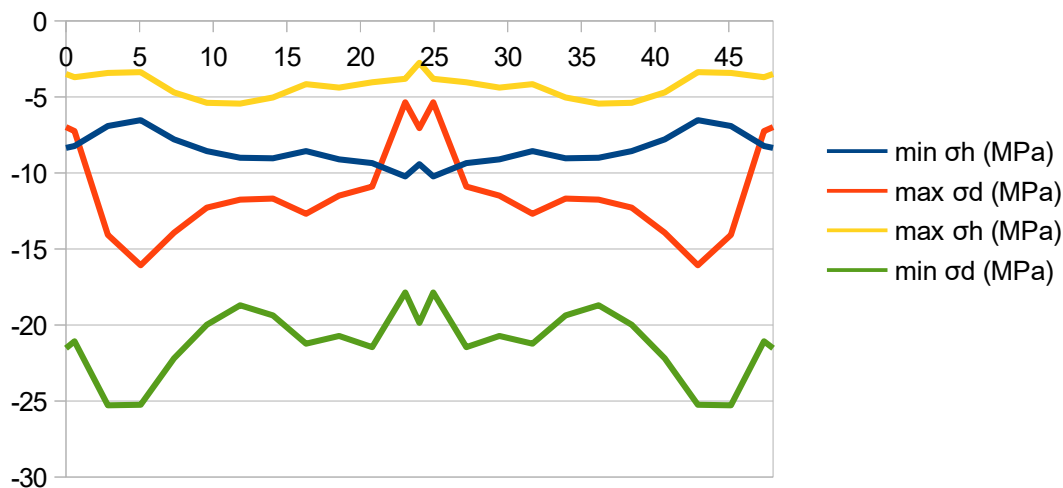
8.3 Kvazistálá kombinace včetně předpětí

8.3.1 Ortotropní model - prostřední nosník

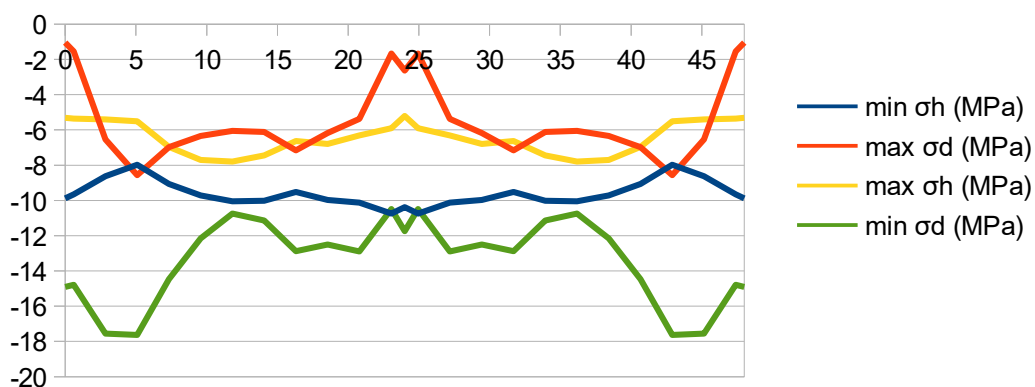
$$\sigma_{\text{lim},1} = -72,45 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{lim},2} = +0,00 \text{ MPa}$$

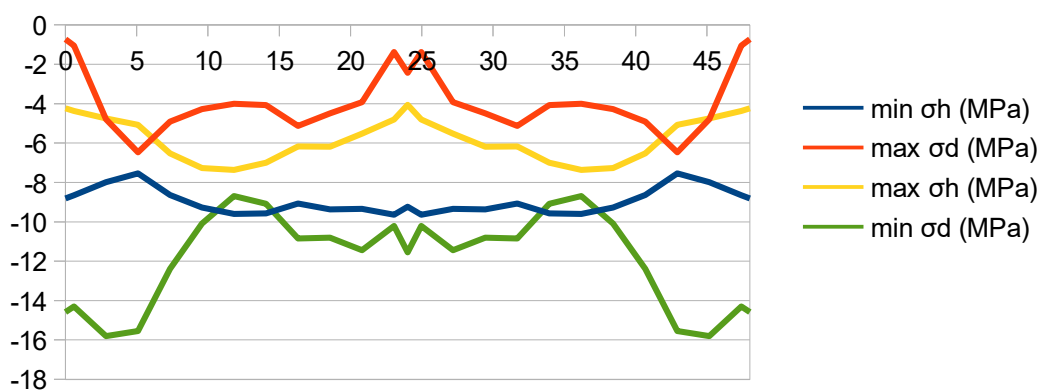
Kvazistálá kombinace - TR



Kvazistálá kombinace - UP



Kvazistálá kombinace - KŽ

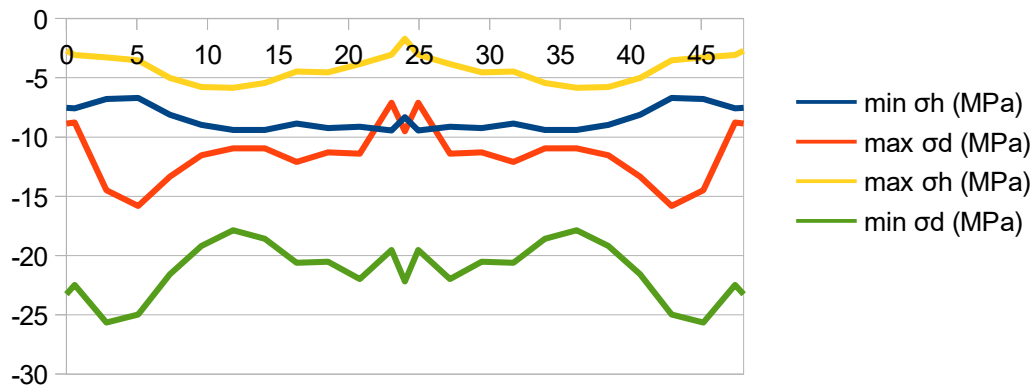


8.3.2 Ortotropní model - krajní nosník

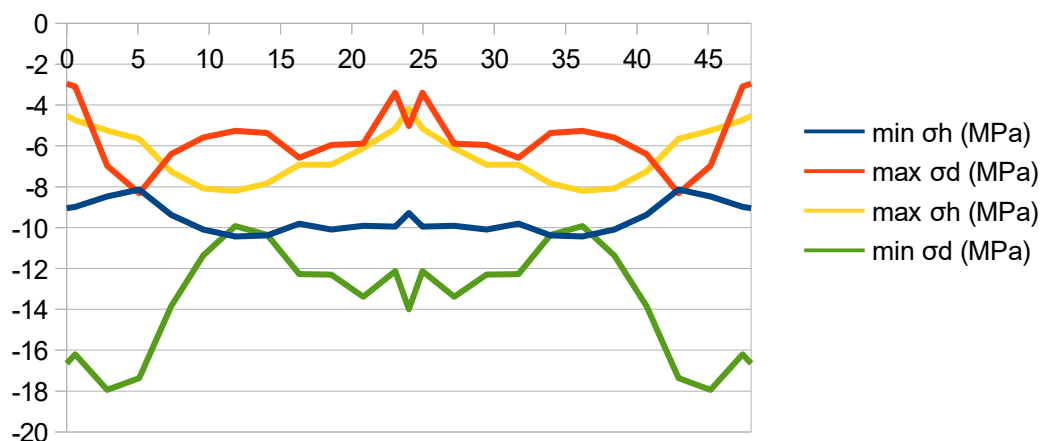
$$\sigma_{\text{lim},1} = -72,45 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{lim},2} = +0,00 \text{ MPa}$$

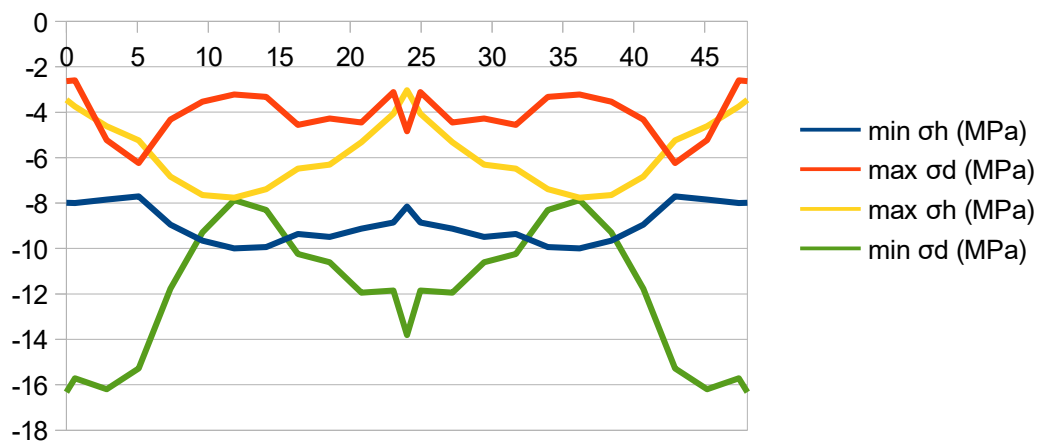
Kvazistálá kombinace - TR



Kvazistálá kombinace - UP



Kvazistálá kombinace - KŽ

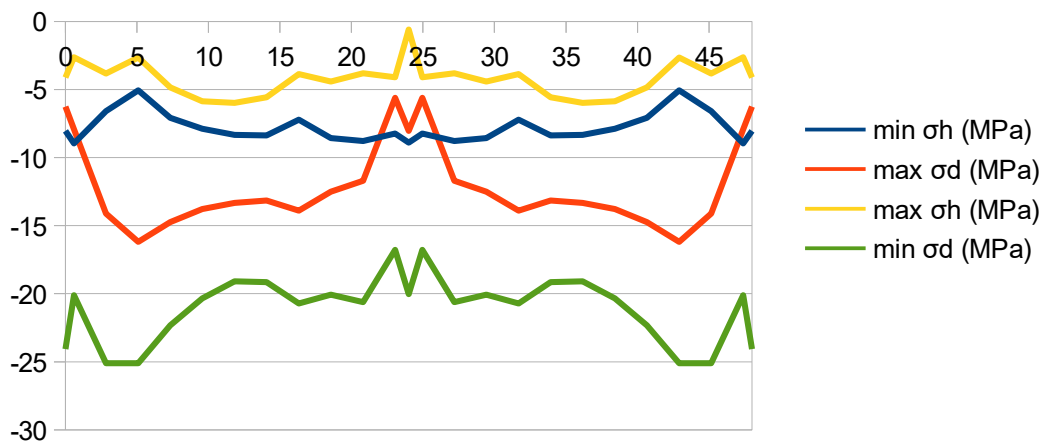


8.3.3 Izotropní model - prostřední nosník, levá stojina

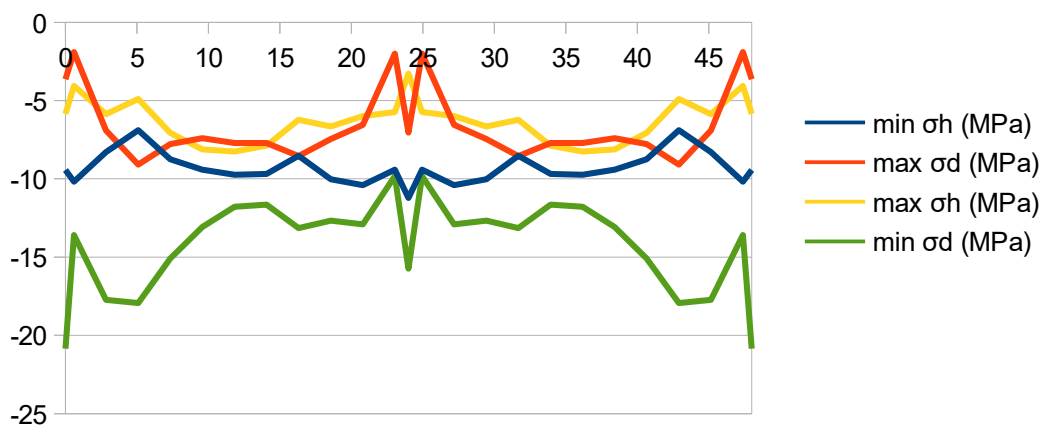
$$\sigma_{\text{lim},1} = -72,45 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{lim},2} = +0,00 \text{ MPa}$$

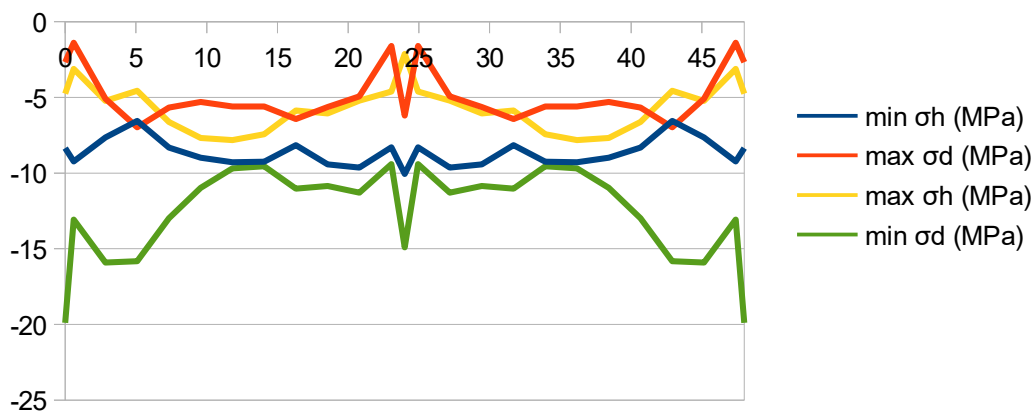
Kvazistálá kombinace - TR



Kvazistálá kombinace - UP



Kvazistálá kombinace - KŽ

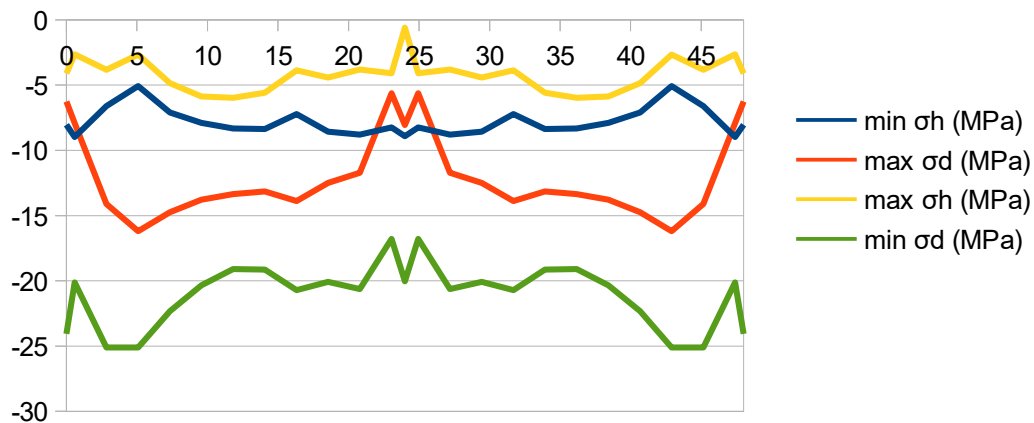


8.3.4 Izotropní model - prostřední nosník, pravá stojina

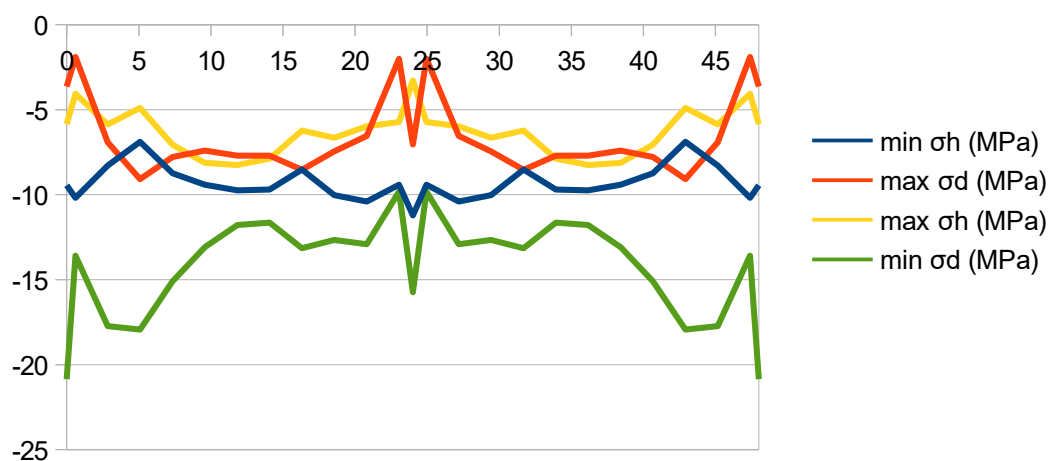
$$\sigma_{\text{lim},1} = -72,45 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{lim},2} = +0,00 \text{ MPa}$$

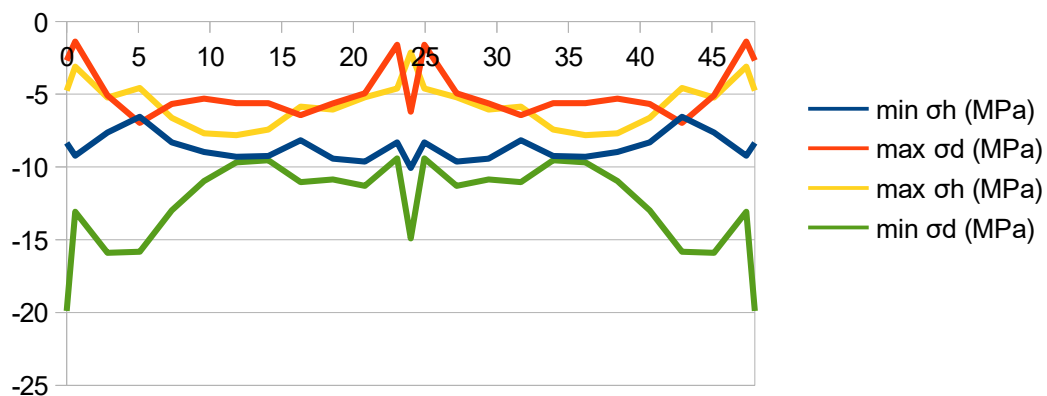
Kvazistálá kombinace - TR



Kvazistálá kombinace - UP



Kvazistálá kombinace - KŽ

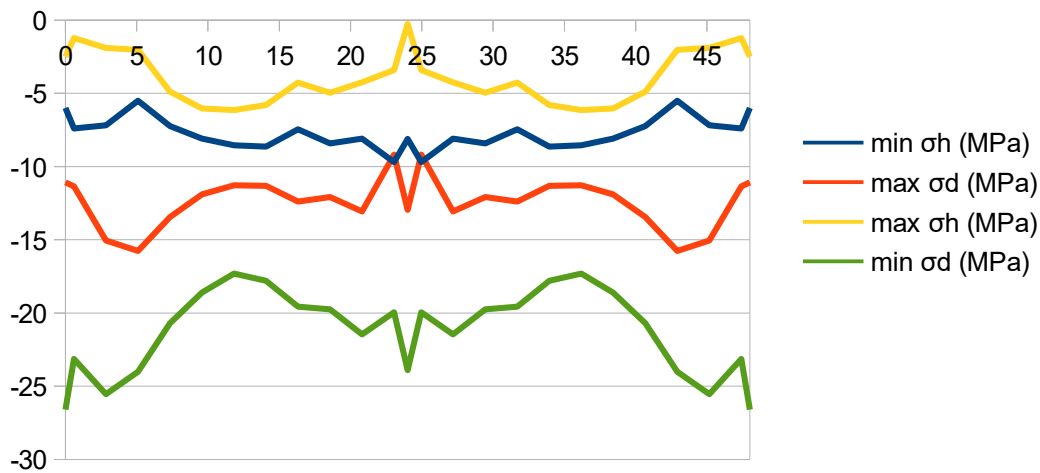


8.3.5 Izotropní model - krajní nosník, levá stojina

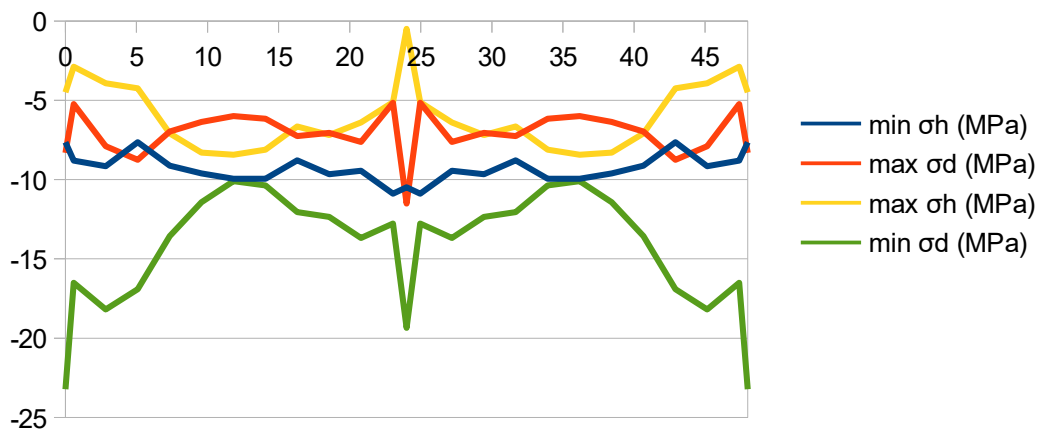
$$\sigma_{\text{lim},1} = -72,45 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{lim},2} = +0,00 \text{ MPa}$$

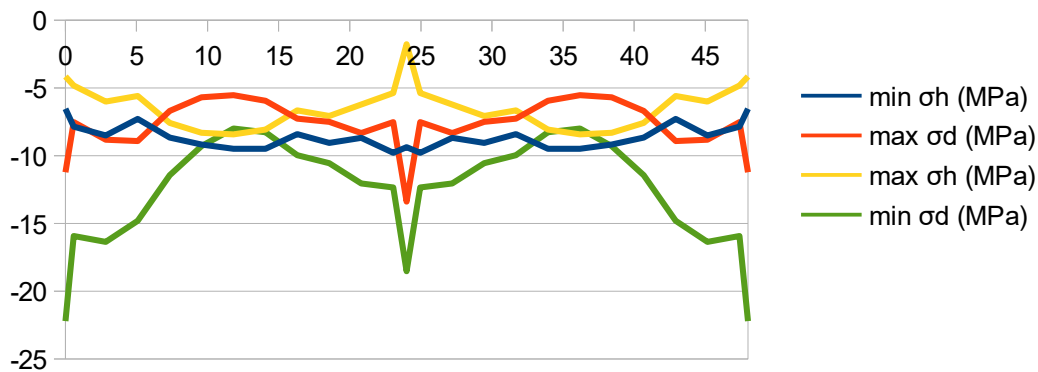
Kvazistálá kombinace - TR



Kvazistálá kombinace - UP

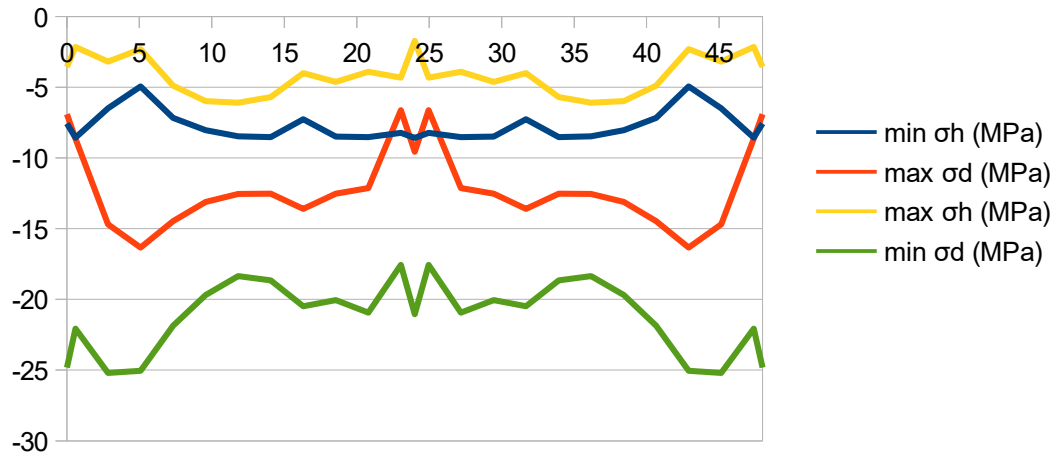


Kvazistálá kombinace - KŽ

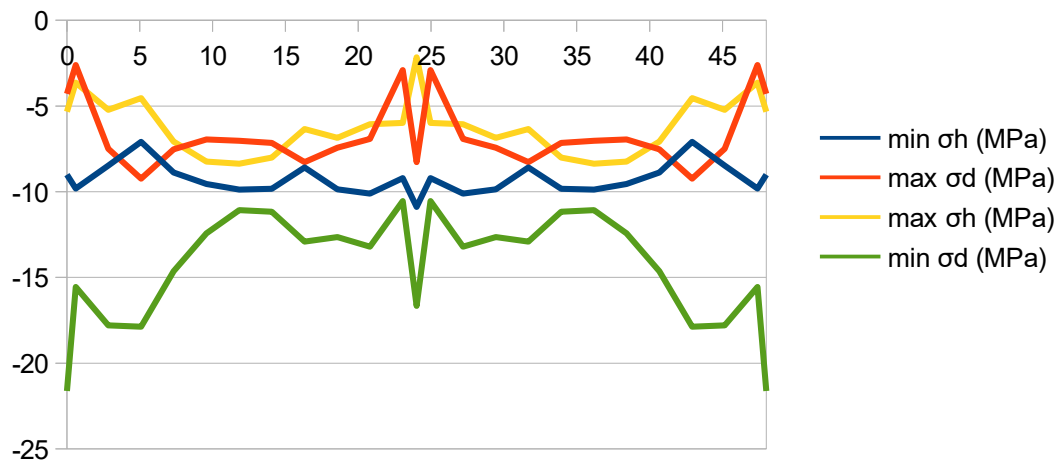


8.3.6 Izotropní model - krajní nosník, pravá stojina

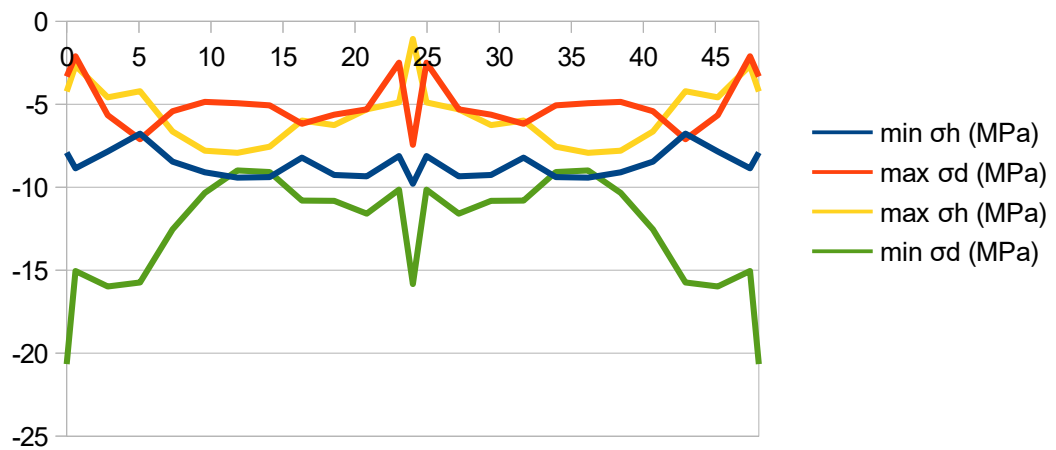
Kvazistálá kombinace - TR



Kvazistálá kombinace - UP



Kvazistálá kombinace - KŽ



9. Posouzení mezního stavu únosnosti

Posouzení na mezní stav únosnosti je provedeno na nejvíce zatíženém krajním nosníku. Je spočítána únosnost uprostřed rozpětí pole ve staničení 11,825 m pro čas na konci životnosti, kdy má předpětí nejmenší účinek. Vstupní hodnoty pro posouzení:

moment z rozhodující kombinace MSÚ bez předpětí

$$M_{\text{komb}} = 2631,91 \text{ kNm}$$

normálová síla z rozhodující kombinace MSÚ bez předpětí

$$N_{\text{komb}} = -778,39 \text{ kN}$$

normálová síla v předpínací výztuži se soudržností, za předpokladu jejího zplastizování

$$N_{\text{pd,s}} = A_{\text{p,s}} * f_{\text{pd}} = 8 * 150 * 10^{-6} * 1423 * 10^3 = 1707,6 \text{ kN}$$

normálová síla ve volných kabelech

$$N_{\text{pd,ext}} = A_{\text{p,ext}} * \sigma_{\text{p,ext}}$$

kde $\sigma_{\text{p,ext}} = \sigma(K\check{Z}) + 100 \text{ MPa}$

$$\sigma_{\text{p,ext}} = \sigma(K\check{Z}) + \frac{100 \text{ MPa} * L_{\text{pole}}}{L_{\text{kabelu}}} = 1104,75 + \frac{100 * 24}{48} = 1154,75 \text{ MPa}$$

potom tedy $N_{\text{pd,ext}} = A_{\text{p,ext}} * \sigma_{\text{p,ext}} = 24 * 150 * 10^{-6} * 1154,75 * 10^3 = 4157,1 \text{ kN}$

celkový ohybový moment od předpětí se soudržností na konci životnosti

$$M_{\text{pd,s,celk}} = -36,98 \text{ kNm}$$

staticky určitý účinek ohybového momentu d předpětí se soudržností na konci životnosti

$$M_{\text{pd,s,SU}} = -946,55 \text{ kNm}$$

staticky neurčitý účinek ohybového momentu d předpětí se soudržností na konci životnosti

$$M_{\text{pd,s,SN}} = M_{\text{pd,s,celk}} - M_{\text{pd,s,SU}} = -36,98 - (-946,55) = 909,57 \text{ kNm}$$

celkový ohybový moment od předpětí volnými kabely na konci životnosti

$$M_{\text{pd,ext,celk}} = -343,43 \text{ kNm}$$

reziduální napětí betonu v tahu se uvažuje hodnotou

$$\sigma_{\text{rez}} = \frac{f_{\text{Ftuk}}}{\gamma_{\text{cf}} * K}$$

kde f_{Ftuk} je reziduální napětí ve vláknobetonu při šířce trhliny 1,5 mm

$$f_{\text{Ftuk}} = 6,7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{rez}} = \frac{f_{\text{Ftuk}}}{\gamma_{\text{cf}} * K} = \frac{6,7}{1,3 * 1,25} = 4,12 \text{ MPa}$$

součinitel λ definující účinnou výšku tlačené oblasti se vypočte podle vztahu

$$\lambda = 0,8 - \frac{f_{\text{ck}} - 50}{400} = 0,8 - \frac{161 - 50}{400} = 0,5225$$

šířka průřezu v oblasti desky

$$b = 2300 \text{ mm}$$

tloušťka desky

$$t = 150 \text{ mm}$$

výška průřezu

$$h = 1200 \text{ mm}$$

vzdálenost těžiště od horních vláken

$$z_t = 385,9 \text{ mm}$$

výška tlačené oblasti se získá z rovnováhy sil v průřezu, předpokládá se že neutrální osa prochází deskou

$$N_{\text{komb}} + N_{\text{cd}} = N_{\text{pd,s}} + N_{\text{pd,ext}} + N_{\text{ctd}}$$

$$N_{\text{komb}} + b \cdot x \cdot \lambda \cdot f_{\text{cd}} = N_{\text{pd,s}} + N_{\text{pd,ext}} + b \cdot x \cdot \lambda \cdot \sigma_{\text{rez}}$$

$$x = \frac{N_{\text{pd,s}} + N_{\text{pd,ext}} - N_{\text{komb}}}{b \cdot \lambda \cdot (f_{\text{cd}} - \sigma_{\text{rez}})} = \frac{(1707,6 + 4157,1 - 799,82) \cdot 10^3}{2300 \cdot 0,5225 \cdot (96,6 - 4,12)} = 45,77 \text{ mm}$$

$x = 45,77 \text{ mm} < 150 \text{ mm}$, předpoklad je splněn neutrální osa prochází deskou
účinná výška tlačené oblasti

$$x_u = \lambda \cdot x = 0,5225 \cdot 45,77 = 23,9 \text{ mm}$$

síla v tlačené části betonu

$$N_{\text{cd}} = b \cdot x \cdot \lambda \cdot f_{\text{cd}} = 2300 \cdot 45,76 \cdot 0,5225 \cdot 96,6 = 5312,93 \text{ kN}$$

síla v tažené části betonu

$$N_{\text{ctd}} = b \cdot x \cdot \lambda \cdot \sigma_{\text{rez}} = 2300 \cdot 45,76 \cdot 0,5225 \cdot 4,12 = 226,58 \text{ kN}$$

návrhová hodnota účinků zatížení M_{Ed}

$$M_{\text{Ed}} = M_{\text{komb}} + M_{\text{pd,s,SN}} + M_{\text{pd,ext,celk}} = 2631,91 + 909,57 - 343,43 = 3198,05 \text{ kNm}$$

návrhová hodnota momentu únosnosti průřezu M_{Rd}

$$M_{\text{Rd}} = N_{\text{pd,s}} \cdot e_{\text{pd,s}} + N_{\text{cd}} \cdot \left(z_t - \frac{x_u}{2} \right) + N_{\text{ctd}} \cdot \left(h - z_t - \frac{x_u}{2} \right) = \\ = 1707,6 \cdot 0,714 + 5312,93 \cdot \left(0,3859 - \frac{0,0239}{2} \right) + 226,58 \cdot \left(1,2 - 0,3859 - \frac{0,0239}{2} \right) =$$

$$M_{\text{Rd}} = 3387,75 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{Rd}} > M_{\text{Ed}}$$

$3387,75 \text{ kNm} > 3198,05 \text{ kNm} \rightarrow$ konstrukce vyhoví na mezní stav únosnosti

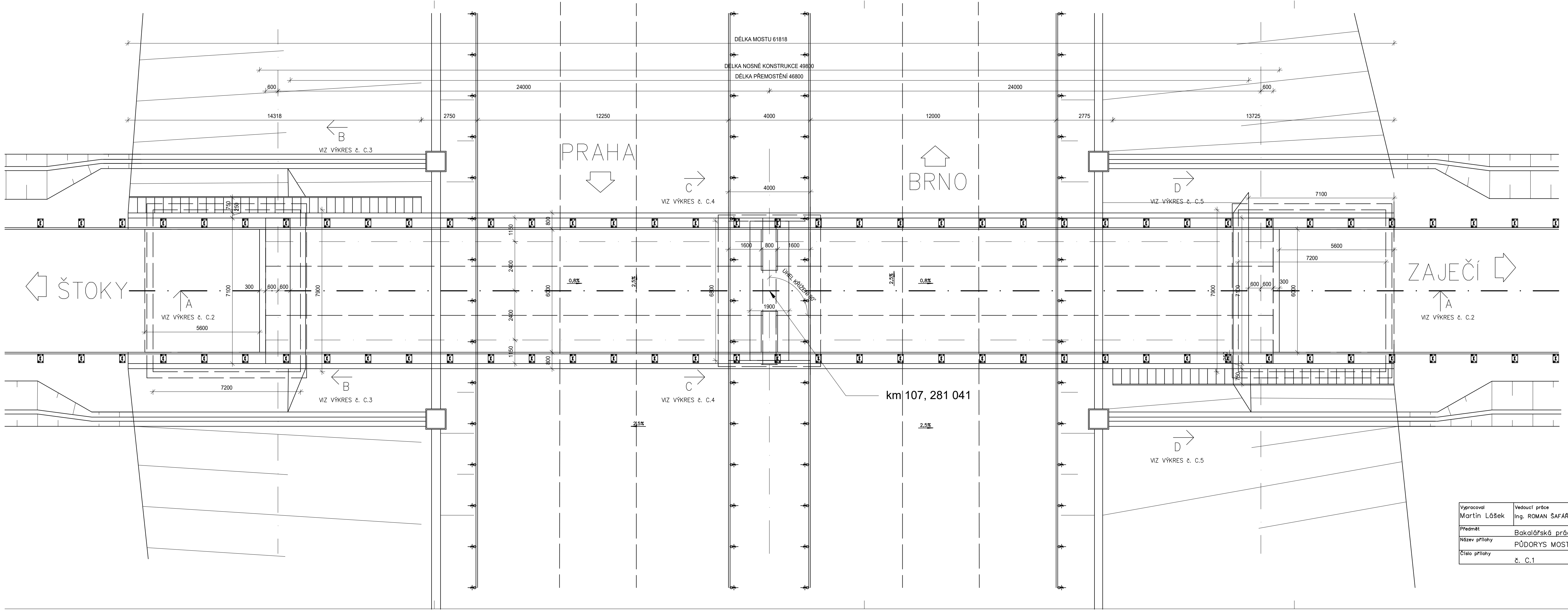
Seznam příloh:

A. Technická zpráva

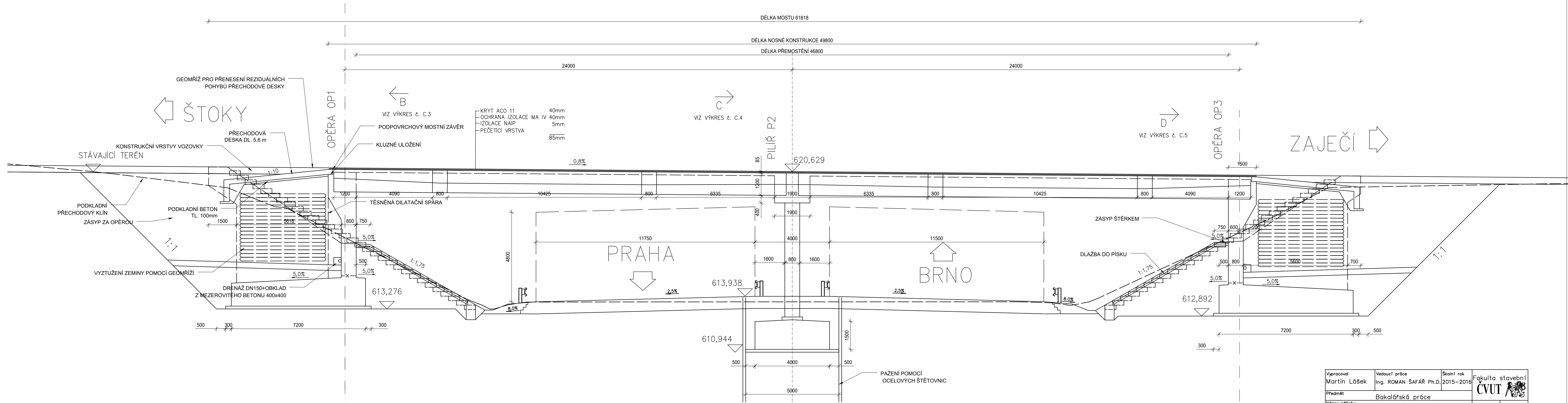
B. Statický výpočet

C. Výkresová dokumentace

- C.1 Půdorys mostu**
- C.2 Podélný řez A-A**
- C.3 Pohled B-B**
- C.4 Pohled C-C**
- C.5 Pohled D-D**
- C.6 Vzorový příčný řez**
- C.7 Příčný řez příčnickem**

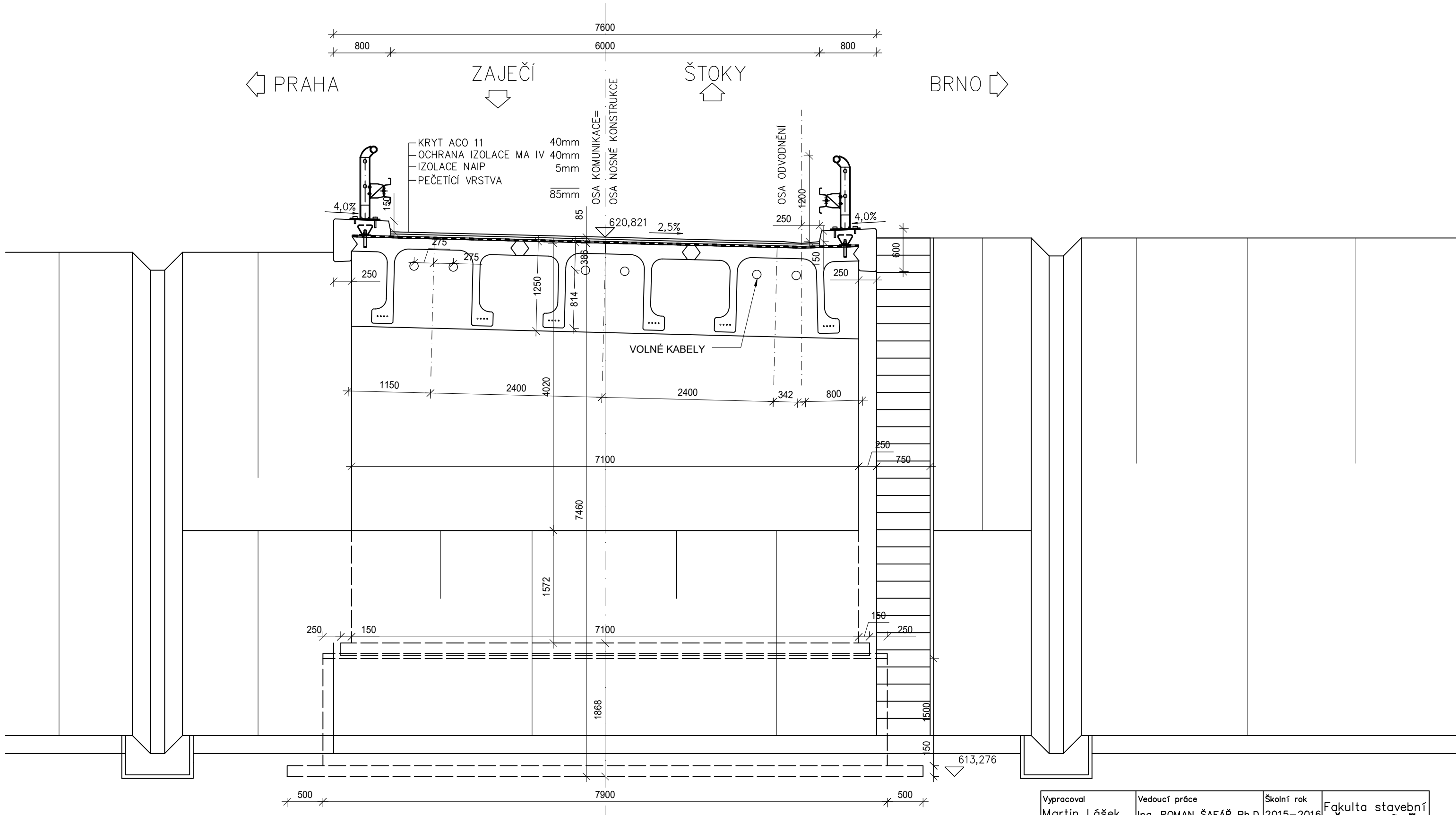


Vypracoval Martin Lášek	Vedoucí práce Ing. ROMAN ŠAFAR Ph.D.	Školní rok 2015–2016	Fakulta stavební CVUT
Předmět Název přílohy	Bakalářská práce PŮDORYS MOSTU		Datum 21.5.2016
Číslo přílohy č. C.1		Měřítko 1:100	Formát 4xA4



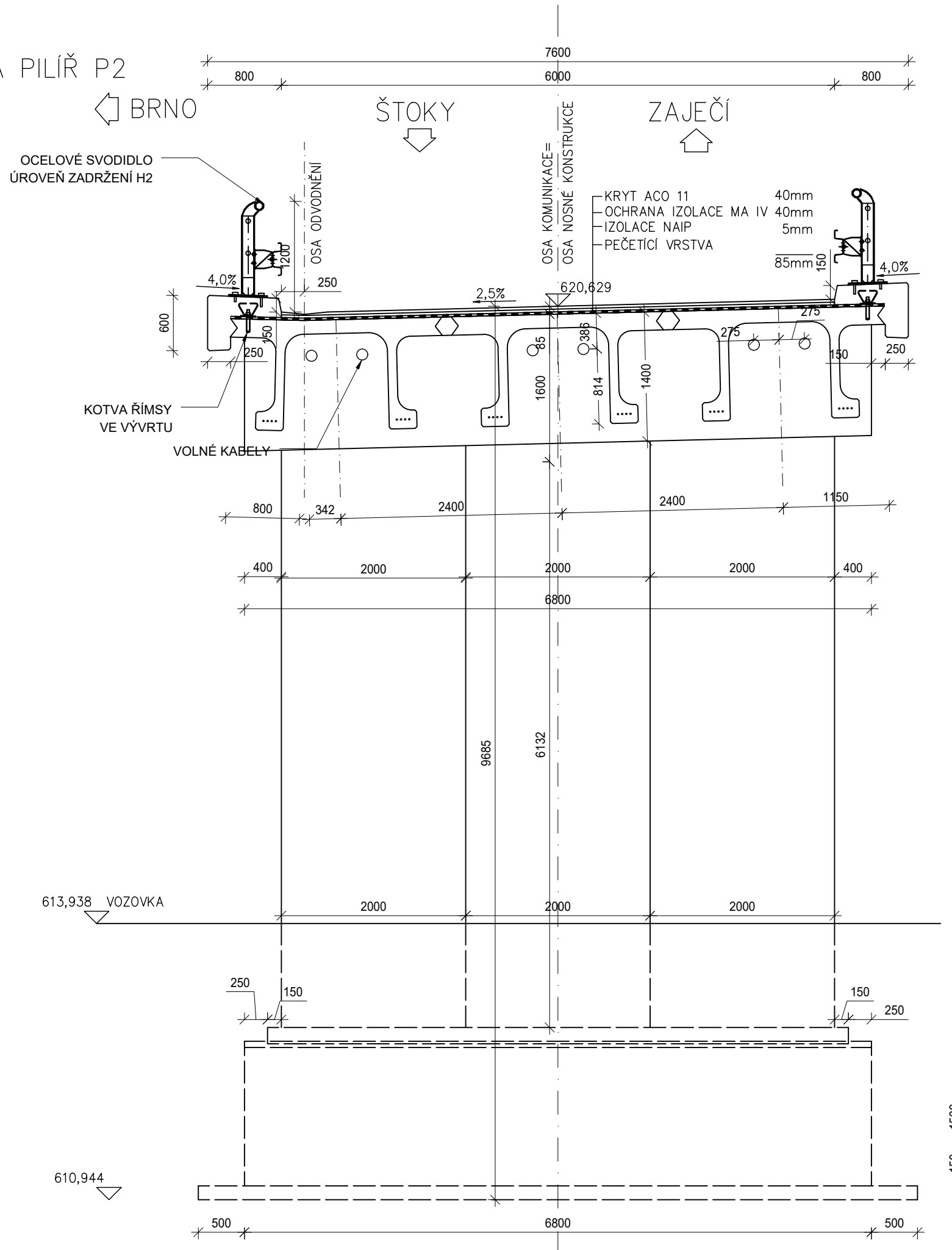
Vypracoval Martin Lášek	Vedoucí práce Ing. ROMAN ŠAFAR Ph.D.	Školní rok 2015–2016	Fakulta stavební CVUT
Předmět Bakalářská práce			
Název přílohy PODÉLNÝ ŘEZ A-A		Datum 21.5.2016	
Číslo přílohy č. C.2		Měřítko 1:100	Formát 4xA4

POHLED NA OPĚRU OP1

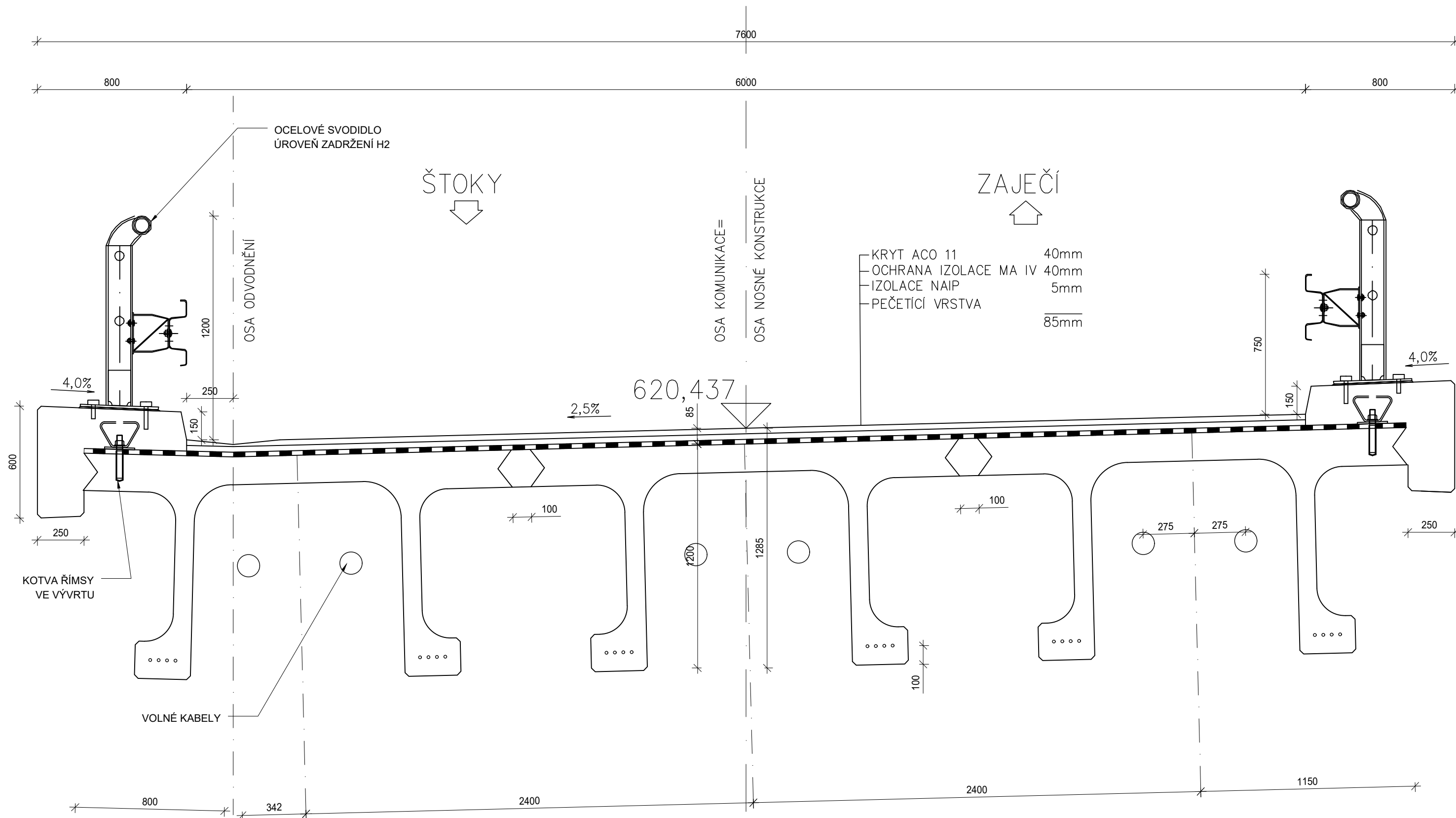


Vypracoval Martin Lášek	Vedoucí práce Ing. ROMAN ŠAFÁŘ Ph.D.	Školní rok 2015–2016	Fakulta stavební CVUT
Předmět Bakalářská práce		Datum 21.5.2016	Měřítko 1: 50 Formát 2xA4
Název přílohy POHLED B–B		Číslo přílohy č. C.3	

POHLED NA PILÍŘ P2

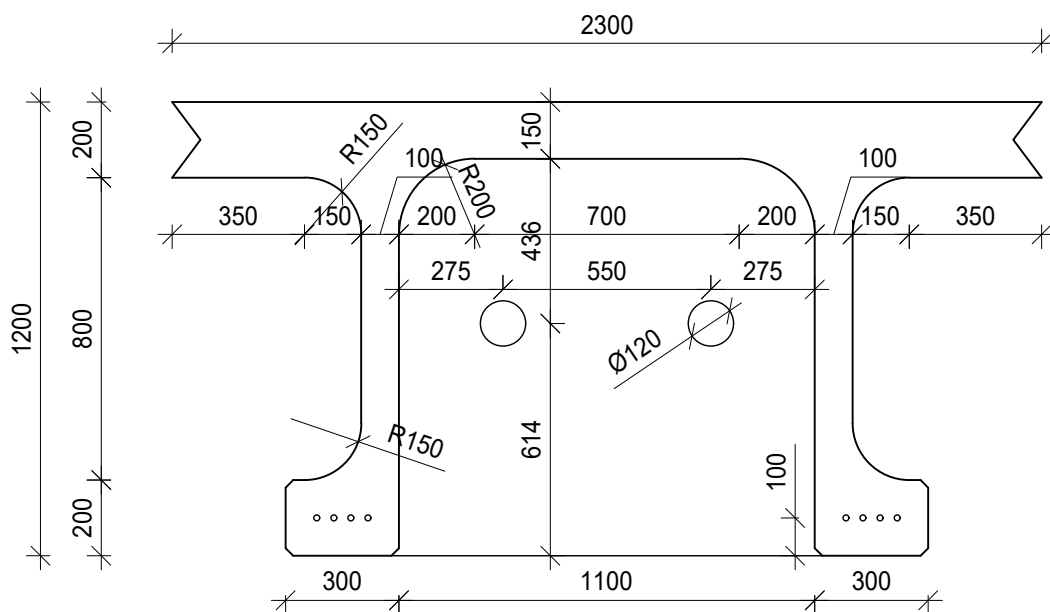



Vypracoval Martin Lášek	Vedoucí práce Ing. ROMAN ŠAFÁŘ Ph.D.	Školní rok 2015–2016	Fakulta stavební ČVUT
Předmět Bakalářská práce			
Název přílohy POHLED C–C		Datum 21.5.2016	
Číslo přílohy č. C.4		Měřítko 1:50	Formát 2xA4



Vypracoval Martin Lášek	Vedoucí práce Ing. ROMAN ŠAFÁŘ Ph.D.	Školní rok 2015–2016	Fakulta stavební CVUT
Předmět Bakalářská práce			
Název přílohy VZOROVÝ PŘÍČNÝ ŘEZ			Datum 21.5.2016
Číslo přílohy č. C.6			Měřítko 1:20
			Formát 2xA4

PŘÍČNÝ ŘEZ PŘÍČNÍKEM V POLI 1:20



Vypracoval Martin Lášek	Vedoucí práce Ing. ROMAN ŠAFÁŘ Ph.D.	Školní rok 2015–2016	Fakulta stavební CVUT 	
Předmět Bakalářská práce				
Název přílohy PŘÍČNÝ ŘEZ PŘÍČNÍKEM			Datum 21.5.2016	
Číslo přílohy č. C.7			Měřítko 1:20	Formát 1xA4