

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra betonových a zděných konstrukcí



Návrh mostu Kattenohl Bridge Kattenohl

Bakalářská práce

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

Vedoucí bakalářské práce: Doc. Ing. Marek Foglar, Ph.D.

Pavel Horák

2019



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Horák</u>	Jméno: <u>Pavel</u>	Osobní číslo: <u>460420</u>
Zadávací katedra: <u>K133 Katedra betonových a zděných konstrukcí</u>		
Studijní program: <u>(B3651) Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor: <u>(3647R013) Konstrukce a dopravní stavby</u>		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: <u>Návrh mostu Kattenohl</u>	
Název bakalářské práce anglicky: <u>Bridge Kattenohl</u>	
Pokyny pro vypracování: Součástí řešení bude: - rešerše na téma posuvné skruže - zpracování komentovaného statického výpočtu mostu - detailní posouzení hlavních konstrukčních prvků výsledné varianty řešení	
Seznam doporučené literatury: Stráský, J. (2001) Betonové mosty, ŠEL, Knižnice autorizovaného inženýra a technika, TK21, s.103 Navrátil, J. (2004) Předpjaté betonové konstrukce, Akademické nakladatelství CERM, s.160	
Jméno vedoucího bakalářské práce: <u>Doc. Ing. Marek Foglar, Ph.D.</u>	
Datum zadání bakalářské práce: <u>18/2/2019</u>	Termín odevzdání bakalářské práce: <u>26/5/2019</u> <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
_____	_____
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

<i>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“.</i>	
_____	_____
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně pod vedením Doc. Ing. Marka Foglara, Ph.D. a v seznamu literatury uvedl veškerou použitou literaturu a další zdroje.

V Praze dne 24. 5. 2019

.....

Pavel Horák

Poděkování:

Rád bych poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce, panu Doc. Ing. Marku Foglarovi, Ph.D. za cenné rady při zpracování této práce.

Abstrakt:

Cílem této práce je návrh předpjatého mostu poblíž obce Kattenohl v Německu. Konstrukce bude betonována na posuvné skruži. Výsledkem práce je návrh konstrukční varianty včetně posouzení a analýzy namáhání ve stavebních fázích. Hlavní důraz je tedy kladen na návrh a optimalizaci předpětí. Bakalářská práce je pojata jako návrh alternativního řešení stojícího mostu a obsahuje komentovaný statický výpočet a výkresovou část.

Klíčová slova:

Most, silniční most, dálniční most, komorový most, předpjatý beton, předpjatý most, posuvná skruž, výsuvná skruž, železobetonová konstrukce, změna průřezu

Abstract:

The goal of this work is design of prestressed bridge made of concrete near Kattenohl in Germany. It will be made while using special formwork system. The outcome of the work is to make construction analysis including building phases. It's mainly focused on design of prestressed cables. This bachelor thesis is about making other possible variant of real bridge. It includes annotated static calculation and drawings.

Keywords:

Bridge, Road bridge, Highway bridge, box girder, prestressed concrete, prestressed bridge, formwork system, reinforced concrete structure, cross-section change

Obsah:

1	Rešerše – Posuvné skruže	14
1.1	Možnosti výstavby	14
1.2	Volba technologie	14
1.3	Příčné uspořádání	16
1.4	Uložení mostovky	17
1.5	Postup výstavby	18
1.5.1	Skruž nad mostovkou	19
1.5.2	Skruž pod mostovkou.....	22
1.6	Předpínání	23
2	Úvod.....	26
2.1	Poloha.....	27
2.2	Podklady.....	28
2.3	Směrové a výškové řešení	28
2.4	Současný stav	29
2.5	Varianty návrhu.....	29
2.5.1	První varianta	29
2.5.2	Druhá varianta.....	30
2.5.3	Třetí varianta	31
3	Materiály	32
3.1	Beton	32
3.2	Kabely z lan.....	33
3.3	Betonářská výztuž	33
4	Průřezy	34
4.1	Plný betonový průřez	35
4.1.1	Průřez v poli.....	35
4.1.2	Průřez nad pilířem.....	36
4.1.3	Průřez nad opěrou	37
4.2	Redukovaný průřez	38
4.2.1	Průřez nad opěrou	38
4.2.2	Průřez v poli 1	40
4.2.3	Průřez nad pilířem 1	42
4.2.4	Průřez v poli 2.....	44

4.2.5 Průřez nad pilířem 2	46
4.2.6 Průřez v poli 3	48
4.3 Přehled průřezových charakteristik	49
5 Zatížení a vnitřní síly pro odhad předpětí.....	50
5.1 Stálé	50
5.1.1 Vlastní tíha.....	50
5.1.2 Ostatní stálé	50
5.2 Proměnné	51
5.2.1 Zatížení dopravou LM1	51
5.3 Zatížení pro návrh předpětí.....	52
6 Návrh předpětí	54
6.1 Úvod	54
6.2 Metoda vyrovnání napětí	55
6.3 Metoda vyrovnání zatížení	56
7. Výpočet napětí v programu Scia Engineer	59
7.1 Vstupní data	59
7.2 Zhodnocení	60
8 Model 1.....	63
8.1 Průběhy napětí	63
8.2 Posouzení MSP	81
9 Model 2.....	82
9.1 Průběhy napětí	82
9.2 Posouzení MSP	85
10 Model 3.....	87
10.1 Průběhy napětí	87
10.2 Posouzení MSP	99
11 Model 4.....	100
11.1 Průběhy napětí	100
11.2 Posouzení MSP	118
12 Závěr	119
13 Seznam literatury	121
13.1 Tištěné zdroje informací	121
13.2 Normy	121

13.3 Internetové zdroje informací	121
13.4 Zdroje obrázků	122
14 Seznam obrázků:	123
15 Seznam tabulek	129
16 Seznam příloh	130

1 Rešerše – Posuvné skruže

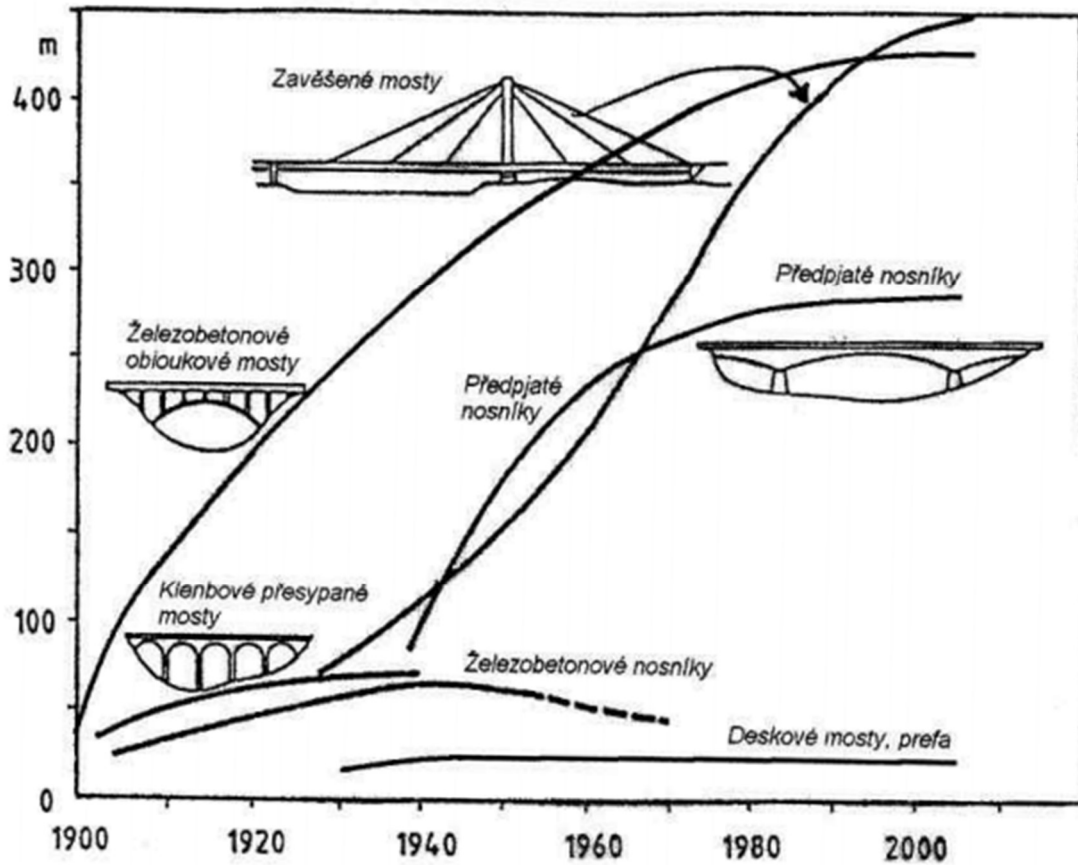
1.1 Možnosti výstavby

Variant, jak lze most postavit, je hned několik a rozhodně mezi ně patří i betonáž na posuvné skruži. Začnu ovšem trochu obecněji pro popsání širších souvislostí. Most, respektive jakákoliv konstrukce určená k překonání určité vzdálenosti, může být připravená předem a na své místo pouze přesunutá, nebo se na stavbu přesune jako „stavebnice“ kde je třeba díly do sebe správně poskládat a lze využít i dopravy stavebního materiálu v jiném skupenství. Lze tyto technologie také kombinovat. Výhodou předem připravených (prefabrikovaných) dílů je montáž (betonáž) v relativně jednoduchých podmínkách s možností zastřešení a vytápění. Proti tomu montáž, respektive betonáž na místě bude výhodnější zejména s ohledem na náročnost dopravy. Nutné je ovšem použití bednění a skruže s dostatečnou tuhostí a únosností. Skruž se dá použít jako pro betonáž segmentů nebo celého pole. Posuvné skruže se používají ve většině případů právě k betonáži celého pole. Alternativou pro tento typ konstrukce je betonáž na pevné skruži, případně betonáž na přestavné skruži. To ovšem znamená vztyčení podpůrné konstrukce od terénu až po bednění. Rozhodující faktor pro teoretický výběr nejhodnější varianty z těchto typů skruží je zejména výška konstrukce a počet polí.

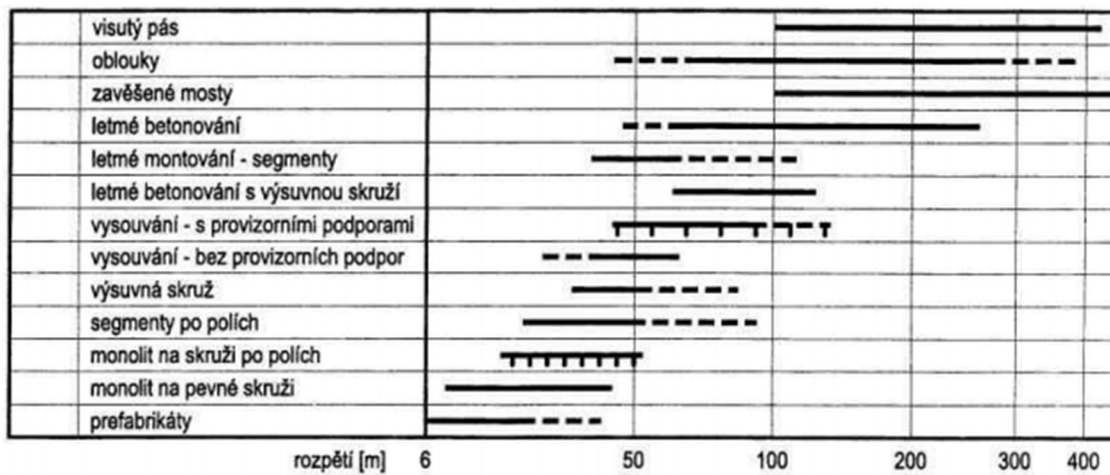
Z dostupných stavebních materiálů se standardně na stavbu mostů vybírá mezi betonem (železobetonem), kovem (ocelí), dřevem a méně často i dalšími materiály jako sklo a podobně. Materiály se též dají v konstrukci kombinovat. Ke stavbě velkých dopravních mostů se tento seznam ve vyspělých státech redukuje na ocel a železobeton. V tomto případě a i s ohledem na zaměření mé práce se omezíme pouze za železobetonové varianty, kterých se betonáž na posuvné skruži může týkat. Železobeton má, jako každý materiál, své výhody i nevýhody. Mezi hlavní výhodu bych řadil možnost dopravit beton v tekutém skupenství a vytvořit následně libovolný tvar. Průřezy bývají relativně masivní a výztuž včetně předpínací je dobře chráněna od okolních vlivů. Podstatné je jistě i ekonomické hledisko, jelikož ve srovnání s ocelovou konstrukcí je železobetonová varianta se stejnou nosností o poznání levnější. Na druhou stranu, největší nevýhoda je právě mohutnost a s tím související hmotnost konstrukce. Také ne na každý typ nosné konstrukce se betonová mostovka hodí.

1.2 Volba technologie

V dnešní době je na výběr z mnoha technologií výstavby i s ohledem na příčný řez. Tyto technologie se časem znatelně vyvíjely a nosné konstrukce je možné dělat s vývojem technologií na stále větší rozpětí. Tím je myšlen jak vývoj materiálů, tak i techniky a podpůrných konstrukcí.



Obrázek 1 - Historie výstavby mostů [1]



Obrázek 2 - Výběr technologie a nosné konstrukce podle rozpětí [1]

1.3 Příčné uspořádání

Konstrukce lze z hlediska příčného profilu rozdělit do několika kategorií. Ty ovšem souvisí s technologií výstavby. Ne všechny varianty výstavby a příčných řezů jsou navzájem kompatibilní a je proto třeba příčné řezy přizpůsobit technologii, případně naopak vycházet z příčného řezu a k němu zvolit odpovídající postup výstavby. Podle příčného uspořádání dělíme konstrukce na deskové, trémové, obloukové, visuté, zavěšené, přesypané, klenuté.

U deskových konstrukcí převládají rozměry podélný a příčný výrazně nad výškou mostovky. Výhodné jsou zejména při malých rozpětích s malou konstrukční výškou i kvůli jednoduchosti provádění. Ovšem kvůli velké spotřebě betonu se při větších rozpětích konstrukce vylehčuje nebo nahrazuje jinou variantou. Tuto variantu lze betonovat na výsuvné skruži.

Trémové konstrukce mají větší konstrukční výšku než deskové a umožňují větší rozpětí konstrukce. Mezi trémové konstrukce řadíme i komorové průřezy, které jsou v podstatě vylehčené trámy. Díky vyšší výšce je materiál rozprostřen dále od neutrální osy a tím se zvyšuje únosnost. V dnešní době se běžně používají jednotrémové (jednokomorové) a dvoutrémové (dvoukomorové) konstrukce. Běžnou praxí je také použití prefabrikovaných betonových trámů, případně spřahování ocelových trámů, kde je jejich počet větší. Průřez také může měnit svou výšku po délce a tím ovlivňovat průběh momentů. Pro betonáž na posuvné skruži je vhodné navrhovat konstantní průřez.

Oblouková konstrukce vychází z dřívější klenbové konstrukce a její výhodou je eliminace momentového namáhání, které je do určité míry nahrazeno tlakovou silou. Statické schéma oblouku může být různé a i se měnit během výstavby. Možností je několik, například oboustranně vetknutý oblouk, kloubově podepřený, kloubově podepřený s kloubem v nejvyšším bodě nebo kloubový s dodatečným zabetonováním kloubů. Mostovka může být buď desková, nebo trémová a je možno ji taktéž betonovat na posuvné skruži.

Visuté a zavěšené konstrukce je možné navrhovat s výrazně nižší ohybovou tuhostí. Základní rozdíl je v tom, že zavěšené konstrukce mají na pylonu uchycené šikmé závěsy. Ty s ohledem na úhel vůči mostovce do konstrukce vnáší vodorovnou sílu, která má charakter předpětí. Proto je možnost použití tohoto typu omezenější než u visutých mostů, kde působí síla vnášená do mostovky prakticky svisle. Tyto mosty se většinou staví s individuálním přístupem, například pomocí plavidel, pokud přemostují vodní překážku jako například mořskou úžinu. Použití posuvných skruží je prakticky vyloučeno.

Přesypané mosty a klenby tvoří podstatnou část mostních konstrukcí na pozemních komunikacích i železnicích. V dnešní době se používají betonové prefabrikáty seskládané složené na místě nebo kovové konstrukce, nejčastěji takzvané tubosidery. Jde v podstatě o plech ohýbaný ve dvou směrech. V minulosti byly používány často klenby vytvořené z kamenů, případně cihel a spojovacího materiálu. Jejich největší výhodou je spolupůsobení se zeminou a tím minimalizace stavební výšky. Realizovány jsou ovšem jen na malá rozpětí.

1.4 Uložení mostovky

Uložení deskových konstrukcí je možno řešit několika způsoby. V minulosti se používaly vrubové klouby, kde je nosná konstrukce zeštíhlena, případně je i přizpůsobena výztuž, aby docházelo k eliminaci přenosu ohybového momentu. Hlavně u železničních mostů se můžeme setkat s uložením na ozub. Dnes nejběžnější variantou je uložení pomocí ložisek a to pevných a posuvných.

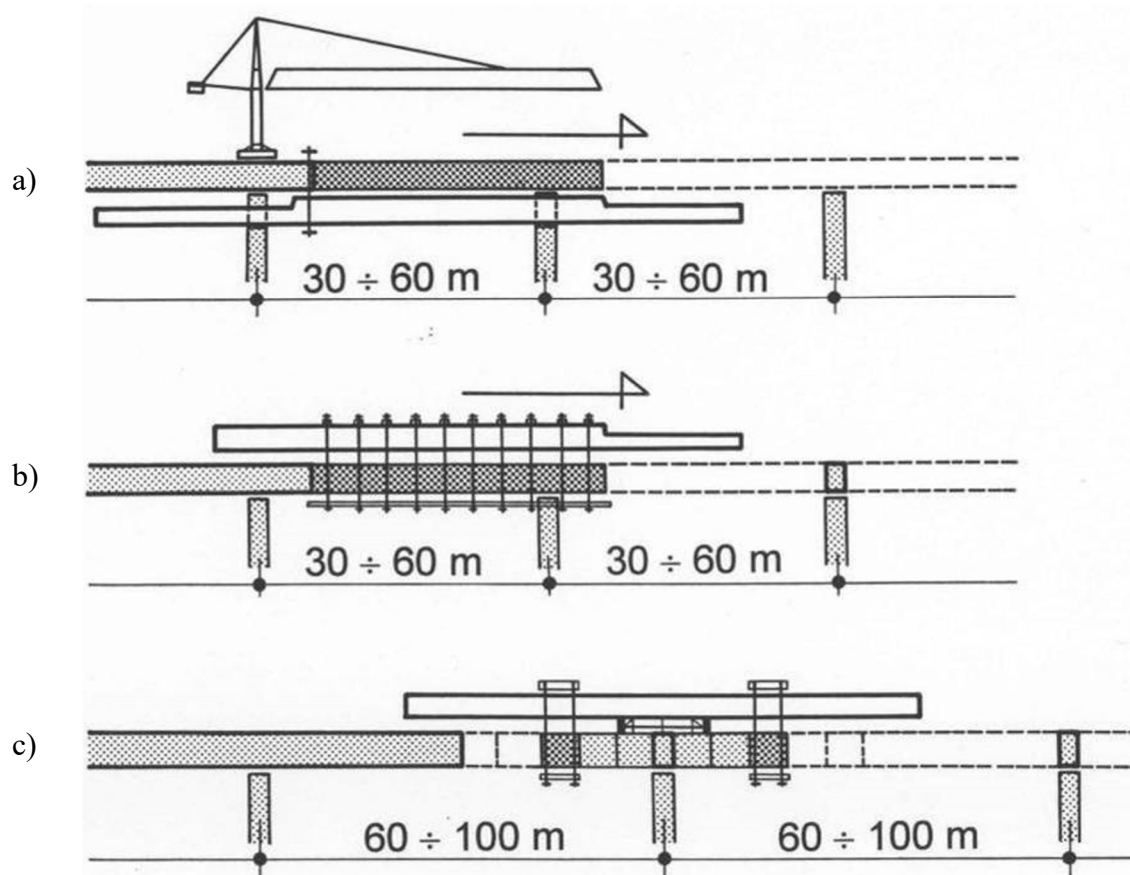
Trámové mosty je možno navrhovat jako spojitě, uložené taktéž na ložiskách, nebo s pevnými rámovými spoji. V tomto případě je třeba počítat s reakcemi vzniklými roztahováním a zkracováním mostovky. Proto se pilíře navrhují poddajné a to například jako dvojice stojek, které mají nižší ohybovou tuhost v podélném směru, ale dostačují na přenos ostatních sil. Most je navržen v celku a dilatuje většinou jeden nebo oba konce. U rámových mostů, se dilatační spára objevit nemusí vůbec. Výhodné je také využití náběhů, kdy dojde k přerozdělení momentů a není tolik namáhán průřez uprostřed pole. Ovšem s ohledem na betonáž na posuvné skruži je výhodnější použití konstantního průřezu. Přestože není běžné požití posuvné skruže na tento typ konstrukce, realizovat to lze. U opěry je využito spolupůsobení betonové konstrukce a zeminy za opěrou. Nejčastěji je v případě větších rozpětí a vyšší výšce konstrukce nad terénem využita metoda letmé betonáže.

Často je ale volena varianta uložení na ložiskách. Konstrukce se se tak chová jako spojitý nosník a ze statického hlediska je jednodušší nalezení průřezu s nulovým ohybovým momentem pro ideální umístění pracovní spáry. Standardně je volena dvojice ložisek na každém pilíři a opěře. Jedna z těchto dvojic se volí v podélném směru nepohyblivá, například na pilíři uprostřed rozpětí. Mostovka je oddělena dilatační spárou od jedné nebo obou opěr. Toto uložení je nejběžnější v případě betonáže na posuvné skruži.

1.5 Postup výstavby

Betonování na posuvné (výsuvné) skruži se řadí do kategorie mostů betonovaných na místě a v poloze, ve které budou i jako hotová konstrukce, pokud tedy zanedbáme možné drobné nadvýšení skruže. Hlavní výhodou je možnost relativně jednoduchého přesouvání bednění po vybetonování a to, že po vybudování pilířů a opěr lze konstrukci postavit i bez přístupu do přemostované oblasti např. hlubokého údolí. Posuvnou skruž je možno využít zejména na trémové mosty a to i pro proměnnou výšku průřezu a prostorově zakřivenou niveletu. Tento typ podpůrné konstrukce bývá použit nejčastěji u konstrukcí delších než 400 m, případně nad nepřístupnou nebo těžce přístupnou překážkou.

Skruže se dělí podle použití na dvě kategorie. První slouží k vybetonování celého pole. Umístění pracovní spáry je vhodné předem určit do místa předpokládaného nulového momentu. Tento typ konstrukce je ideální na rozpětí mezi 30 a 60 metry a podpůrná konstrukce může být buď pod mostovkou (obr.1a), nebo nad ní (obr.1b). Druhá kategorie kombinuje letmou betonáž s použitím posuvných skruží a její využití je optimální na rozpětí 60 až 100 metrů při betonáži segmentů dlouhých až 10 m [2]. Jedná se v podstatě o symetrickou betonáž (montáž) jednotlivých lamel mostu s využitím podpůrné konstrukce (obr.1c).



Obrázek 3 - Výsuvná skruž [3]

Začátek tuhnutí betonu se ideálně oddálí až do chvíle vylití celého kusu, aby se minimalizovaly vlivy deformace konstrukce. Skruže můžeme také dělit podle polohy vůči mostovce a to na skruž pod mostovkou a na skruž nad mostovkou.



Obrázek 4 - Betonáž celého pole [4]



Obrázek 5 - Montáž segmentů [5]

1.5.1 Skruž nad mostovkou

V tomto případě je bednění neseno konstrukcí nad úrovní mostovky. Už samotná skruž umožňuje snadnou dopravu materiálu, není potřeba další jeřáb. Pracovní prostor je ale omezen závěsnými tyčemi nosícími bednění. Skruž je ve směru betonáže podepírána podporovými segmenty, které mohou ležet i na ložiskách, pokud dojde

k jejich znehybnění a celé konstrukci je tak zajištěna stabilita. Je také možno použít ocelovou konstrukci, která se během betonáže pole zabetonuje do podporového příčnicku.

Proces betonáže na posuvné skruži začíná přivezením a sestavením podpůrné konstrukce. Následuje ustavení skruže do polohy, ve které bude i během betonáže. Toho se docílí posunem pomocí hydraulických válců, kdy se nos konstrukce dostane až nad příslušný pilíř. Po usazení skruže do své pozice se připraví bednění a výztuž.

Některé konstrukce umožňují automatické vyrovnávání poklesů systémem OPS. To je zkratka pro organické předpínání skruže. [6] To v praxi znamená, že na základě automatického měření pomocí čidel systém sám vyhodnocuje a upravuje pnutí v příhradovém nosníku a betonáž je tak přesná a je možné využít subtilnější skruž.

Následuje betonáž a po ní odbednění. To je možné provést například sklopením bednění do stran. Poté je konstrukce opět pomocí hydraulických válců posouvána až do nové polohy a proces se opakuje.



Obrázek 6 - Posuvná skruž Doka se sklopeným bedněním [7]



Obrázek 7 - Posuvná skruž Opárenské údolí [8]

1.5.2 Skruž pod mostovkou

Bednění je v tomto případě podpíráno přímo skruží. Výhodou této varianty je to, že prostor budoucího konstrukce je volný na rozdíl od zavěšeného bednění. Je ovšem nutné použít i jeřáb a to buď otočný, nebo portálový. Nevýhodou je pak to, že pro hladký posun bednění je ideální podepření mostovky tenkými pilíři a v případě dvoutrámových mostů eliminovat příčníky. V případě jednotrámových nebo komorových průřezů je konstrukce uchycena na relativně úzkých pilířích.

Pracovní cyklus začíná na rozdíl od skruže nad mostovkou až mezi prvními dvěma pilíři. Ty je třeba na tento typ výstavby mostu připravit, aby k nim bylo možné uchytit podpůrnou konstrukci. To bývá zpravidla zajištěno dočasnou konstrukcí, která je k pilíři upevněna pomocí čepů do vynechaných otvorů a následně rozepřena. Tato konstrukce je následně vybavena hydraulickými válci, které umožní posun skruže.

Po přesunu skruže do správné polohy dojde k přípravě bednění a betonáži pole. Do správné polohy se bednění nastaví pomocí hydraulických válců. Pokračuje se přípravou výztuže a betonáží. Následně se hotový díl odbední a konstrukce se pomocí hydraulických válců začne posouvat směrem k dalšímu pilíři. I v tomto případě je přední část přesouvané konstrukce nazývána nosem. Ten se pomocí hydrauliky při přesouvání nasměruje na předem připravenou část konstrukce na pilíři. Následně se konstrukce posune do budoucí polohy pro betonáž pole s tím, že zadní část zůstane zapřena o již vybetonovaný díl, aby v pracovní spáře nenastal odskok. Celý proces se nyní opakuje.



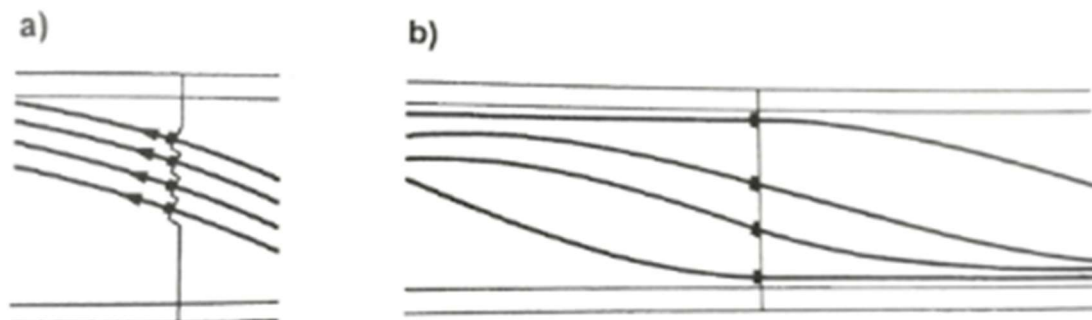
Obrázek 8 - Posuvná skruž Doka [9]

1.6 Předpínání

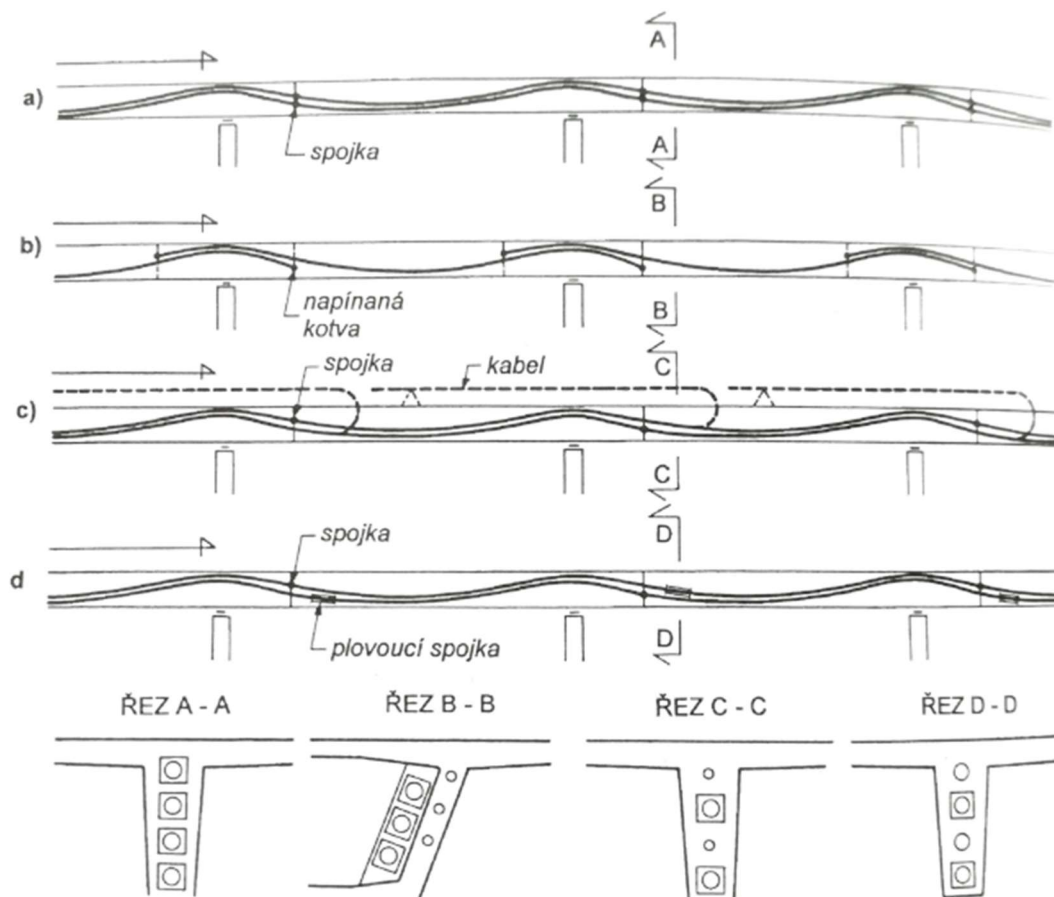
Ve snaze eliminovat tahová napětí vnášíme do konstrukce předpětí. Ve většině případů ho provádíme napínáním předpínací výztuže a následným zainjektováním kanálku. Předpětí můžeme vnášet z obou stran úseku, nebo jen z jedné. Při betonáži na posuvné skruži budeme průběžné kabely předepínat pouze z volné strany, respektive ze strany kde bude betonáž pokračovat. Zejména předpínací síly je třeba dimenzovat tak, aby síly byly v přípustných mezích během každého kroku výstavby.

Také je třeba správně zvolit postup předpínání, případně využít například spojky nebo mrtvé kotvy. Pozor je třeba dát na správné ukotvení a umožnění přístupu napínací pistole. Například je třeba předpínací výztuž ve spáře kotvit maximálně v počtu dvou třetin kabelů za splnění podmínek dle normy. Běžně se spojuje jen polovina kabelů, což norma už ničím nepodmiňuje. Toto omezení vyplývá z faktu, že napětí za skupinou kotev by mohlo dosahovat i tahových hodnot a tak způsobit vznik trhlin [2]. Dlouhé kabely mohou být napínány z obou stran, pokud to situace umožňuje, což není náš případ.

Dříve se kabely spojkovaly všechny v jednom průřezu a co nejbliže sobě [10], což je znázorněno na obrázku 10a a v řezu A-A. Ve zbylých případech na obrázku 9 je požadavek na maximální počet kotvených kabelů splněn. Na obrázku 9a je vidět dřívější snaha kotvit kabely co nejbliže sobě, od čehož se také upustilo. Vedení lan, které více připomíná dnešní přístup je patrné na obrázku 9b, kde jsou vidět možnosti kotvení kabelu. Přes kotvu by měl procházet kabel přímo, bez zakřivení.



Obrázek 9 - Kotvení kabelů ve spáře [3]



Obrázek 10 - Uspořádání kabelů [3]

2 Úvod

Předmětem mé bakalářské práce je most nedaleko obce Kattenohl na západě Německa. Most je přibližně 200 m dlouhý a maximální výška nivelety nad terénem je přibližně 35 m. Práce je pojata ve smyslu vytvoření alternativního konstrukčního návrhu.



Obrázek 11 - Současný stav 1 [11]



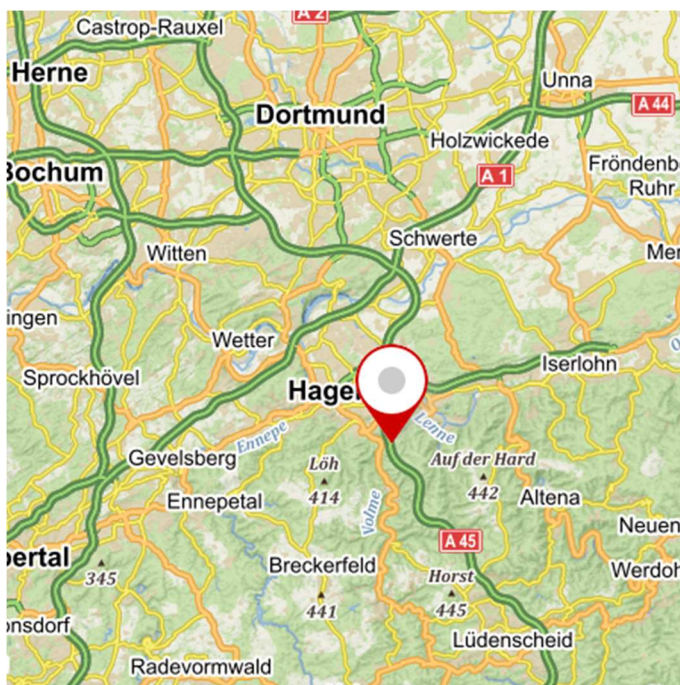
Obrázek 12 - Současný stav 2 [12]

2.1 Poloha

Most se nachází ve Spolkové republice Německo na území Severního Porýní – Vestfálska přibližně 20 km jižně od Dortmundu na dálnici A 45 necelý kilometr od obce Kattenohl. Dálnice A 45 je součástí Evropského koridoru E 41 a je to hlavní spojnice měst Dortmund a Frankfurt nad Mohanem.



Obrázek 13 - Poloha mostu 1 [13]



Obrázek 14 - Poloha mostu 2 [13]

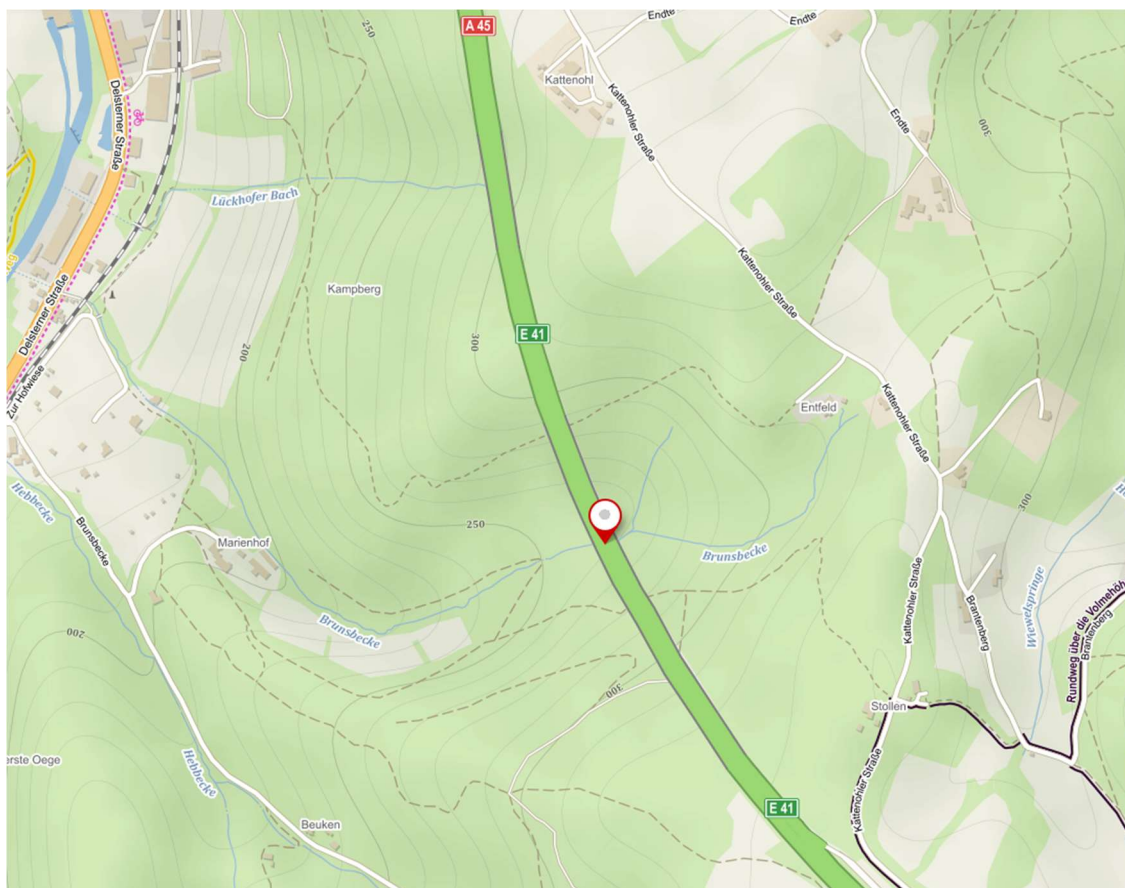
2.2 Podklady

Informace, ze kterých bylo možno vycházet, obsahují směrové a výškové vedení stávajícího stavu. To je doplněno o geologické podmínky v místě každé ze stávajících podpěr. Z podkladů vyplývá stávající volná šířka na mostním objektu, která zůstane zachována. Veškeré podklady jsou k dispozici pouze v němčině.

2.3 Směrové a výškové řešení

Celý most je navržen v konstantním podélném sklonu 4,0389 %, který je ve směru staničení stoupavým. Výšková kóta začátku mostu (ve směru staničení) v ose podpory je 283,67 m. n. m. Výšková kóta na konci mostu je 291,73 m. n. m.

Celý objekt se nachází v levotočivém směrovém oblouku, přesněji řečeno v přechodnici. Z toho vyplývá, že se křivost i příčný slon s nárůstem kóty staničení zvětšují. Počáteční příčný sklon je 2,562 % a koncový 3,966 %.



Obrázek 15 - Most na mapě [13]

2.4 Současný stav

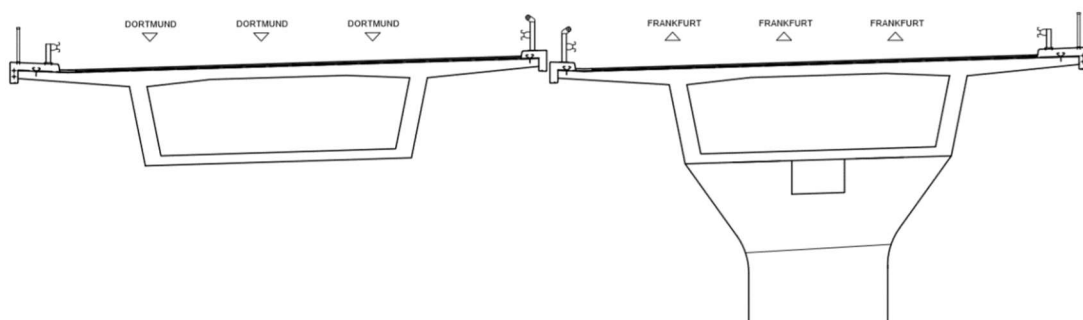
Stávající objekt byl dokončen roku 1966 a v dohledné době jej čeká rekonstrukce. Navržen je na plošných základech na pěti pilířích. Prostřední pilíř tím pádem zasahuje přibližně do poloviny údolí. Údolí je značně sníženo umělým násypem, který snižuje potřebnou výšku pilířů. Dopravní dostupnost je zajištěna příjezdovými cestami, které byly vybudovány zejména pro stavbu mostu a činnosti s tímto spojené.

2.5 Varianty návrhu

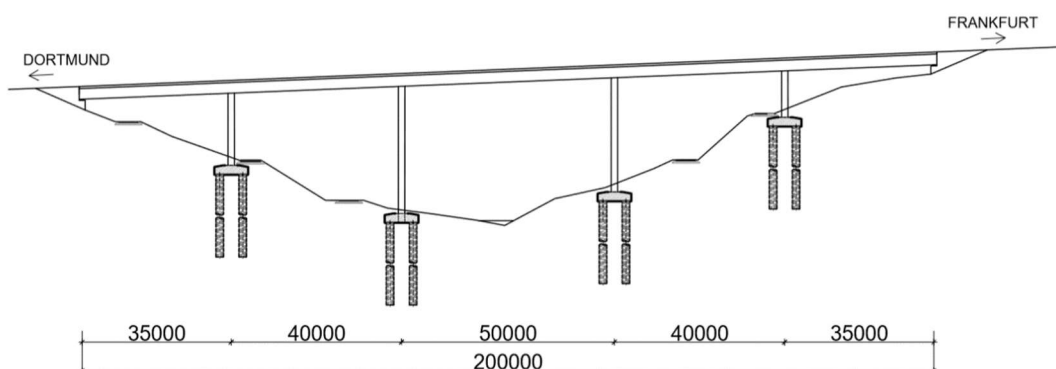
V rámci analýzy variant jsem vytvořil tři návrhy. Dva znamenají možnost rychlé montáže a použití prefabrikovaných dílů. Třetí variantou je komorový průřez. Vozovka bude projektována tloušťky 85 mm, z čehož bude 5 mm izolační asfaltový pás.

2.5.1 První varianta

První variantou návrhu je dvojice komorových průřezů s konstantní. Návrh uvažuje čtyři pilíře v osové vzdálenosti 35, 40, 50, 40 a 35 m. Tím se dostáváme na celkové teoretické rozpětí mostu 200,0 m. celková výška nosné konstrukce je 3,0 m + + 0,085 m vozovka. Šířka každého mostu je 16,850 m. Tato varianta bude podrobněji rozebrána v rámci mé bakalářské práce.



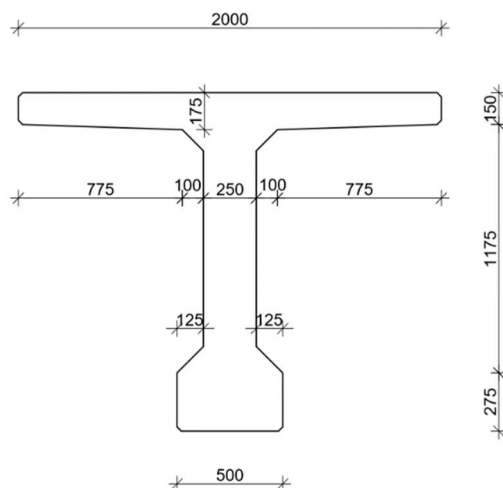
Obrázek 16 - Příčný řez komora



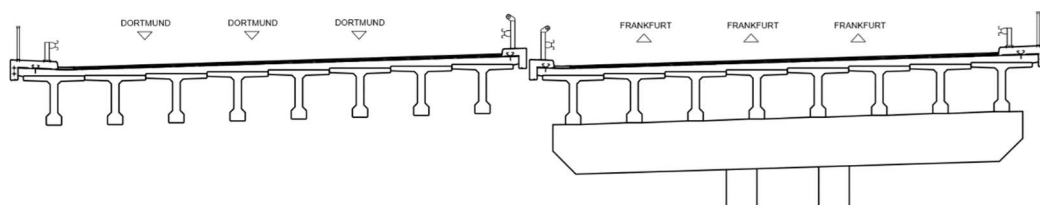
Obrázek 17 - Podélný řez komorový průřez

2.5.2 Druhá varianta

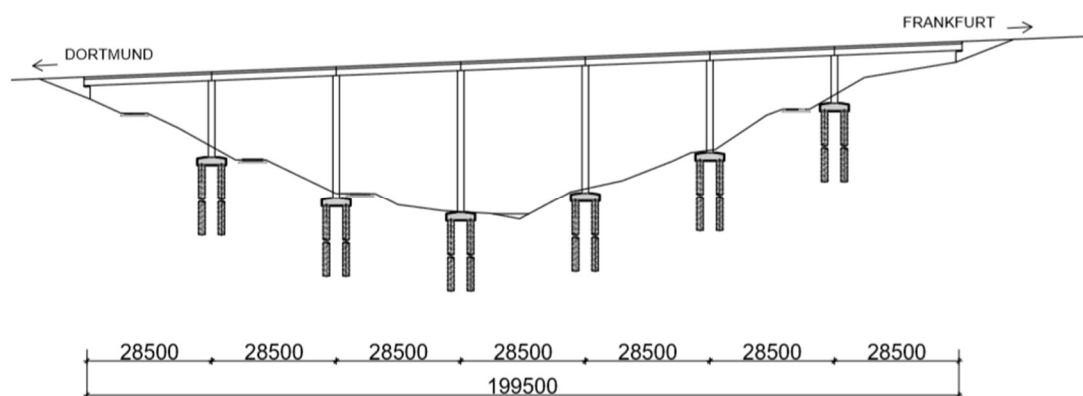
Druhá varianta je zaměřena zejména na rychlost výstavby. Nosnými prvky konstrukce budou prefabrikované trámy délky 28,5 m. Tato varianta počítá s šesti pilíři rovnoměrně rozprostřenými tak, aby osové vzdálenosti pilířů odpovídali i vzdálenosti krajního pilíře a opěry. Tímto způsobem se překonává teoretické rozpětí 199,5 m. Na prefabrikované nosníky bude vybetonována ještě sřahovací deska minimální tloušťky 0,20 m. S ohledem na relativně velký příčný sklon bude možné, aby pod pravou římsou byl sklon nosné konstrukce odpovídající sklonu vozovky.



Obrázek 18 - Prefabrikovaný trám



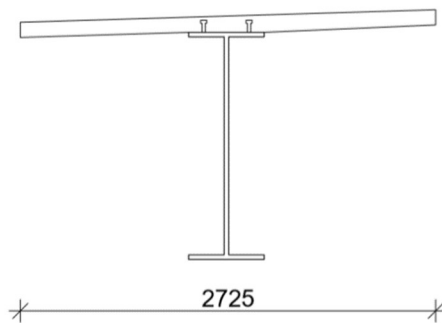
Obrázek 19 - Příčný řez prefabrikované trámy



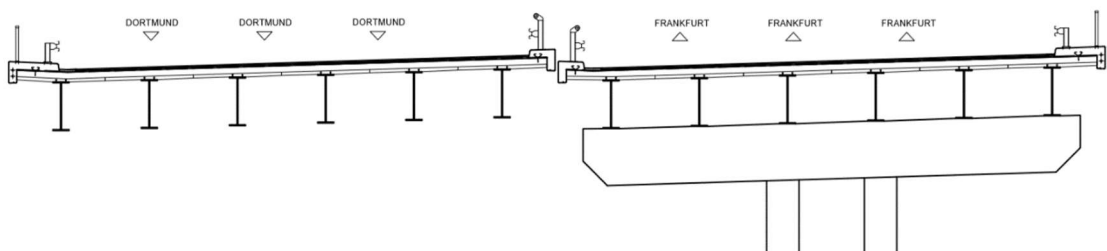
Obrázek 20 - Podélný řez prefabrikované trámy

2.5.3 Třetí varianta

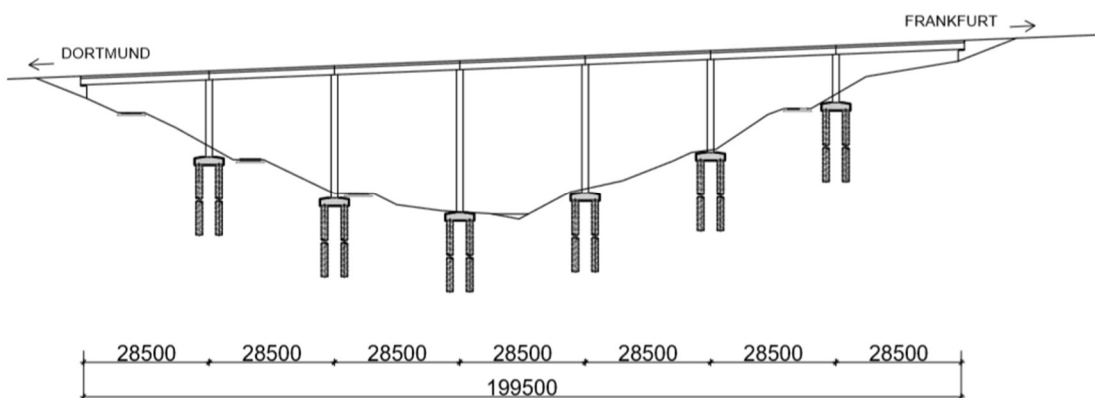
Třetí varianta je zaměřená taktéž na rychlost výstavby. Nosnými prvky konstrukce budou prefabrikované VFT trámy délky 28,5 m. Tato varianta počítá opět s šesti pilíři shodně ve vzdálenosti os pilířů a celkovým teoretickým rozpětím 199,5 m. Trámy se vyznačují ocelovým I profilem, který je již spřažen s betonovou deskou tloušťky 100 mm. Takto slouží jako bednění pro nadbetonávku tloušťky 0,20 m. Opět bude pod pravou římsou sklon nosné konstrukce odpovídající sklonu vozovky.



Obrázek 21 - VFT trám



Obrázek 22 - Příčný řez VFT trámy



Obrázek 23 - Podélný řez VFT trámy

3 Materiály

3.1 Beton

V úvodu budu vycházet z třídy betonu C 35/45, může dojít v budoucnu k přehodnocení a změně třídy betonu. Jako objemovou tíhu železobetonu s předpětím budu brát $\gamma_{zB} = 26 \text{ KN/m}^3$.

Tabulka 1 - Beton C 35/45

Třída	C 35/45
Charakteristická pevnost	$f_{ck} = 35 \text{ Mpa}$
Střední pevnost	$f_{cm} = 35 + 8 = 43 \text{ Mpa}$
Návrhová pevnost	$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma} = \frac{0,9 \cdot 35}{1,5} = 21,0 \text{ Mpa}$
Pevnost v osovém tahu <i>střední</i>	$f_{ctm} = 3,2 \text{ Mpa}$
<i>Horní charakteristická</i>	$f_{ctk 0,95} = 4,2 \text{ MPa}$
<i>Dolní charakteristická</i>	$f_{ctk 0,05} = 2,2 \text{ Mpa}$
Modul pružnosti (tečný)	$E_{cm} = 34 \text{ Gpa}$
Modul pružnosti (sečný)	$E_c = 35,7 \text{ GPa}$
Pevnost v tlaku t=7dní	
	$f_{ck}(t) = f_{cm}(t) - 8 \text{ Mpa} \quad f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) * f_{cm}$
	$\beta_{cc}(t) = e^{s \cdot (1 - \sqrt{\frac{28}{t}})} = 0,819$
	$f_{cm}(7) = 0,819 * 43 = 35,205 \text{ MPa}$
	$f_{ck}(7) = 35,205 - 8 = 27,205 \text{ MPa}$
Střední pevnost v tahu t=7dní	
	$f_{ctm}(7) = \beta_{cc}(t)^\alpha * f_{ctm} \quad \alpha = 1 (t < 28 \text{ dní})$
	$f_{ctm}(7) = 0,819^1 * 3,2 = 2,620 \text{ Mpa}$

3.2 Kabely z lan

Tabulka 2 - Předpínací výztuž

Charakteristická pevnost v tahu	$f_{pk} = 1860 \text{ Mpa}$
Smluvní mez kluzu	$f_{p0,1k} = 0,88f_{pk} = 1636,8 \text{ Mpa}$
Návrhové napětí	$f_{pd} = \frac{f_{p0,1k}}{\gamma} = \frac{1636,8}{1,15} = 1423,304 \text{ Mpa}$
Modul pružnosti	$E_p = 195,0 \text{ GPa}$

3.3 Betonářská výztuž

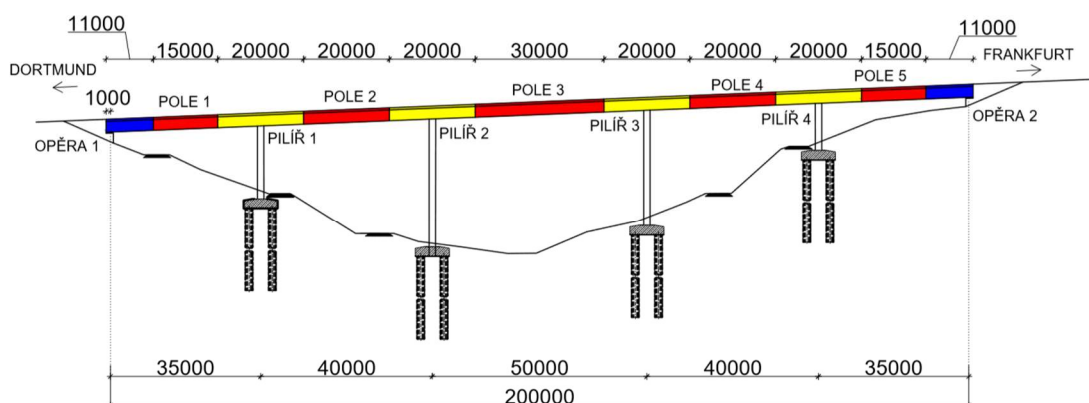
Tabulka 3 - Betonářská výztuž

Třída	$B500B$
Pevnost v tahu	$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma} = \frac{500}{1,15} = 434,783 \text{ Mpa}$
Modul pružnosti	$E_s = 200 \text{ Gpa}$

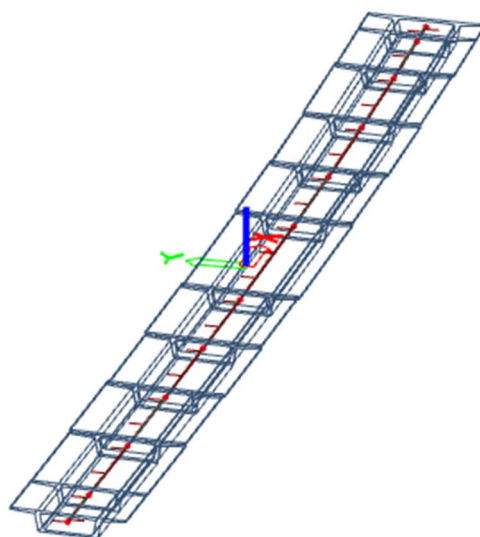
4 Průřezy

Pro výpočet průřezových charakteristik a zatížení vlastní tíhou musím zvolit průřezy, ze kterých budu vycházet. Předpokládám, že v dalších krocích může dojít k jejich optimalizaci a úpravě.

Průřezy jsem nejdříve narýsoval pomocí programu Autocad a naimportoval je přes editor obecného průřezu do programu Scia, ze které získám průřezové charakteristiky. Nastavovat budu pouze geometrické parametry, abych získal parametry W (průřezový modul), A (plocha) a I (moment setrvačnosti). V této fázi se nebudu zabývat změnou příčné sklonu a sklon v mých příčných řezech je třeba brát pouze jako ilustrativní. Do modelu použiji skutečný půdorys ale nulový podélný sklon.



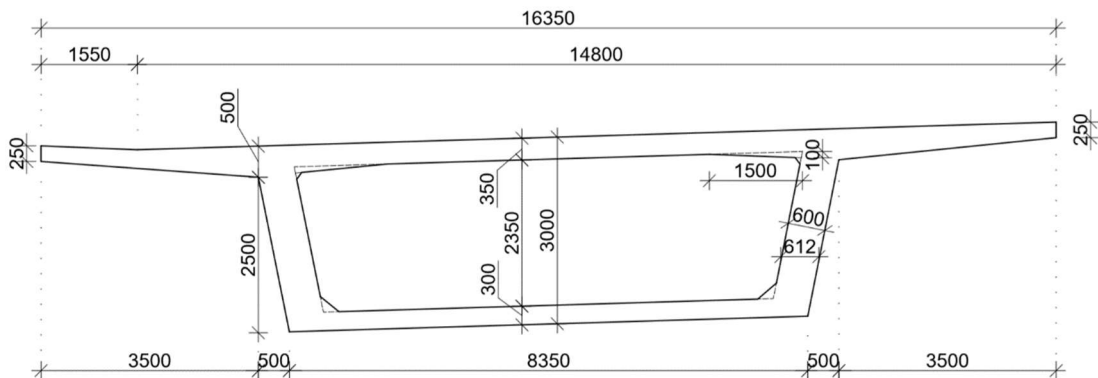
Obrázek 24 - Rozložení průřezů po délce



Obrázek 25 - 3D Model Scia

4.1 Plný betonový průřez

4.1.1 Průřez v poli



Obrázek 26 - Příčný řez 1 v poli

Průřez

Vlastnost	
A [m ²]	1,1372e+01
Ay [m ²]	8,0217e+00
Az [m ²]	3,8380e+00
AL [m ² /m]	3,7327e+01
AD [m ² /m]	5,7086e+01
cVUSS [mm]	24
cZUSS [mm]	1898
IYLSS [m ⁴]	1,4698e+01
IZLSS [m ⁴]	1,9149e+02
IYZLSS [m ⁴]	2,9656e-01
α [deg]	0,10
Iy [m ⁴]	1,4697e+01
Iz [m ⁴]	1,9149e+02
iy [mm]	1137
iz [mm]	4103
Wely [m ³]	7,7737e+00
Welz [m ³]	2,3283e+01
Wply [m ³]	0,0000e+00
Wplz [m ³]	0,0000e+00
Mply+ [Nm]	0,00e+00
Mply- [Nm]	0,00e+00
Mplz+ [Nm]	0,00e+00
Mplz- [Nm]	0,00e+00
dy [mm]	-60
dz [mm]	-439
It [m ⁴]	3,4415e+01
Iw [m ⁶]	6,0316e+01
β y [mm]	5323
β z [mm]	96

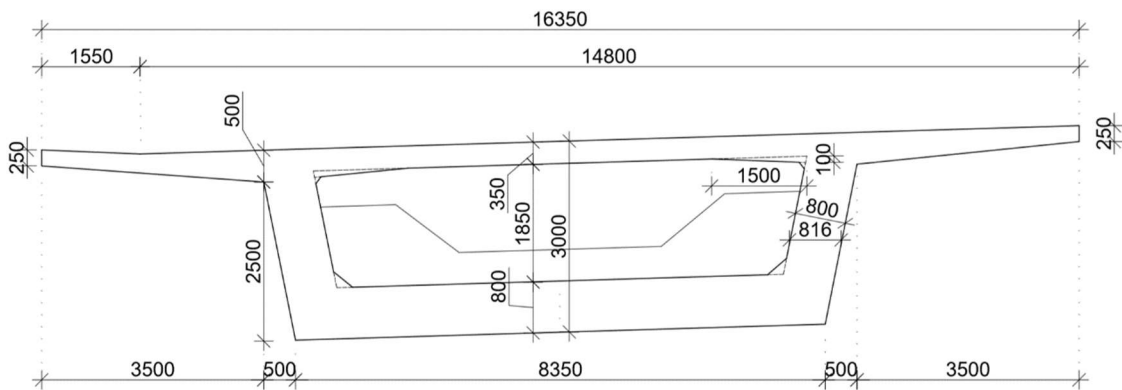
Export Aktualizovat Dokument

OK Storno

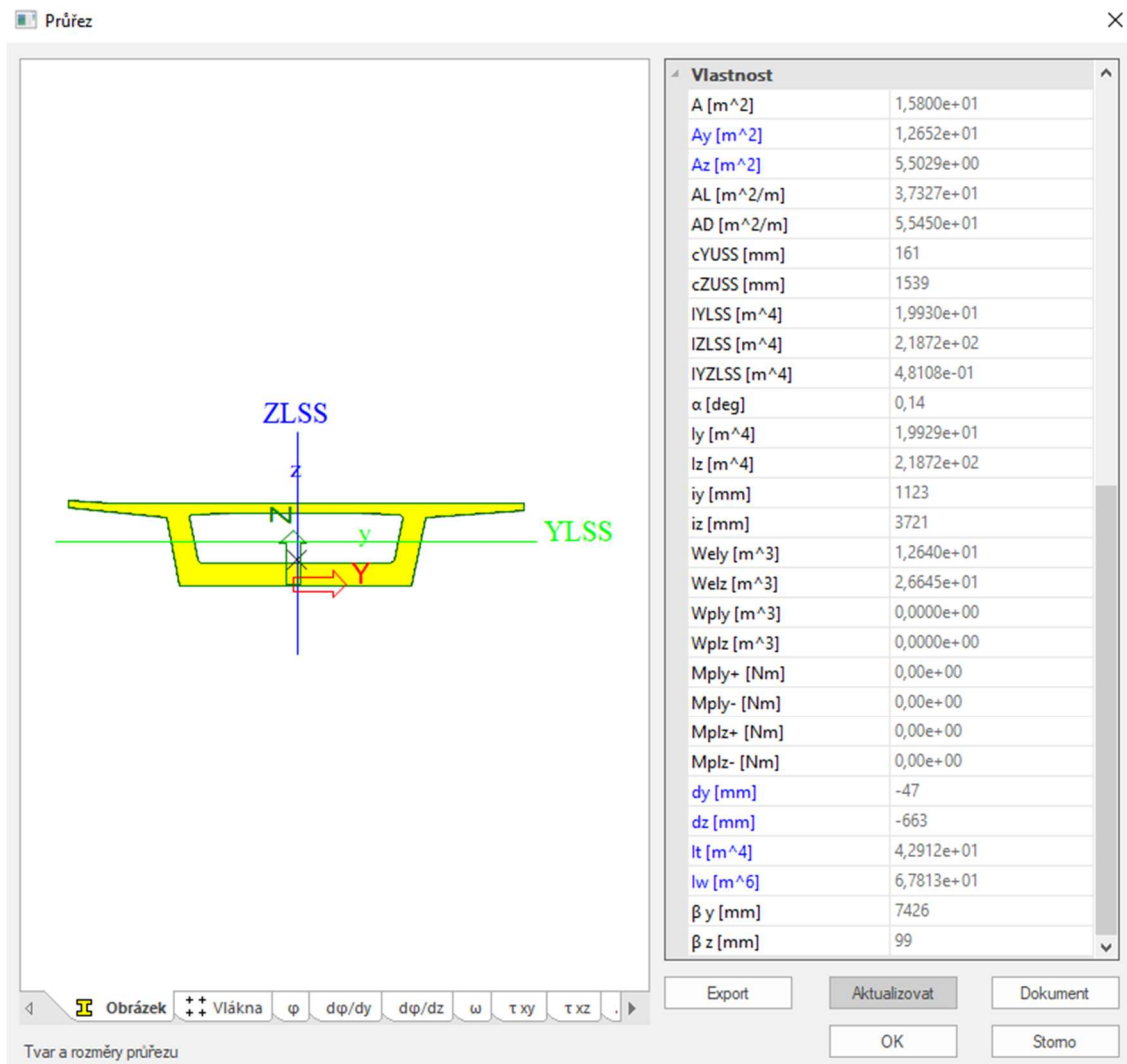
Tvar a rozměry průřezu

Obrázek 27 - Scia, příčný řez 1 v poli

4.1.2 Průřez nad pilířem

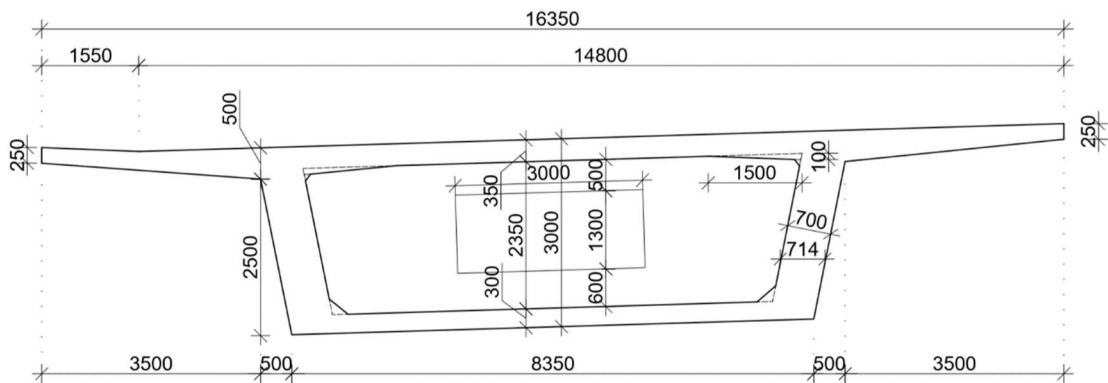


Obrázek 28 - Příčný řez 1 nad pilířem

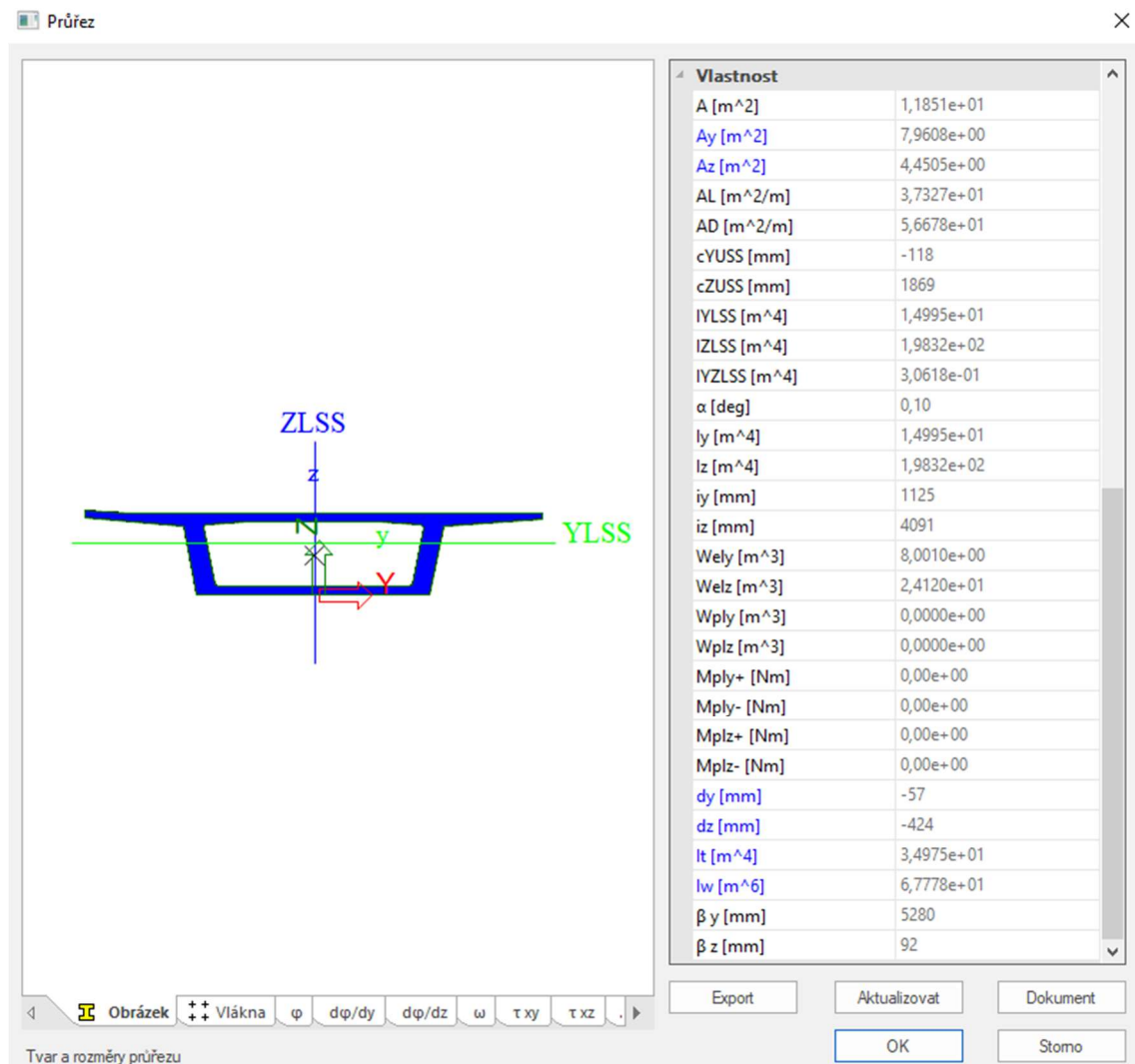


Obrázek 29 - Scia, příčný řez 1 nad pilířem

4.1.3 Průřez nad opěrou



Obrázek 30 - Příčný řez 1 nad opěrou



Obrázek 31 - Scia, příčný řez 1 nad opěrou

4.2 Redukovaný průřez

Pro účely výpočtu budeme počítat, že nulové momenty budou vzdáleny $0,15 l_0$ od podpor a umístíme přibližně do těchto míst i pracovní spáru.

Spolupůsobící šířka

$$b_{eff} = \Sigma b_{eff,i} + b_w \leq b \quad (1)$$

$$b_{eff,i} = 0,2b_i + 0,1l_0 \leq 0,2l_0 \quad (2)$$

4.2.1 Průřez nad opěrou

Horní deska

Horní deska - vnější konzola

$$b_{eff,1} = 0,2 * 3,5 + 0,1 * (0,85 * 35,0) = 3,675 \text{ m}$$

$$b_{eff,1} = 3,675 \text{ m} \leq 0,2l_0 = 5,95 \text{ m}$$

$$b_{eff,1} = 3,675 \text{ m} > b_1 = 3,500 \text{ m}$$

$$b_{eff,1} = 3,500 \text{ m}$$

Horní deska – mezi stěnami

$$b_{eff,2} = 0,2 * 3,990 + 0,1 * (0,85 * 35,0) = 3,773 \text{ m}$$

$$b_{eff,2} = 3,773 \text{ m} \leq 0,2l_0 = 0,2 * (0,85 * 35,0) = 5,95 \text{ m}$$

$$b_{eff,2} = 3,773 \text{ m} < b_2 = 3,990 \text{ m}$$

$$b_{eff,2} = 3,773 \text{ m}$$

Horní deska celkem

$$b_w = 0,714 \text{ m}$$

$$b_{eff} = 2 * 3,500 + 2 * 0,714 + 2 * 3,773 = \mathbf{15,974 \text{ m}}$$

Dolní deska

Dolní deska – mezi stěnami

$$b_{eff,1} = 0,2 * 3,461 + 0,1 * (0,85 * 35,0) = 3,667 \text{ m}$$

$$b_{eff,1} = 3,667 \text{ m} \leq 0,2l_0 = 0,2 * (0,85 * 35,0) = 5,95 \text{ m}$$

$$b_{eff,1} = 3,667 \text{ m} > b_2 = 3,461 \text{ m}$$

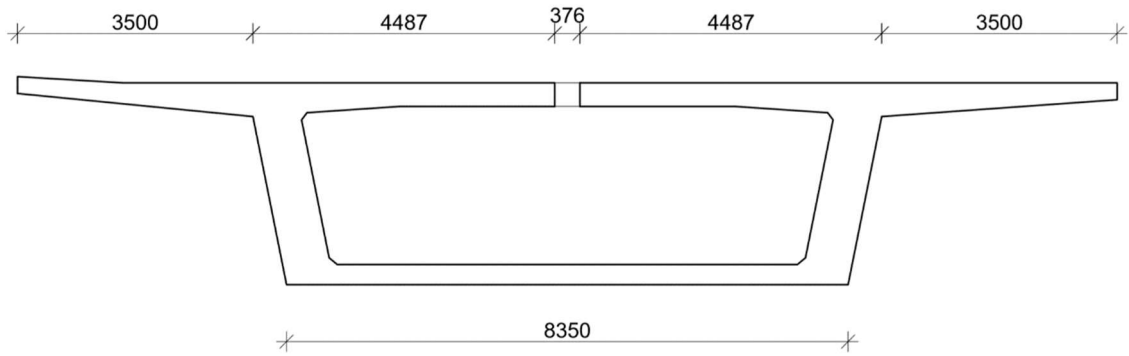
$$b_{eff,1} = 3,461 \text{ m}$$

Dolní deska celkem

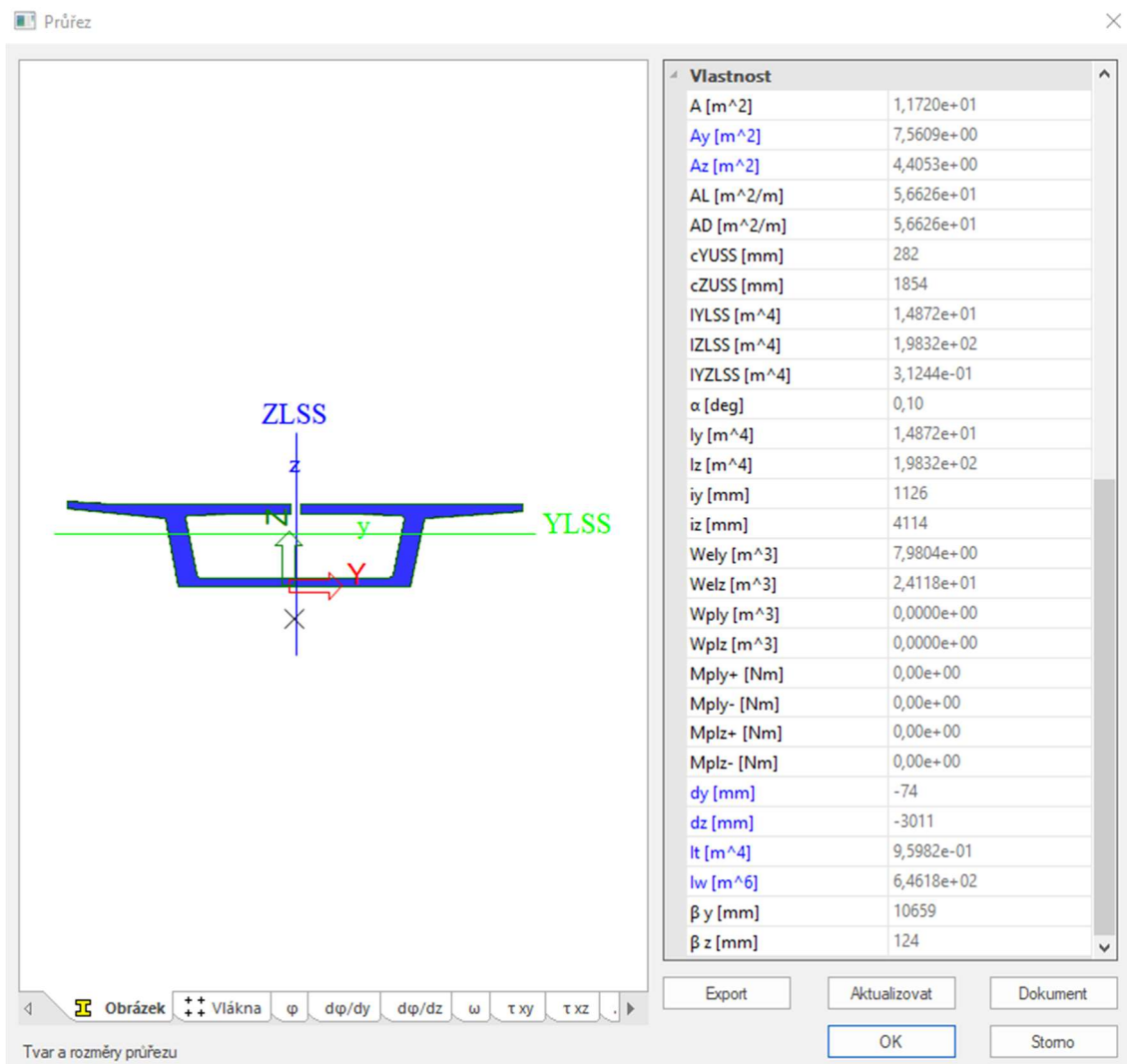
$$b_w = 0,714 \text{ m}$$

$$b_{eff} = 2 * 0,714 + 2 * 3,461 = \mathbf{8,350 \text{ m}}$$

V průřezu nad opěrou je třeba redukovat šířku horní desky.



Obrázek 32 - Příčný řez nad opěrou 1 redukováný



Obrázek 33 - Příčný řez nad opěrou 1 redukováný, Scia

4.2.2 Průřez v poli 1

Horní deska

Horní deska - vnější konzola

$$b_{eff,1} = 0,2 * 3,5 + 0,1 * (0,85 * 35,0) = 3,675 \text{ m}$$

$$b_{eff,1} = 3,675 \text{ m} \leq 0,2l_0 = 0,2 * (0,85 * 35,0) = 5,95 \text{ m}$$

$$b_{eff,1} = 3,675 \text{ m} > b_1 = 3,500 \text{ m}$$

$$b_{eff,1} = 3,500 \text{ m}$$

Horní deska – mezi stěnami

$$b_{eff,2} = 0,2 * 4,093 + 0,1 * (0,85 * 35,0) = 3,794 \text{ m}$$

$$b_{eff,2} = 3,794 \text{ m} \leq 0,2l_0 = 0,2 * (0,85 * 35,0) = 5,95 \text{ m}$$

$$b_{eff,2} = 3,794 \text{ m} < b_2 = 3,990 \text{ m}$$

$$b_{eff,2} = 3,794 \text{ m}$$

Horní deska celkem

$$b_w = 0,612 \text{ m}$$

$$b_{eff} = 2 * 3,500 + 2 * 0,612 + 2 * 3,794 = \mathbf{15,812 \text{ m}}$$

Dolní deska

Dolní deska – mezi stěnami

$$b_{eff,1} = 0,2 * 3,563 + 0,1 * (0,85 * 35,0) = 3,688 \text{ m}$$

$$b_{eff,1} = 3,688 \text{ m} \leq 0,2l_0 = 0,2 * (0,85 * 35,0) = 5,95 \text{ m}$$

$$b_{eff,1} = 3,688 \text{ m} > b_2 = 3,563 \text{ m}$$

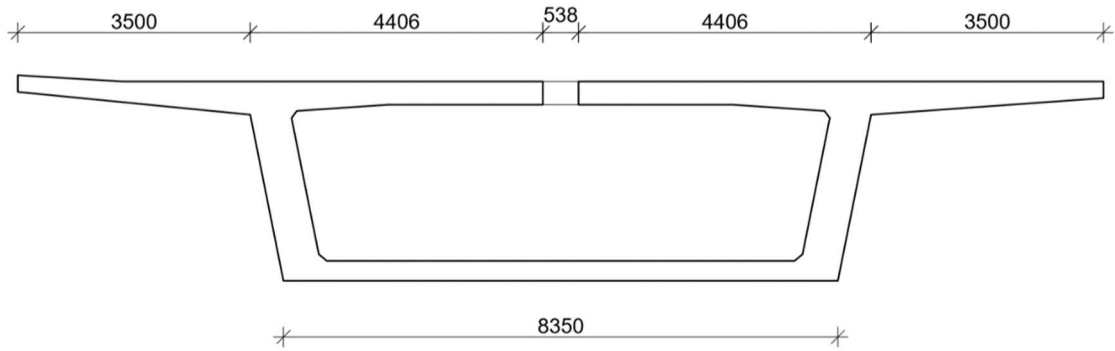
$$b_{eff,1} = 3,563 \text{ m}$$

Dolní deska celkem

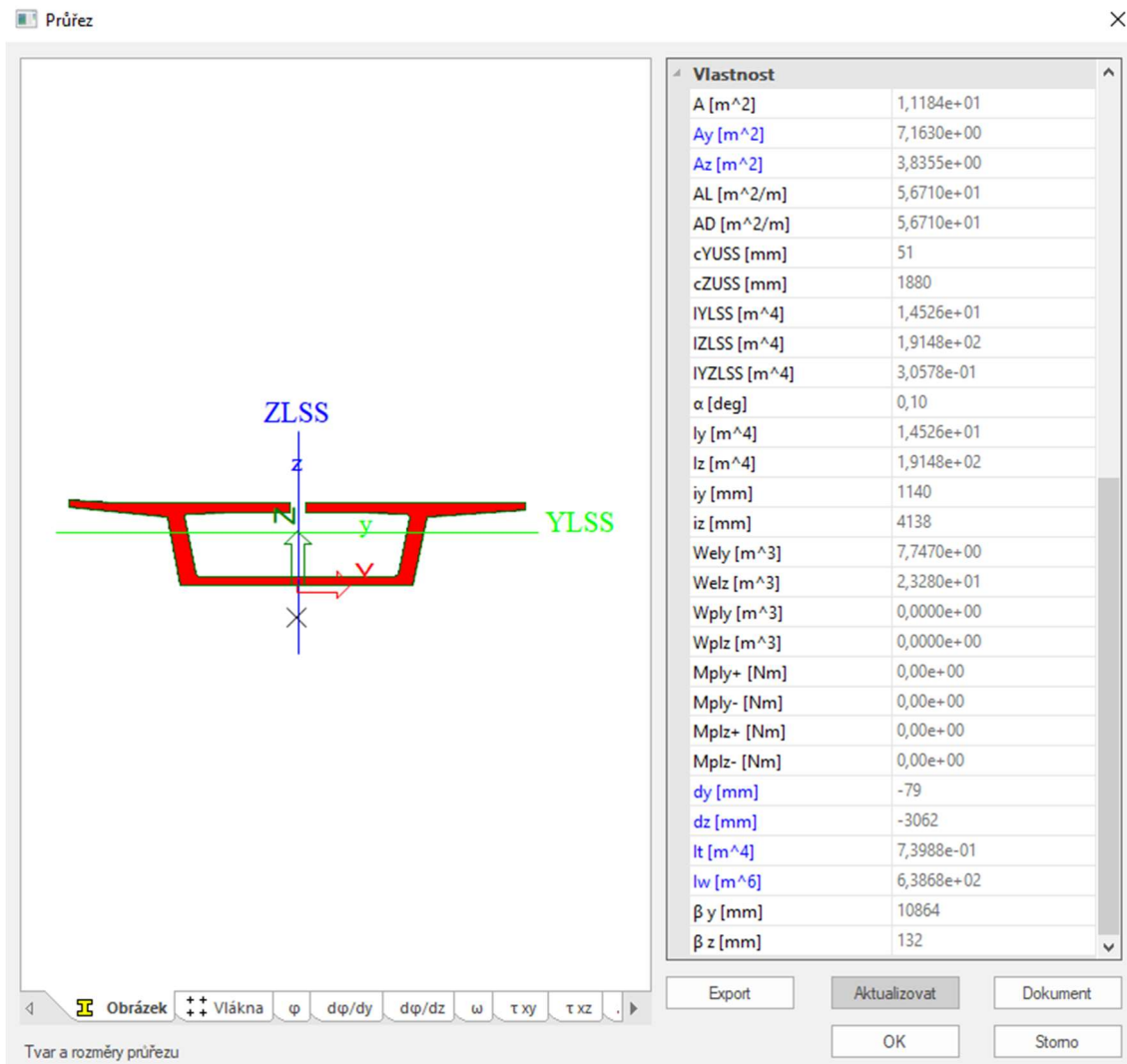
$$b_w = 0,612 \text{ m}$$

$$b_{eff} = 2 * 0,612 + 2 * 3,563 = \mathbf{8,350 \text{ m}}$$

V průřezu v poli 1 je třeba redukovat šířku horní desky.



Obrázek 34 - Příčný řez v poli 1 redukovaný



Obrázek 35 - Příčný řez v poli 1 redukovaný, Scia

4.2.3 Průřez nad pilířem 1

Horní deska

Horní deska - vnější konzola

$$b_{eff,1} = 0,2 * 3,5 + 0,1 * (0,15 * 35,0 + 0,15 * 40,0) = 1,825 \text{ m}$$

$$b_{eff,1} = 1,825 \text{ m} \leq 0,2l_0 = 0,2 * (0,15 * 35,0 + 0,15 * 40,0) = 2,25 \text{ m}$$

$$b_{eff,1} = 1,825 \text{ m} < b_1 = 3,500 \text{ m}$$

$$b_{eff,1} = 1,825 \text{ m}$$

Horní deska – mezi stěnami

$$b_{eff,2} = 0,2 * 3,889 + 0,1 * (0,15 * 35,0 + 0,15 * 40,0) = 1,903 \text{ m}$$

$$b_{eff,2} = 1,903 \text{ m} \leq 0,2l_0 = 0,2 * (0,15 * 40,0 + 0,15 * 35,0) = 2,25 \text{ m}$$

$$b_{eff,2} = 1,903 \text{ m} < b_2 = 3,889 \text{ m}$$

$$b_{eff,2} = 1,903 \text{ m}$$

Horní deska celkem

$$b_w = 0,816 \text{ m}$$

$$b_{eff} = 2 * 1,825 + 2 * 0,816 + 2 * 1,903 = \mathbf{9,088 \text{ m}}$$

Dolní deska

Dolní deska – mezi stěnami

$$b_{eff,1} = 0,2 * 3,359 + 0,1 * (0,15 * 35,0 + 0,15 * 40,0) = 1,797 \text{ m}$$

$$b_{eff,1} = 1,797 \text{ m} \leq 0,2l_0 = 0,2 * (0,15 * 35,0 + 0,15 * 40,0) = 2,25 \text{ m}$$

$$b_{eff,1} = 1,797 \text{ m} > b_2 = 3,520 \text{ m}$$

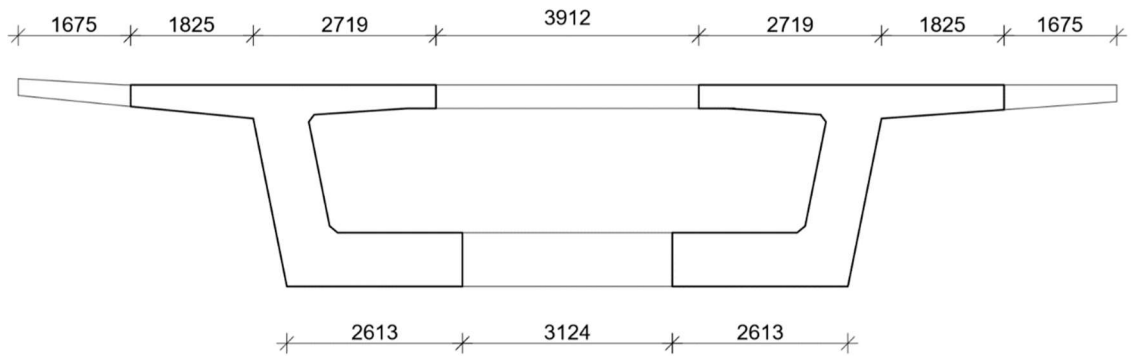
$$b_{eff,1} = 1,797 \text{ m}$$

Dolní deska celkem

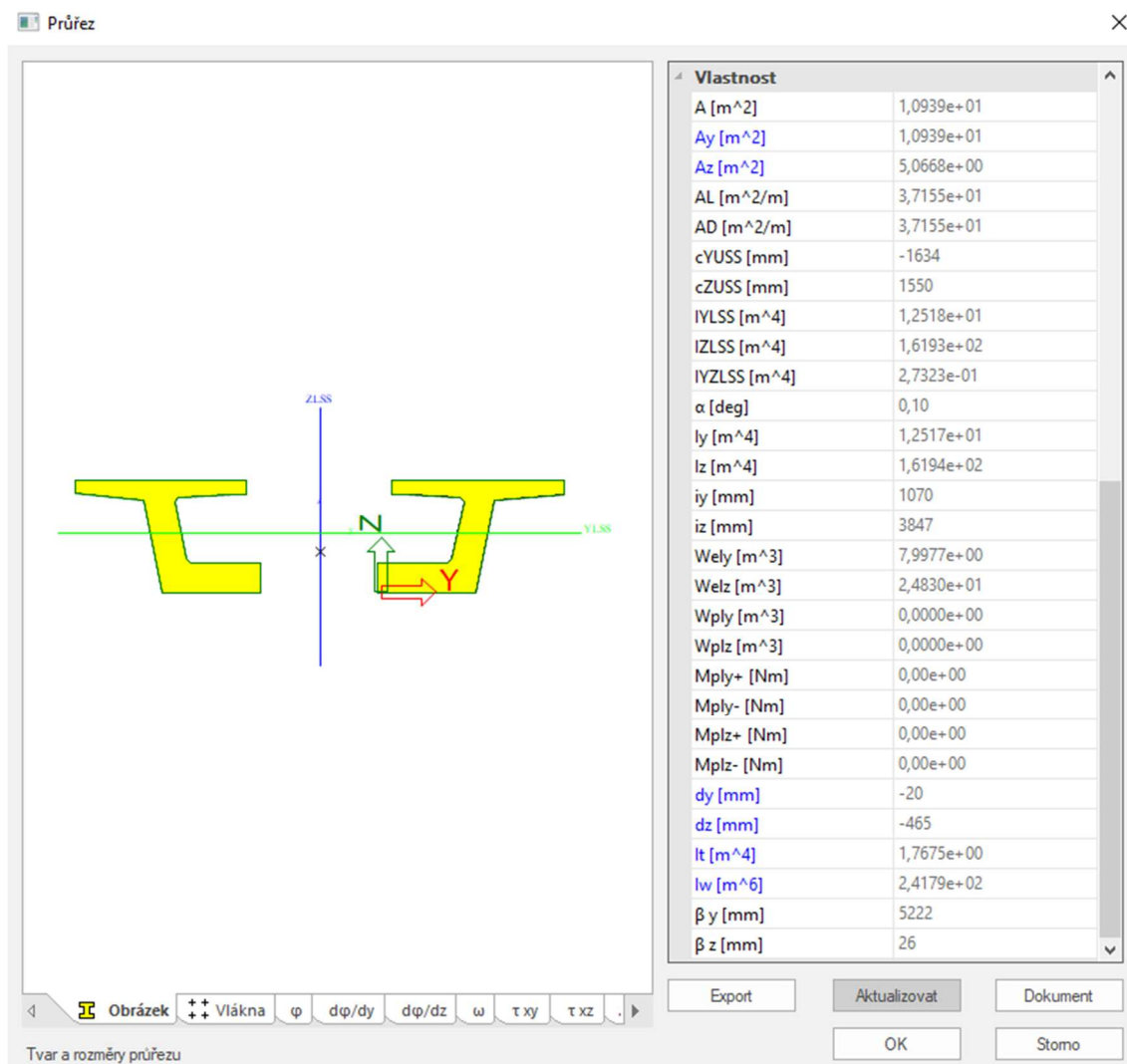
$$b_w = 0,816 \text{ m}$$

$$b_{eff} = 2 * 0,816 + 2 * 1,797 = \mathbf{5,226 \text{ m}}$$

V průřezu v poli 1 je třeba redukovat šířku horní i dolní desky.



Obrázek 36 - Příčný řez nad pilířem 1 redukováný



Obrázek 37 - Příčný řez nad pilířem 1 redukováný, Scia

4.2.4 Průřez v poli 2

Horní deska

Horní deska - vnější konzola

$$b_{eff,1} = 0,2 * 3,5 + 0,1 * (0,70 * 40,0) = 3,500 \text{ m}$$

$$b_{eff,1} = 3,500 \text{ m} \leq 0,2l_0 = 0,2 * 0,70 * 40,0 = 5,6 \text{ m}$$

$$b_{eff,1} = 3,500 \text{ m} = b_1 = 3,500 \text{ m}$$

$$b_{eff,1} = 3,500 \text{ m}$$

Horní deska – mezi stěnami

$$b_{eff,2} = 0,2 * 4,093 + 0,1 * (0,70 * 40,0) = 3,619 \text{ m}$$

$$b_{eff,2} = 3,619 \text{ m} \leq 0,2l_0 = 0,2 * (0,70 * 40,0) = 5,60 \text{ m}$$

$$b_{eff,2} = 3,619 \text{ m} < b_2 = 4,093 \text{ m}$$

$$b_{eff,2} = 3,619 \text{ m}$$

Horní deska celkem

$$b_w = 0,612 \text{ m}$$

$$b_{eff} = 2 * 3,500 + 2 * 0,612 + 2 * 3,619 = \mathbf{15,462 \text{ m}}$$

Dolní deska

Dolní deska – mezi stěnami

$$b_{eff,1} = 0,2 * 3,563 + 0,1 * (0,70 * 40,0) = 3,525 \text{ m}$$

$$b_{eff,1} = 3,525 \text{ m} \leq 0,2l_0 = 0,2 * (0,70 * 40,0) = 5,60 \text{ m}$$

$$b_{eff,1} = 3,525 \text{ m} < b_2 = 3,563 \text{ m}$$

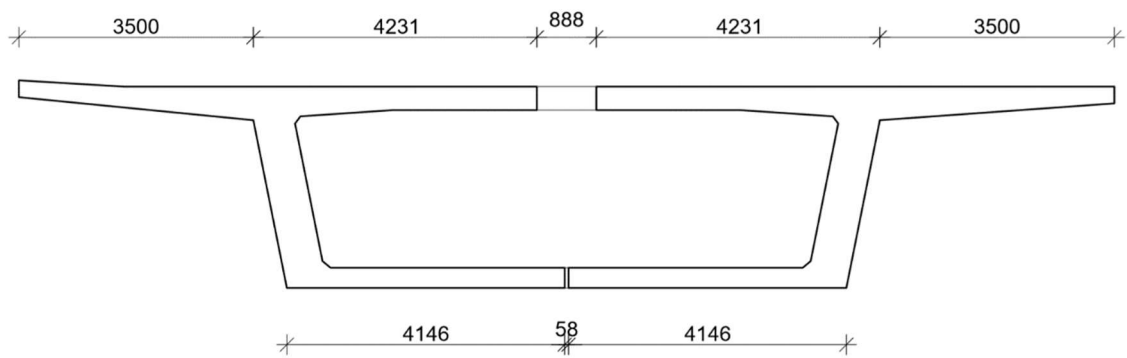
$$b_{eff,1} = 3,525 \text{ m}$$

Dolní deska celkem

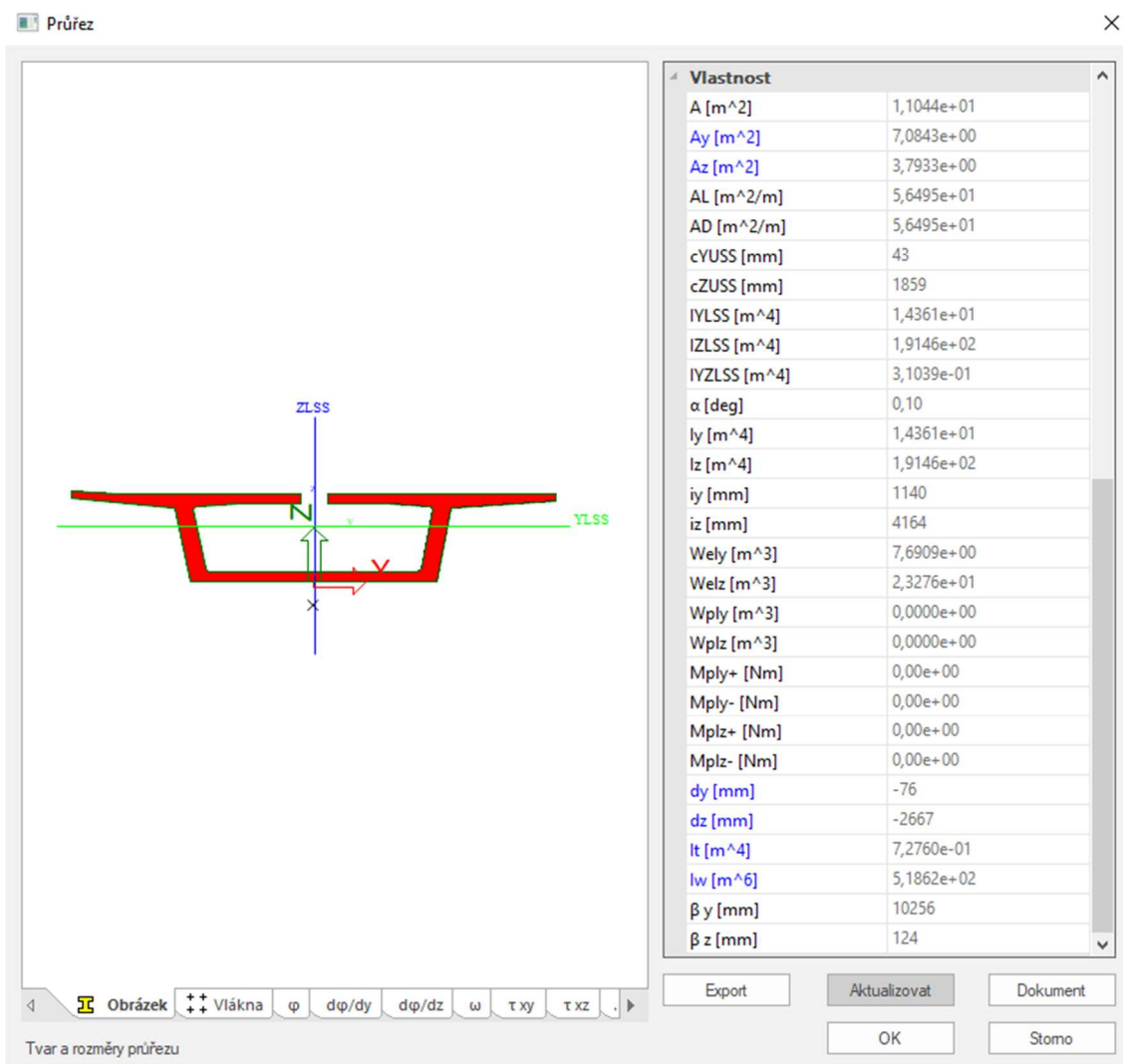
$$b_w = 0,612 \text{ m}$$

$$b_{eff} = 2 * 0,612 + 2 * 3,525 = \mathbf{8,292 \text{ m}}$$

V průřezu v poli 1 je třeba redukovat šířku horní i dolní desky.



Obrázek 38 - Příčný řez v poli 2 redukovaný



Obrázek 39 - Příčný řez v poli 2 redukovaný, Scia

4.2.5 Průřez nad pilířem 2

Horní deska

Horní deska - vnější konzola

$$b_{eff,1} = 0,2 * 3,5 + 0,1 * (0,15 * 50,0 + 0,15 * 40,0) = 2,050 \text{ m}$$

$$b_{eff,1} = 2,050 \text{ m} \leq 0,2l_0 = 0,2 * (0,15 * 50,0 + 0,15 * 40,0) = 2,70 \text{ m}$$

$$b_{eff,1} = 2,050 \text{ m} < b_1 = 3,500 \text{ m}$$

$$b_{eff,1} = 2,050 \text{ m}$$

Horní deska – mezi stěnami

$$b_{eff,2} = 0,2 * 3,889 + 0,1 * (0,15 * 50,0 + 0,15 * 40,0) = 2,128 \text{ m}$$

$$b_{eff,2} = 2,128 \text{ m} \leq 0,2l_0 = 0,2 * (0,15 * 50,0 + 0,15 * 40,0) = 2,70 \text{ m}$$

$$b_{eff,2} = 2,128 \text{ m} < b_2 = 3,889 \text{ m}$$

$$b_{eff,2} = 2,128 \text{ m}$$

Horní deska celkem

$$b_w = 0,816 \text{ m}$$

$$b_{eff} = 2 * 2,050 + 2 * 0,816 + 2 * 2,128 = \mathbf{9,988 \text{ m}}$$

Dolní deska

Dolní deska – mezi stěnami

$$b_{eff,1} = 0,2 * 3,359 + 0,1 * (0,15 * 50,0 + 0,15 * 40,0) = 2,022 \text{ m}$$

$$b_{eff,1} = 2,022 \text{ m} \leq 0,2l_0 = 0,2 * (0,15 * 50,0 + 0,15 * 40,0) = 2,70 \text{ m}$$

$$b_{eff,1} = 2,022 \text{ m} > b_2 = 3,359 \text{ m}$$

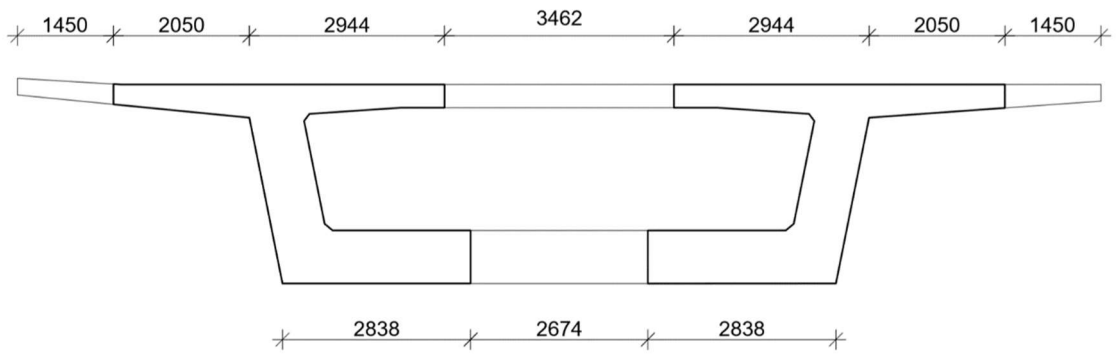
$$b_{eff,1} = 2,022 \text{ m}$$

Dolní deska celkem

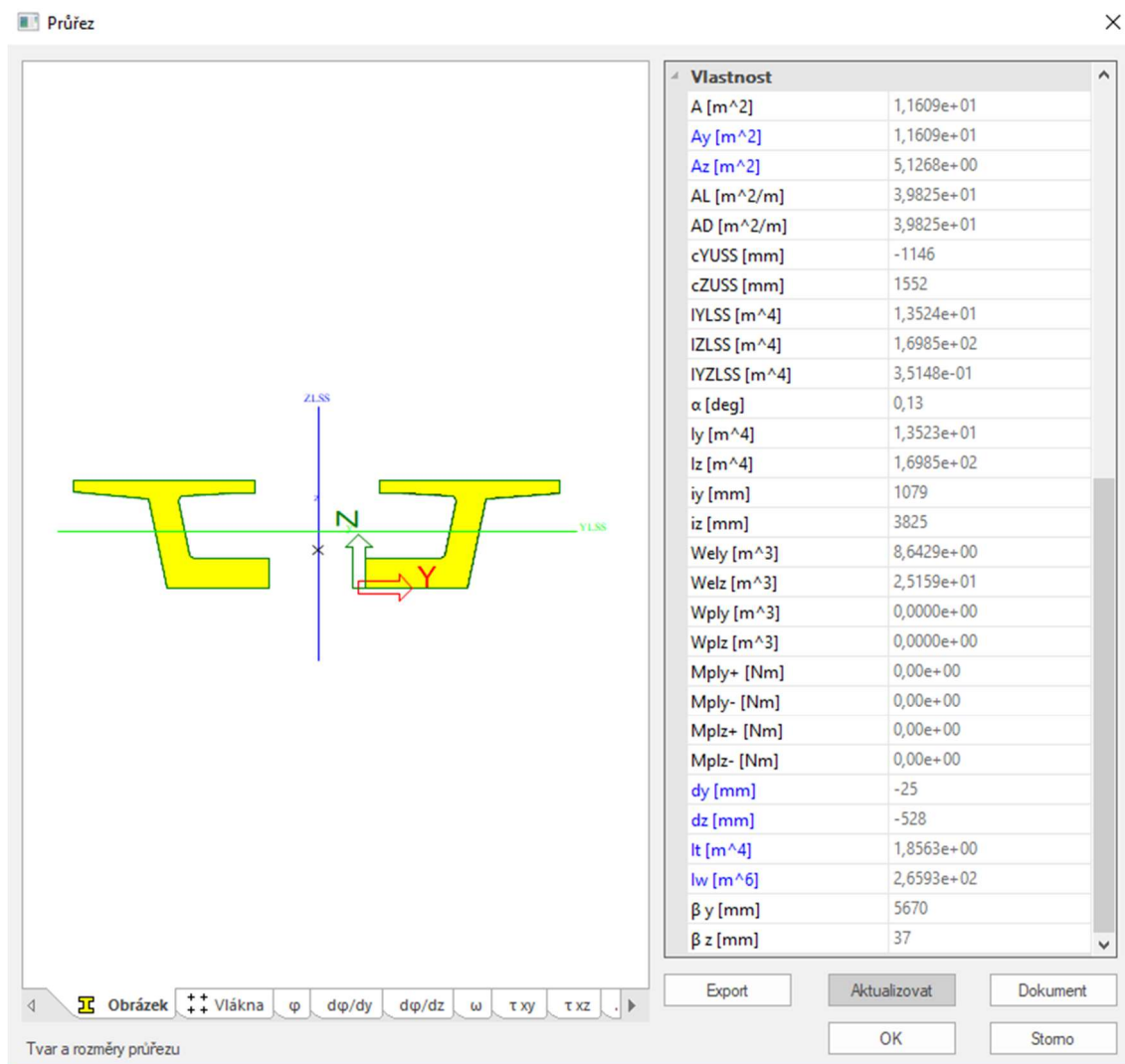
$$b_w = 0,816 \text{ m}$$

$$b_{eff} = 2 * 0,816 + 2 * 2,022 = \mathbf{5,676 \text{ m}}$$

V průřezu v poli 1 je třeba redukovat šířku horní i dolní desky.



Obrázek 40 - Příčný řez nad pilířem 2 redukováný



Obrázek 41 - Příčný řez nad pilířem 2 redukováný, Scia

4.2.6 Průřez v poli 3

Horní deska

Horní deska - vnější konzola

$$b_{eff,1} = 0,2 * 3,5 + 0,1 * (0,70 * 50,0) = 4,200 \text{ m}$$

$$b_{eff,1} = 4,200 \text{ m} \leq 0,2l_0 = 0,2 * 0,70 * 50,0 = 7,0 \text{ m}$$

$$b_{eff,1} = 4,200 \text{ m} > b_1 = 3,500 \text{ m}$$

$$b_{eff,1} = 3,500 \text{ m}$$

Horní deska – mezi stěnami

$$b_{eff,2} = 0,2 * 4,063 + 0,1 * (0,70 * 50,0) = 4,319 \text{ m}$$

$$b_{eff,2} = 4,319 \text{ m} \leq 0,2l_0 = 0,2 * (0,70 * 50,0) = 7,0 \text{ m}$$

$$b_{eff,2} = 4,319 \text{ m} > b_2 = 4,063 \text{ m}$$

$$b_{eff,2} = 4,063 \text{ m}$$

Horní deska celkem

$$b_w = 0,612 \text{ m}$$

$$b_{eff} = 2 * 3,500 + 2 * 0,612 + 2 * 4,063 = \mathbf{16, 350 \text{ m}}$$

Dolní deska

Dolní deska – mezi stěnami

$$b_{eff,1} = 0,2 * 3,563 + 0,1 * (0,70 * 50,0) = 4,213 \text{ m}$$

$$b_{eff,1} = 4,213 \text{ m} \leq 0,2l_0 = 0,2 * (0,70 * 50,0) = 7,0 \text{ m}$$

$$b_{eff,1} = 4,213 \text{ m} > b_2 = 3,563 \text{ m}$$

$$b_{eff,1} = 3,563 \text{ m}$$

Dolní deska celkem

$$b_w = 0,612 \text{ m}$$

$$b_{eff} = 2 * 0,612 + 2 * 3,563 = \mathbf{8, 350 \text{ m}}$$

Průřez v poli 3 není třeba redukovat.

4.3 Přehled průřezových charakteristik

$$W^h = \frac{I_y}{e_h} \quad (3)$$

$$W^d = \frac{I_y}{e_d} \quad (4)$$

Tabulka 4 - Přehled průřezových charakteristik 1

Průřez	Plný průřez					
	A [m ²]	I _y [m ⁴]	e _d [m]	e _h [m]	W ^h [m ³]	W ^d [m ⁴]
Nad opěrou 1	11,851	14,995	1,869	1,131	13,258	8,023
V poli 1	11,372	14,697	1,898	1,102	13,337	7,743
Nad pilířem 1	15,800	19,929	1,539	1,461	13,641	12,949
V poli 2	11,372	14,697	1,898	1,102	13,337	7,743
Nad pilířem 2	15,800	19,929	1,539	1,461	13,641	12,949
V poli 3	11,372	14,697	1,898	1,102	13,337	7,743

Průřez	Redukovaný průřez					
	A [m ²]	I _y [m ⁴]	e _d [m]	e _h [m]	W ^h [m ³]	W ^d [m ⁴]
Nad opěrou 1	11,720	14,872	1,854	1,146	12,977	8,022
V poli 1	11,184	14,526	1,880	1,120	12,970	7,727
Nad pilířem 1	10,939	12,517	1,550	1,450	8,632	8,075
V poli 2	11,044	14,361	1,859	1,141	12,586	7,725
Nad pilířem 2	11,609	13,523	1,552	1,448	9,339	8,713
V poli 3	11,372	14,697	1,898	1,102	13,337	7,743

Průřez	Použité veličiny					
	A [m ²]	I _y [m ⁴]	e _d [m]	e _h [m]	W ^h [m ³]	W ^d [m ⁴]
Nad opěrou 1	11,851	14,872	1,854	1,146	12,977	8,022
V poli 1	11,372	14,526	1,880	1,120	12,970	7,727
Nad pilířem 1	15,800	12,517	1,550	1,450	8,632	8,075
V poli 2	11,372	14,361	1,859	1,141	12,586	7,725
Nad pilířem 2	15,800	13,523	1,552	1,448	9,339	8,713
V poli 3	11,372	14,697	1,898	1,102	13,337	7,743

5 Zatížení a vnitřní síly pro odhad předpětí

5.1 Stálé

5.1.1 Vlastní tíha

Objemová tíha

$$G_0 = 24 + 1 = 25 \text{ KN/m}^3$$

V poli

$$G_{01} = 25 * 11,372 = 284,300 \text{ KN/m}$$

Nad pilířem

$$G_{02} = 25 * 15,800 = 395,000 \text{ KN/m}$$

Nad krajní opěrou

$$G_{03} = 25 * 11,851 = 296,275 \text{ KN/m}$$

5.1.2 Ostatní stálé

Římsy

$$G_{11} = 25 * (0,476 + 0,293) = 19,225 \text{ KN/m}$$

Vozovkové vrstvy + izolace

$$G_{12} = 25 * 14,500 * (0,080 + 0,005) = 30,813 \text{ KN/m}$$

Svodidlo + zábradlí (odhad)

$$G_{13} = 2 \text{ KN/m}$$

Celkem (G – G₀) střední hodnota

$$(G - G_0) = 52,038 \text{ KN/m}$$

Celkem (G – G₀)_{K, sup} horní charakteristická hodnota

$$(G - G_0)_{K, \text{sup}} = 19,225 + 2 + (30,813) * 1,4 = 64,3632 \text{ KN/m}$$

Celkem (G – G₀)_{K, inf} dolní charakteristická hodnota

$$(G - G_0)_{K, \text{inf}} = 19,225 + 2 + (30,813) * 0,8 = 45,875 \text{ KN/m}$$

5.2 Proměnné

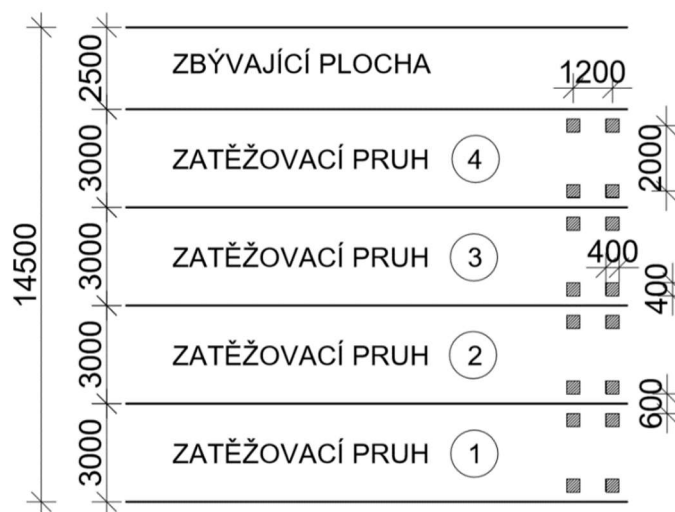
Z proměnných zatížení zatím budu uvažovat pouze zatížení dopravou LM1, jelikož bude mít z proměnných největší vliv na konstrukci. Zatížení je rozděleno na spojité pro každý pruh a lokální síly uvažované jako dvounápravu. Kontaktní plocha je uvažována jako čtverce o straně 0,4 m v podélném směru vzdálené osově 1,2 m a v příčném 2,0 m.

5.2.1 Zatížení dopravou LM1

Tabulka 5 - Zatížení dopravou - LM1 [14]

šířka vozovky w	počet zatěžovacích pruhů	šířka zatěžovacího pruhu w_i	šířka zbývající plochy
$w < 5,4 \text{ m}$	$n_i = 1$	3 m	$w - 3 \text{ m}$
$5,4 \text{ m} \leq w < 6 \text{ m}$	$n_i = 2$	$w/2$	0
$6 \text{ m} \leq w$	$n_i = \text{Int}(w/3)$	3 m	$w - 3 \times n_i$

Šířka vozovky v mém případě je 14,5 m a počet zatěžovacích pruhů bude tím pádem 4, zbývající plocha bude mít šířku 2,5 m.



Obrázek 42 - Schéma zatěžovacích pruhů

Tabulka 6 - Hodnoty zatížení [14]

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

Tabulka 7 - Součinitele zatížení [3]

Skupina pozemních komunikací	α_{q1}	α_{q2}	α_{q3}	α_{q1}	α_{q2}	α_{qi} ($i > 2$) a α_{qr}
1	1,0	1,0	1,0	1,0	2,4	1,2
2	0,8	0,8	0,8	0,5	1,6	1,6

Rovnoměrné zatížení:

$$q_k = 9,0 \cdot 3,0 \cdot 1,0 + 2,5 \cdot 3 \cdot 2,4 + 2,5 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 1,2 + 2,5 \cdot 2,5 \cdot 1,2 = 70,5 \text{ KN/m}$$

Soustředěné zatížení na nápravu:

$$Q_k = 300 + 200 + 100 = 600 \text{ KN}$$

S ohledem na délku konstrukce můžeme dvojnápravu nahradit jednou silou a to:

$$Q_{k,dvojnápr} = 2 \cdot 600 = 1200 \text{ KN}$$

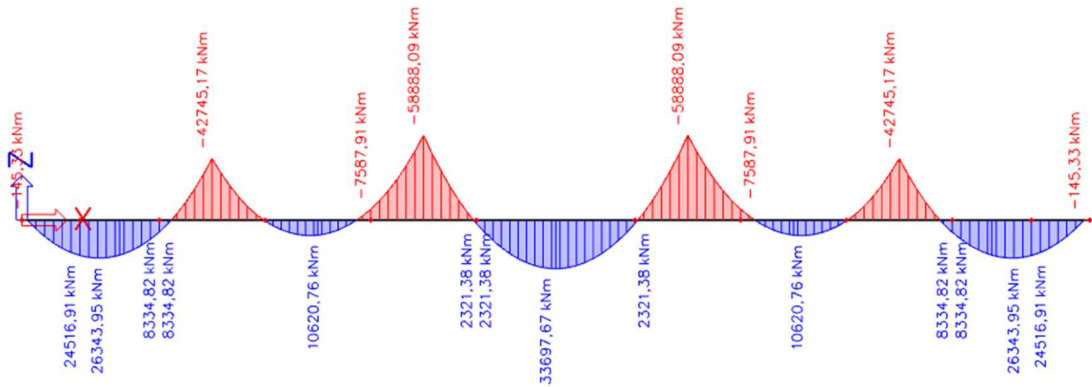
5.3 Zatížení pro návrh předpětí

Předpětí budu předběžně navrhovat na výše vypočítané charakteristické hodnoty stálého zatížení a na hodnotu proměnného rovnoměrného zatížení a celé odlehčím o 30 KN/m.

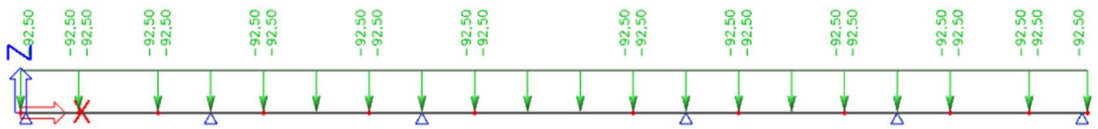
$$(g + q)_{pole} = 284,3 + 52,0 + 70,5 - 30,0 = 284,3 + 92,5 = 376,8 \text{ KN/m}$$

$$(g + q)_{nad\ pilířem} = 395,0 + 52,0 + 70,5 - 30,0 = 395,0 + 92,5 = 487,5 \text{ KN/m}$$

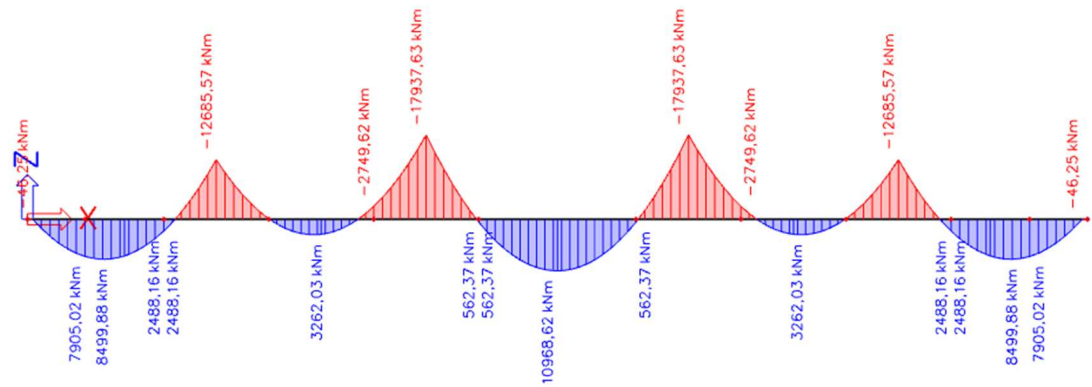
$$(g + q)_{nad\ opěrou} = 296,3 + 52,0 + 70,5 - 30,0 = 296,3 + 92,5 = 388,8 \text{ KN/m}$$



Obrázek 43 - M od zatížení vlastní tíhou 1



Obrázek 44 - Zatížení pro návrh předpětí



Obrázek 45 - M od zatížení pro návrh předpětí

6 Návrh předpětí

6.1 Úvod

V tuto chvíli znám zatížení, na které mohou nadimenzovat předpínací výztuž. Nejprve ale zjistím maximální excentricitu pro kabely (ideální kabel). Kabel v tuto chvíli uvažuji z 22 lan a průměr lana 15,7 mm ($A = 150 \text{ mm}^2$). Obrázek 46 je třeba brát opět pouze jen jako ilustrativní, neboť se z něj dá vyčíst poloha ideálního kabelu se zohledněním polohy těžiště redukovaného průřezu a to pro zatím blíže nespecifikovaný počet lan, k jehož dopočítání obrázek slouží především.

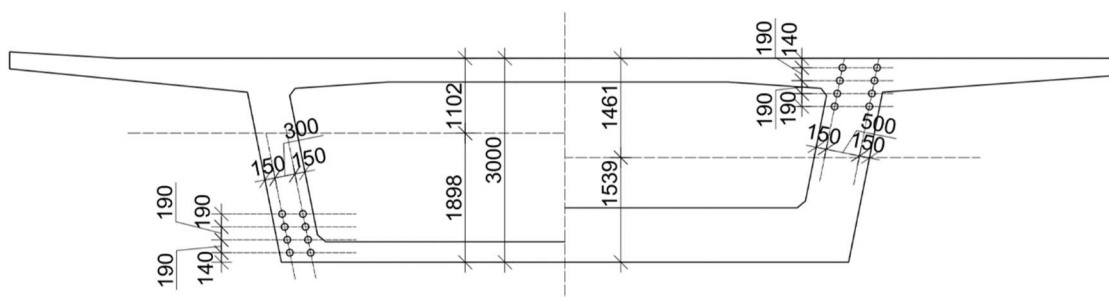
Tabulka 8 - Umístění a vlastnosti kanálků a kotev [14]

Vzdálenost kanálků	Počet lan v kanálku			
	12	15	19	22
svisle	80	90	90	100
vodorovně	80	90	90	100

Vzdálenost kotev	Počet lan v kanálku			
	12	15	19	22
A - vzd mezi kanálky/mm	410	460	520	550
B - vzd od okraje /mm	205	230	260	275

Přehled				
počet lan	12	15	19	22
průměr kanálku	80	90	90	100
min krytí	90	90	90	90

Lana			
průměr /mm	15,2	15,5	15,7
plocha/mm ²	140	141,5	150



Obrázek 46 - Příčný řez - předpínací kabely

6.2 Metoda vyrovnání napětí

Zde vycházím z rovnice 5 a snažím se eliminovat tahová napětí.

$$\sigma = -\frac{N_p}{A_c} - \frac{N_p * e_p}{W} + \frac{|M|}{W} \leq 0,0 \text{ MPa} \quad (5)$$

Tabulka 9 - Návrh počtu kabelů

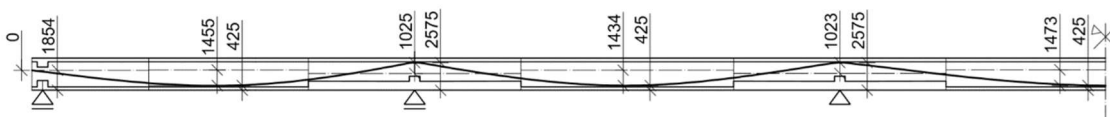
Průřez	A_c/m^2	$M_{v\text{třha}}/MNm$	$M_{\text{ostatní spojitá}}/MNm$	M_{celkem}/MNm	W^b/m^3	W^d/m^3	e_g/m	e_s/m	návrh e/m
v poli 1	11,372	26,344	8,500	34,844	12,970	7,727	1,880	1,120	1,455
nad pilířem 1	15,800	-42,745	-12,686	-55,431	8,632	8,075	1,550	1,450	1,025
v poli 2	11,372	10,621	3,262	13,883	12,586	7,725	1,859	1,141	1,434
nad pilířem 2	15,800	-58,888	-17,938	-76,826	9,339	8,713	1,552	1,448	1,023
v poli 3	11,372	33,698	10,969	44,667	13,337	7,743	1,898	1,102	1,473

Průřez	návrh N_g/MN	počet kabelů	počet lan v kabelu	plocha lana/ mm^2	$\sigma_{p,max}^*0,75/Mpa$	σ_{MAX}/Mpa	úprava e/m	σ_{MAX}/Mpa
v poli 1	58,331	16	22	150,000	1104,750	-11,604	0,000	-0,620
nad pilířem 1	58,331	16	22	150,000	1105,750	-4,197	0,404	0,000
v poli 2	58,331	16	22	150,000	1106,750	-14,160	0,000	-3,332
nad pilířem 2	58,331	16	22	150,000	1107,750	-1,855	0,726	0,000
v poli 3	58,331	16	22	150,000	1108,750	-10,457	0,085	-0,001

Průřez	$N_{p\text{ nutná}}/MN$	$n_{\text{kabelů}}$
v poli 1	16,32438197	4,478
nad pilířem 1	35,27650542	9,668
v poli 2	6,56934641	1,799
nad pilířem 2	47,59751239	13,021
v poli 3	20,73789648	5,668

V horní polovině tabulky je vyznačena maximální vzdálenost okrajů konstrukce od vodorovné osy v příčném řezu. Ta je v pravém sloupci zmenšena na maximální výstřednost ideálního kabelu zastupujícího 16 lan v řezu.

V tuto chvíli se pokusím ještě o nadimenzování předpětí pomocí metody vyrovnání zatížení. Abych měl porovnání obou metod, ponechám stejné zatížení. První návrh udělám pro maximální excentricity a ve tvaru parabol druhého stupně, které budou plynule přecházet jedna ve druhou. Inflexní body volím co nejbližší u pilíře na obě strany a maximální excentricitu do poloviny pole. U opěry již inflexní bod nebude. Na obrázku 47 jsou znázorněny jednotlivé maximální excentricity v polích a nad podporami. Levá kóta popisuje výstřednost kabelu vůči těžišťové osy a pravá vůči spodnímu povrchu komory.



Obrázek 47 - Návrh vedení kabelů 1

Je třeba dodržet minimální poloměry v parabolách [14]. Ty jsou pro náš případ a při uvážení vnitřního průměru kanálku 100 mm dány vztahem:

$$R \geq 100 * \Phi_i = 100 * 100 = 10 \text{ m} \quad (6)$$

Nyní se pokusím matematicky vyladit napojení parabol. Vrchol volím buď doprostřed pole, nebo přímo nad pilíř. Pro paraboly nad pilířem budu uvažovat poloměr oskulační kružnice 10 m. Z toho vyplývá, že parametr paraboly $p = 10$ m. V tabulce budu měnit parametr pro parabolu v poli a polohu inflexního bodu (žlutě zvýrazněná pole) dokud se mi nebude shodovat poloha inflexního bodu a sklon tečny pro obě paraboly (dokud nebudou mít dvojice oranžových polí tutéž hodnotu).

Tabulka 10 - Výpočet parametrů parabol 1

rovnice paraboly	pole 1		rozdílní souř. vrcholů $x =$ rozdílní souř. vrcholů $y =$ výpočetně $\Delta y =$	pilíř 1	
	$y = 0,008165 x^2$			$y = -0,050000 x^2$	
	levý inflexní bod	pravý inflexní bod	17,500 m	levý inflexní bod	pravý inflexní bod
souř. X	-18,500 m	15,042 m	2,150 m	-2,458 m	m
souř. Y	2,794 m	1,847 m	2,150	-0,302 m	m
směrnice tečny	-0,302	0,246		0,246	

6.3 Metoda vyrovnání zatížení

V tuto chvíli znám polohu inflexního bodu pro paraboly v poli 1 a nad pilířem 1. Vzdálenost inflexního bodu od podpory je 2,458 m. Pro numerický výpočet předpětí budu počítat, že tato hodnota je 2,5 m vždy. Tomu odpovídá změna souřadnice y o přibližně - 0,3 m. Rozdíl skutečné hodnoty s touto hodnotou je dle mého názoru zanedbatelný v tomto stádiu výpočtu. Pro zjištění počtu kabelů a lan budu vycházet z rovnice 7 [10], kde se budu snažit vyrovnat zatížení v poli. Poté dopočítám množství předpínací výztuže.

$$p = H * \frac{8f}{L^2} \quad (7)$$

$$H_{pole1} = \frac{p * L^2}{8f} = \frac{376,8 * (18,5 + 15,0)^2}{8 * [(0 + 0,725) / 2 + 1,455]} = 29,083 \text{ MN}$$

$$H_{pole2} = \frac{p * L^2}{8f} = \frac{376,8 * (40,0 - 2,5 - 2,5)^2}{8 * [(0,752 + 0,725) / 2 + 1,455]} = 26,467 \text{ MN}$$

$$H_{pole} = \frac{p * L^2}{8f} = \frac{376,8 * (50,0 - 2,5 - 2,5)^2}{8 * [(0,752 + 0,725) / 2 + 1,455]} = 43,751 \text{ MN}$$

Pro návrh počtu kabelů budu uvažovat počet lan v kabelu 22 a plochu lana 150 mm² dle tabulky 8.

$$n_{kabelů} = \frac{H}{n_{lan} * S_{lana} * \sigma_{p,max} * 0,75} \quad (8)$$

$$n_{pole1} = \frac{29,083 * 10^6}{22 * 150 * 1104,750} = 7,977$$

$$n_{pole1} = \frac{26,467 * 10^6}{22 * 150 * 1104,750} = 7,260$$

$$n_{pole1} = \frac{43,751 * 10^6}{22 * 150 * 1104,750} = 12,001$$

Návrh provedu pro 12 průběžných lan. Tím že se zmenšil počet kabelů, mohu zvětšit maximální excentricitu v průřezích o 95 mm. V tabulce opět žlutě podbarvená

pole doplňují a optimalizují, aby oranžová pole obsahovala dvojice stejných hodnot a v zeleném poli je teoretický počet kabelů, který odpovídá příslušné výstřednosti e a je snaha, aby vycházel lehce pod 12. V druhém zeleném poli je výsledné spojitě zatížení působící v poli od předpětí. Třetí zelené pole odpovídá spojitěmu zatížení nad pilířem. Souřadný systém je volen lokálně a jako počátek se bere vrchol paraboly. Souřadnice x roste směrem doprava a souřadnice z směrem vzhůru. Vodorovná osa je osa x a svislá y . Tato tabulka je rozšířením a doplněním tabulky 10.

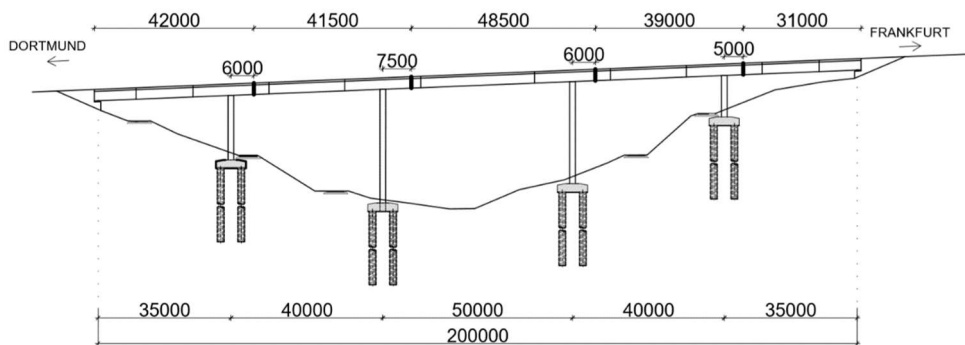
Tabulka 11 - Výpočet parametrů parabol 2

	pole 1					pilíř 1				
	$e_d =$	1,880	$e_{max} =$	1,550		$e_d =$	1,550	$e_{max} =$	1,120	
rovnice paraboly	$y =$	0,005795	x^2	$e =$	0,800	$y =$	-0,050000	x^2	$e =$	1,120
	levý inflexní bod		pravý inflexní bod			levý inflexní bod		pravý inflexní bod		
souř. X		-13,780 m		15,680 m	rozdlil souř vrcholů $x =$	17,500 m		-1,820 m		1,590 m
souř. Y		1,100 m		1,425 m	rozdlil souř vrcholů $y =$	1,590 m		-0,166 m		-0,126 m
směrnice tečny		-0,160		0,182	výpočetně $\Delta y =$	1,590		0,182		-0,159
					$f_{paraboly\ v\ poli} =$	1,242 m				
	H=	32921,598 MN							f=	-0,143 m
	$n_{kabelů} =$	9,030		pole: $p_{12kabelů} =$	500,713 KN/m			$p_{podpora} =$	4315,103 KN/m	
	pilíř 1					pole 2				
	$e_d =$	1,550	$e_{max} =$	1,120		$e_d =$	1,859	$e_{max} =$	1,529	
rovnice paraboly	$y =$	-0,050000	x^2	$e =$	1,103	$y =$	0,004330	x^2	$e =$	0,800
	levý inflexní bod		pravý inflexní bod			levý inflexní bod		pravý inflexní bod		
souř. X		-1,820 m		1,590 m	rozdlil souř vrcholů $x =$	20,000 m		-18,410 m		18,410 m
souř. Y		-0,166 m		-0,126 m	rozdlil souř vrcholů $y =$	1,594 m		1,468 m		1,468 m
směrnice tečny		0,182		-0,159	výpočetně $\Delta y =$	1,594		-0,159		0,159
					$f_{paraboly\ v\ poli} =$	1,468 m				
	H=	43510,393 MN								
	$n_{kabelů} =$	11,935		$p_{12kabelů} =$	378,859 KN/m					
	pole 2					pilíř 2				
	$e_d =$	1,880	$e_{max} =$	1,550		$e_d =$	1,552	$e_{max} =$	1,122	
rovnice paraboly	$y =$	0,004330	x^2	$e =$	0,800	$y =$	-0,050000	x^2	$e =$	1,122
	levý inflexní bod		pravý inflexní bod			levý inflexní bod		pravý inflexní bod		
souř. X		-18,410 m		18,410 m	rozdlil souř vrcholů $x =$	20,000 m		-1,590 m		1,875 m
souř. Y		1,468 m		1,468 m	rozdlil souř vrcholů $y =$	1,594 m		-0,126 m		-0,176 m
směrnice tečny		-0,159		0,159	výpočetně $\Delta y =$	1,594		0,159		-0,187
					$f_{paraboly\ v\ poli} =$	1,468 m				
	H=	43510,393 MN							f=	-0,147 m
	$n_{kabelů} =$	11,935		pole: $p_{12kabelů} =$	378,859 KN/m			$p_{podpora} =$	4286,134 KN/m	
	pilíř 2					pole 3				
	$e_d =$	1,552	$e_{max} =$	1,122		$e_d =$	1,898	$e_{max} =$	1,568	
rovnice paraboly	$y =$	-0,050000	x^2	$e =$	1,122	$y =$	0,004054	x^2	$e =$	1,568
	levý inflexní bod		pravý inflexní bod			levý inflexní bod		pravý inflexní bod		
souř. X		-1,590 m		1,875 m	rozdlil souř vrcholů $x =$	25,000 m		-23,125 m		23,125 m
souř. Y		-0,126 m		-0,176 m	rozdlil souř vrcholů $y =$	2,344 m		2,168 m		2,168 m
směrnice tečny		0,159		-0,187	výpočetně $\Delta y =$	2,344		-0,187		0,187
					$f_{paraboly\ v\ poli} =$	2,168 m				
	H=	46472,620 MN								
	$n_{kabelů} =$	12,747		$p_{12kabelů} =$	354,710 KN/m					

S ohledem na nepraktičnost 3D výpočetního modelu jsem udělal nový 2D model a to přímý. Eliminuji tak v tuto chvíli nežádoucí torzní účinky zatížení a v rámci bakalářské práce považuji výpočetní model i s ohledem na velký poloměr směrového oblouku za vyhovující. Na obrázku 48 je vidět rozmístění pracovních spár, což bude třeba uvažovat pro modelování dílčích stavů při výstavbě. Při výstavbě budu počítat, že následující díl bude pro zjednodušení vždy podpírat bednění, které bude vytvářet reakce přímo nad podporou. Druhá možnost by byla silová reakce na konzole.

S ohledem na možnosti zadání geometrie kabelu, kde se mi nepovedlo importovat graf jinak než pomocí zadání souřadnic bodů, což by s výpočtem výše nebyl problém, rozhodl jsem se zkusit zadat geometrii pomocí systému úseček a kružnic. Takto budu mít přehled nad celkovým vedením kabelů a geometrii si předem vyladím v programu Autocad. Pokusím se, aby úsečky tvořili co nejmenší část, a napojení

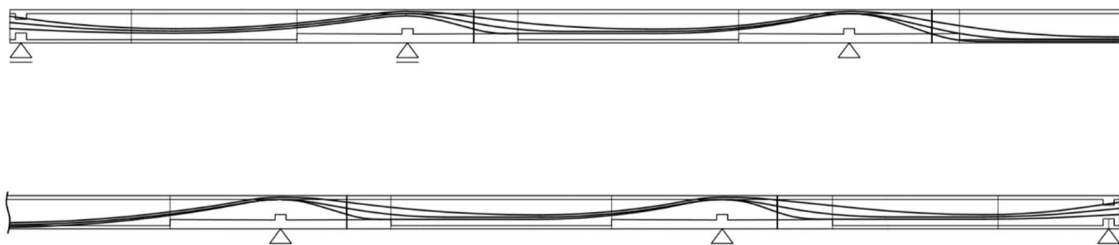
v pracovní spáře provedu mezi oblouky v přímé části kabelu. Excentricity v polích použiji přibližně ty, které my vyšly podle tabulky 11.



Obrázek 48 - Pracovní spáry

Dále budu předpokládat, že průběžný kabel ve spáře bude probíhat jako nejnižší a tedy musí docházet ke křížení kabelů v průřezu. K tomu je třeba stěna komory široká alespoň 850 mm (průřez nad pilířem). Průřezové charakteristiky se ovšem příliš nezmění, proto je ani nepřikládám. V místě kotvení je třeba dodržet předepsané rozestupy os kabelů dle tabulky 8.

V předchozích výpočtech, zejména pak v tabulce 11 jsem udělal chybu v určování maximální výstřednosti kabelu. Bral jsem, že osová vzdálenost je minimálně 190 mm, jenže ona je 200 mm. Maximální výstřednost by se tak v každém průřezu měla snížit o 10 mm. Na dalším obrázku už je vidět schéma geometrie těchto kabelů.



Obrázek 49 - Návrh vedení kabelů 2

7. Výpočet napětí v programu Scia Engineer

7.1 Vstupní data

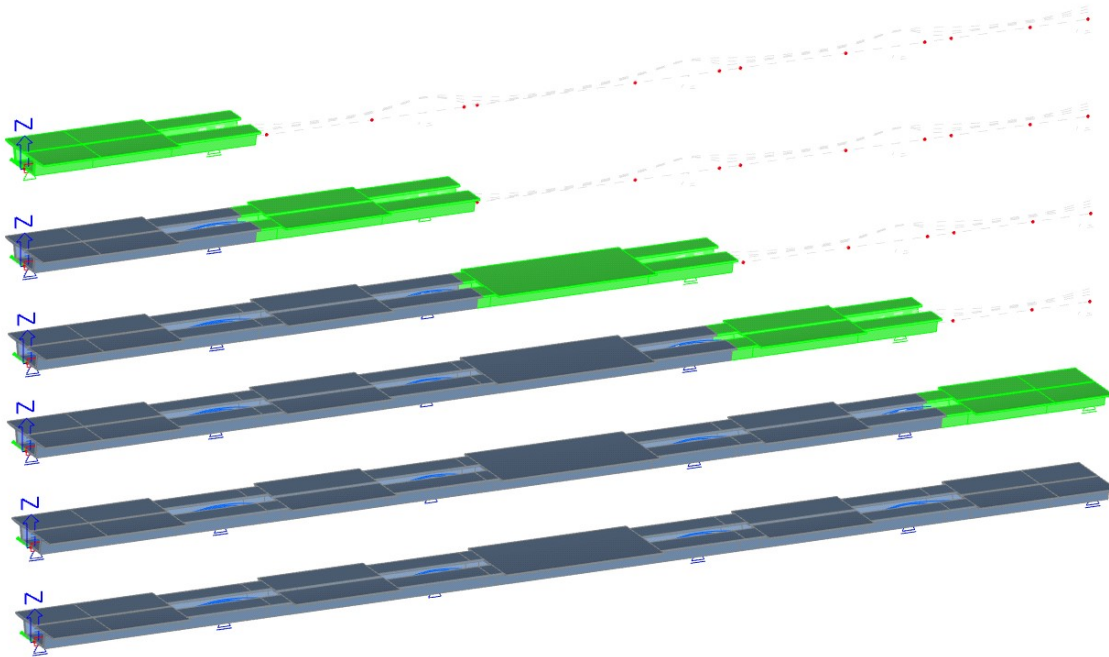
Postupovat budu přibližně podle oficiálního návodu společnosti Scia. V okně Data o projektu jsem nastavil typ konstrukce jako rám XZ a model Fáze výstavby a provozu. Průřezy jsem zadal matematické s průřezovými charakteristikami přesně podle výsledků pro redukovaný průřez kromě plochy, kterou jsem zadával neredukovanou podle tabulky 4. Vytvořil jsem model mostu včetně podpěr a zadal systémovou osu prvku jako spodní. Průřezy nad pilíři jsem zadával jako dva dílce rozdělené v místě pracovní spáry. Podpěra nad první opěrou byla třeba vytvořit jako kloubová a po vybetonování druhého dílce se z ní stane podpora posuvná. Vodorovné síly ve směru osy mostu budou dále přenášeny kloubovou podporou nad druhým pilířem.

Nyní vytvořím pět zatěžovacích stavů typu předpětí a pomocí zdrojové geometrie, nastavení průřezů kabelů, počtů lan v kabelu a dalších parametrů vytvořím model předpětí a kabely přiřadím odpovídajícím dílcům. Předepínat se kabely budou vždy z jednoho konce a to ve směru navazující betonáže (poslední díl u opěry). Jejich zadávání ovšem musí být vůči těžišťové ose, což realitu nepatrně pozmění.

Nyní vytvořím i další zatěžovací stavy typu stálé a to tři pro každou etapu betonáže. První bude Betonáž a skrývá v sobě zatížení vlastní. Druhý stav nese název Předpětí a v této fázi se předepne část kabelů a odbední se. Poslední fáze je Odbednění, což dává možnost případně ještě vnášet později síly jako například zatížení od bednění a podobně mezi čas předpětí posledního dílce a betonáž nového. V praxi tento stav znamená dobu pro přesun bednění a přípravu na betonáž.

Další stavy už budou určeny pro vnesení konkrétních zatížení jako teplota, posun podpor a účinky od ostatního stálého zatížení. S teplotou ovšem nastává problém. Ta neumí být generována na numerický průřez, a proto si její účinky musím zjistit na jiném modelu a na neredukovaném průřezu.

Nyní definuji fáze výstavby a přiřadím jim odpovídající dílce mostu, kabely a fázi betonáže ještě liniové podepření po jednom metru (bednění). Následující schéma je záměrně vytvořeno jinak a to na modelu redukovaného průřezu importovaného z programu Autocad. Zelená barva znázorňuje právě vybetonovanou část, šedá již dříve vybetonovaná část a tečkovaná znázorňuje kabely a části, které se stanou součástí konstrukce až později. Modrá čára, která je vidět v průřezech nad pilíři, graficky značí průběh kabelů.

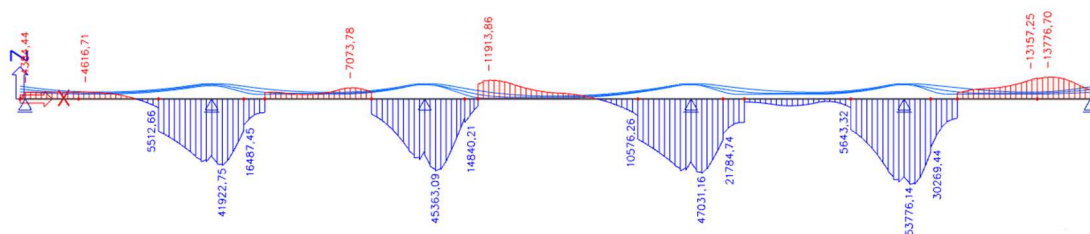


Obrázek 50 - Schéma postupu výstavby, redukované průřezy

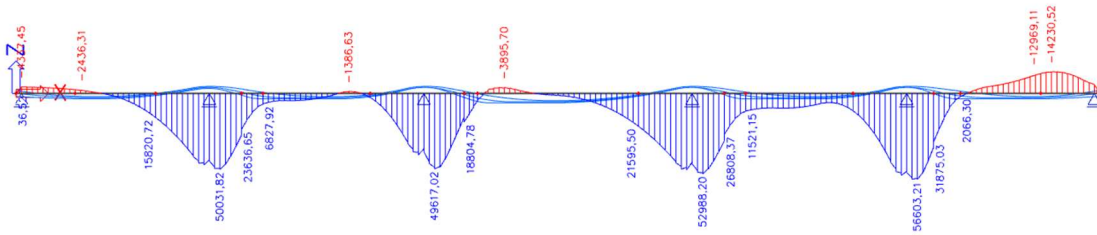
Kombinační součinitele vyplňuji všechny podle normy, nicméně zatím se budu zaměřovat na posouzení MSP. Zatížení od dopravy je navrženo opět dle dříve provedených výpočtů pro LM1 a využil jsem funkci pohyblivé zatížení.

7.2 Zhodnocení

Nyní jsem provedl výpočet a zjistil jsem průběhy vnitřních sil. Pro posouzení jsou ovšem potřeba průběhy napětí. Vnitřní síly od zatížení nerovnoměrným ohřevem konstrukce ovšem budu muset zadávat ručně a stejně tak vliv normálové síly. Pro osobní kontrolu jsem si nechal vykreslit momenty jen od vlastní tíhy a předpětí (bez ostatního stálého) na konstrukci s redukovaným průřezem zadávaným geometrií v porovnání s redukovaným numerickým průřezem, který jsem si pro toto porovnání také připravil.



Obrázek 51 - Moment od vl. tíhy a předpětí, redukovaný grafický průřez



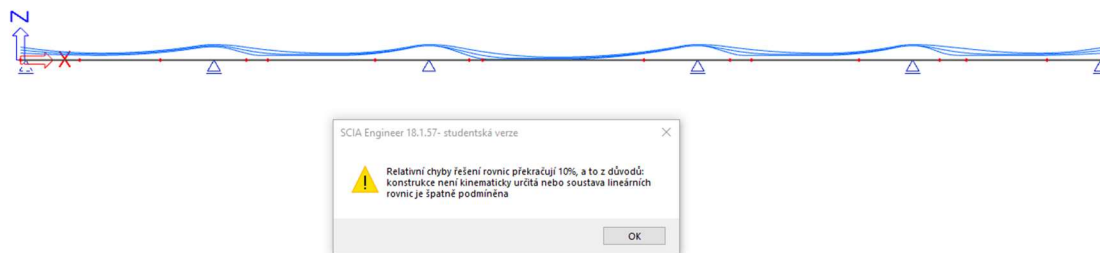
Obrázek 52 - Moment od vl. tíhy a předpětí, redukovaný numerický průřez

Z porovnání těchto grafů je vidět, že zadání průřezu numericky přináší určité chyby výpočtu. První je napojení jednotlivých průřezů. Zatímco při grafickém zadání se slícejí průřezy na horní a spodní straně, tak numericky zadáný průřez vztahuje své vlastnosti k těžišťové ose. To znamená, že graficky zadáný průřez bude mít v napojení odlišných průřezů odskoky v momentu vlivem odlišné souřadnice těžiště, kdežto numericky zadáný průřez bude mít toto napojení v průběhu momentu plynulé. Krom toho numericky zadáný průřez nerespektuje liniovou podporu ve fázi betonáže (bednění) a vznikají na něm průhyby a momenty. Pravděpodobně nejmenší chyba je způsobena tím, že kabely pro numericky zadáný průřez je třeba zadávat vůči těžišťové ose, která ovšem reálně není stále ve stejné úrovni a proto je třeba v některých místech geometrii kabelů lehce upravit.

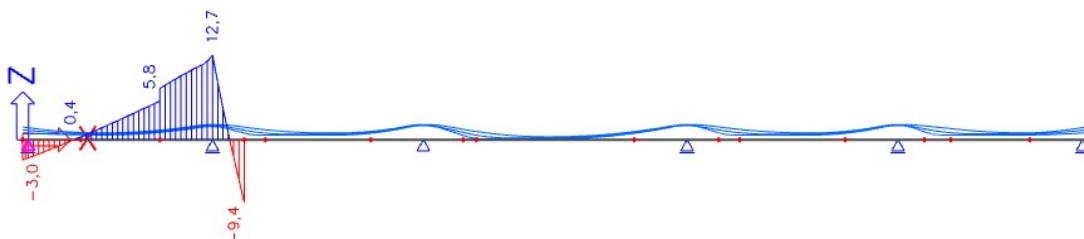
Zdaleka největší problém, který při vyhodnocení průběhu napětí vznikne, je to, že bych musel počítat napětí pomocí MS Excel z vypsání hodnot průběhu momentů, normálových sil, výstřednosti kabelů a průřezových charakteristik. V tom případě jedině k čemu by mi byl výpočet v TDA, je získání obálky průběhu vnitřních sil během betonáže a předpínání a to ještě ne zcela přesný. K plnohodnotnému výpočtu bych tedy potřeboval lepší software, který by umožňoval redukci průřezu, nebo aby Scia uměla lépe pracovat s numericky zadávaným průřezem.

Pokračovat tedy budu na průřezích zadávaných geometricky a zatím budu využívat jak redukovaný, ve kterém se bude objevovat větší normálové napětí, než by mělo, a plný, který neredukuje své průřezové charakteristiky.

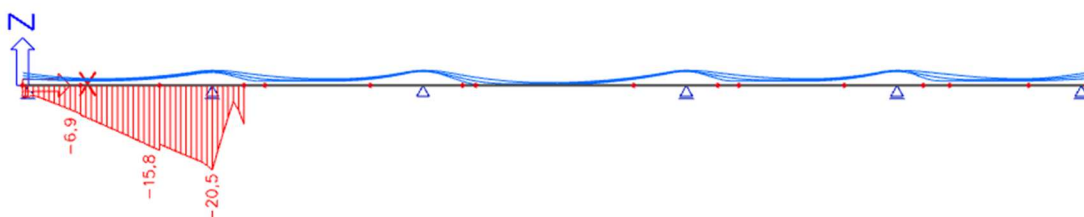
Dalším drobným problémem se ukázala být změna typu podpory. Po zabetonování druhé části mostu by měla být kloubová podpora nad druhým pilířem zleva. V tuto chvíli se mi ovšem toto nastavení nedaří. Při změně typu podpory nad opěrou na začátku fáze betonáže druhé části mostu se mi objeví chybové hlášení. Pokud tuto změnu provedu až po dokončení fáze betonování těsně před předpínáním (2 kloubové podpory najednou), potom se mi na prvním dílu objeví velké momenty a napětí.



Obrázek 53 - Chybové hlášení při změně typu podpory



Obrázek 54 - Nadměrný nárůst napětí na horních vláknech při změně typu podpory



Obrázek 55 - Nadměrný nárůst napětí na spodních vláknech při změně typu podpory

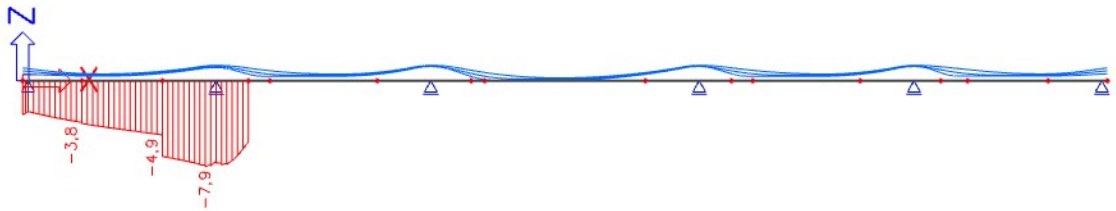
Na dřívějších obrázcích jsem graficky záměrně upravil polohu posuvné podpory, aby byla tam, kde bude ve skutečnosti. Jediné chyby, které se dopouštím při změně polohy kloubové podpory, je to, že jsou nerelevantní vodorovné posuny. To by se v praxi projevilo nutností většího rozsahu pohybu v ložiskách. Tato chyba pro mě v tuto chvíli není rozhodující a je tedy pro mě zanedbatelná. Dále model nechám s jednou kloubovou podpěrou nad levou opěrou, což by se na průběhu momentů a napětí nemělo podepsat.

8 Model 1

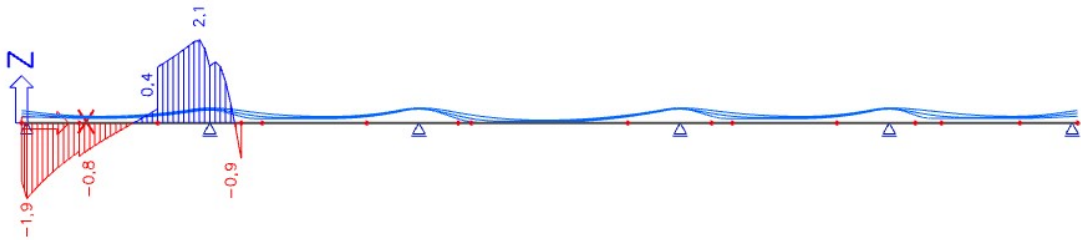
8.1 Průběhy napětí

Těmto modelům odpovídá zadání dle odstavců výše (plný + redukovaný průřez). Pravděpodobně to také nebude konečná verze.

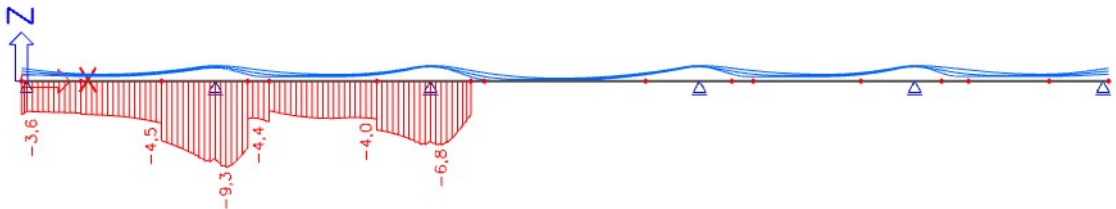
Stavební stádia, redukovaný průřez



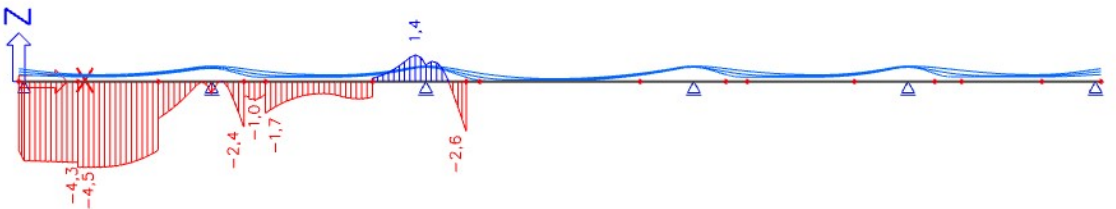
Obrázek 56 – M1, red. průřez, napětí horní vlákna po odbednění I. části



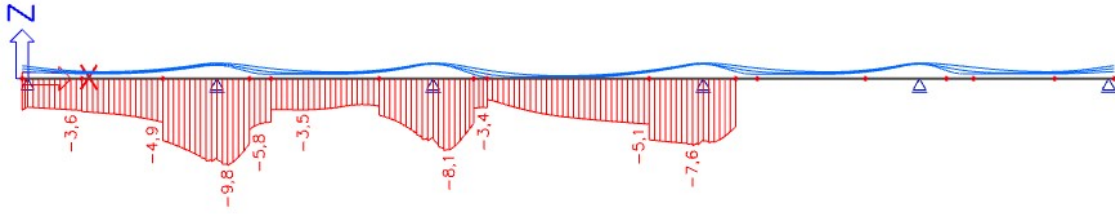
Obrázek 57 - M1, red. průřez, napětí dolní vlákna po odbednění I. části



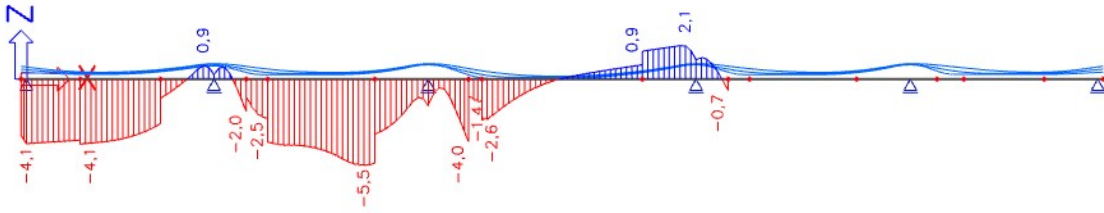
Obrázek 58 - M1, red průřez, napětí horní vlákna po odbednění II. části



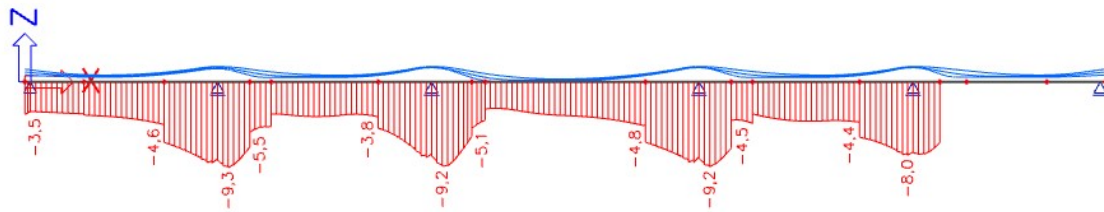
Obrázek 59 - M1 red. průřez, napětí dolní vlákna po odbednění II. části



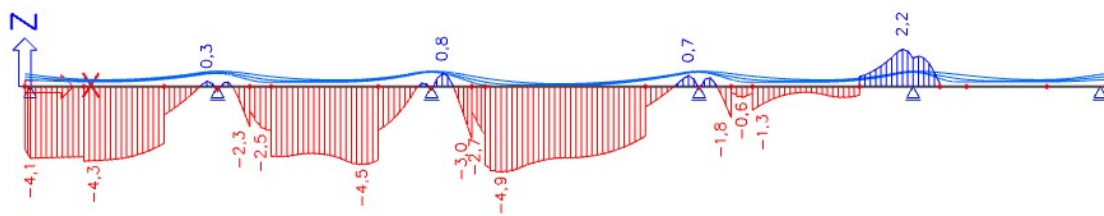
Obrázek 60 - M1, red. průřez, napětí horní vlákna po odbednění III. části



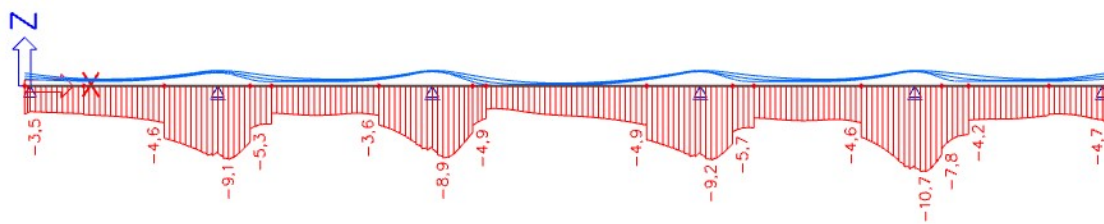
Obrázek 61 - M1, red průřez, napětí dolní vlákna po odbednění III. části



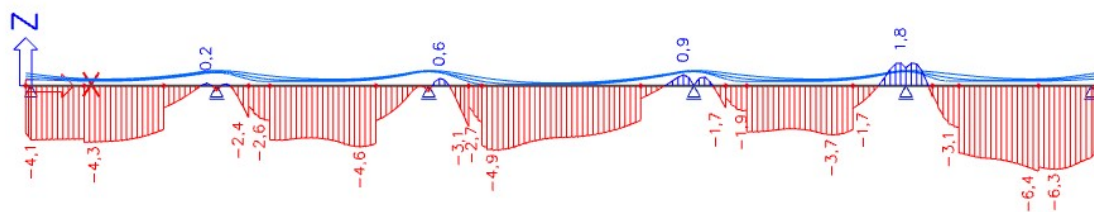
Obrázek 62 - M1, red. průřez, napětí horní vlákna po odbednění IV. části



Obrázek 63 - M1, red. průřez, napětí dolní vlákna po odbednění IV. části

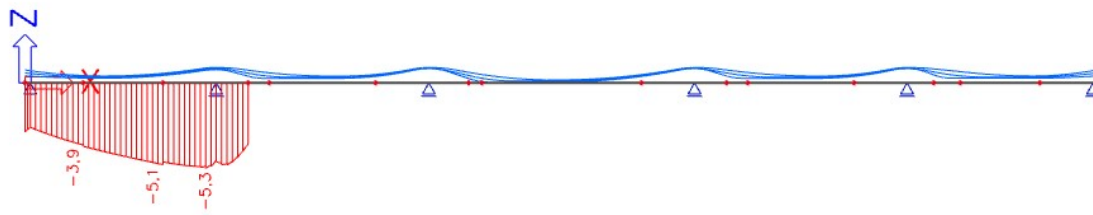


Obrázek 64 - M1, red. průřez, napětí horní vlákna po odbednění V. části

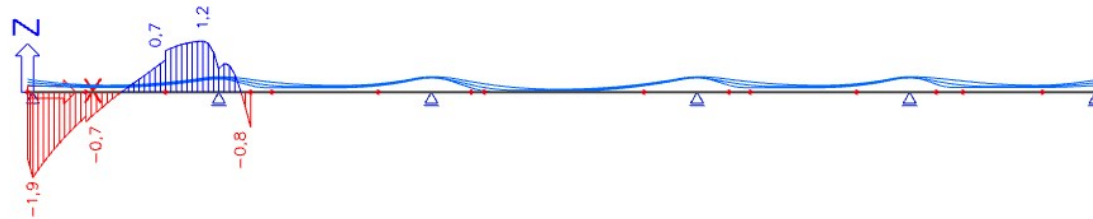


Obrázek 65 - M1, red. průřez, napětí dolní vlákna po odbednění V. části

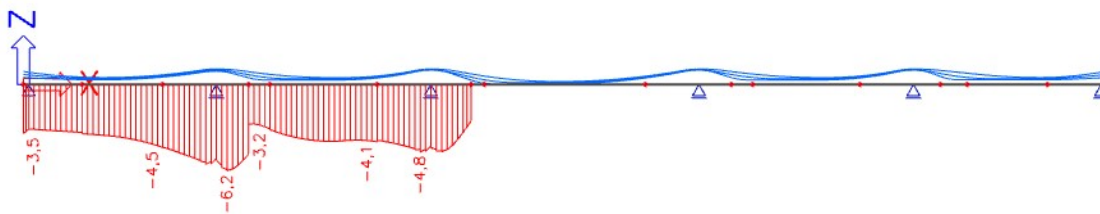
Stavební stádia, plný průřez



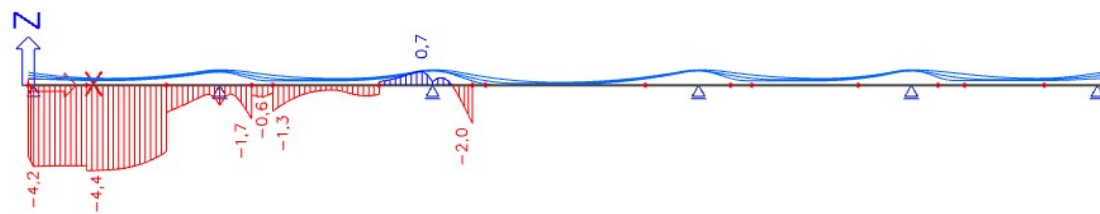
Obrázek 66 - M1, plný průřez, napětí horní vlákna po odbednění I. části



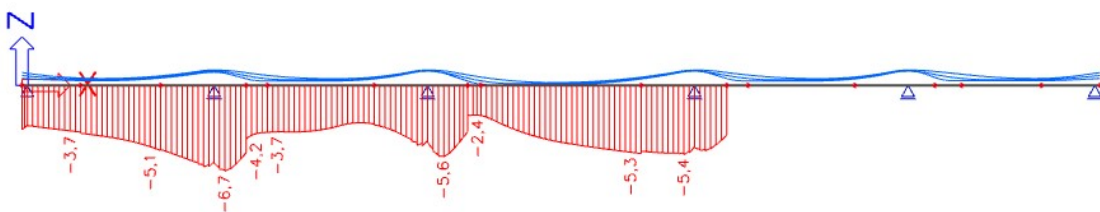
Obrázek 67 - M1, plný průřez, napětí dolní vlákna po odbednění I. části



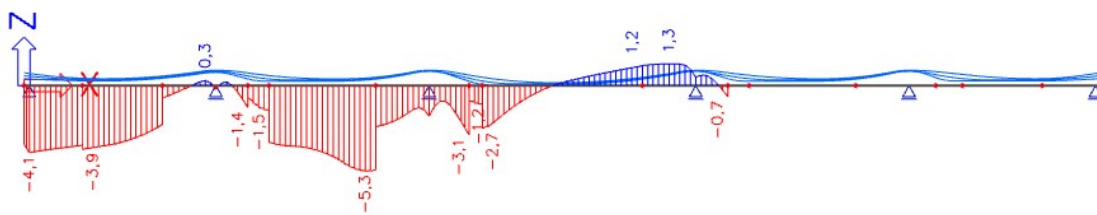
Obrázek 68 - M1, plný průřez, napětí horní vlákna po odbednění II. části



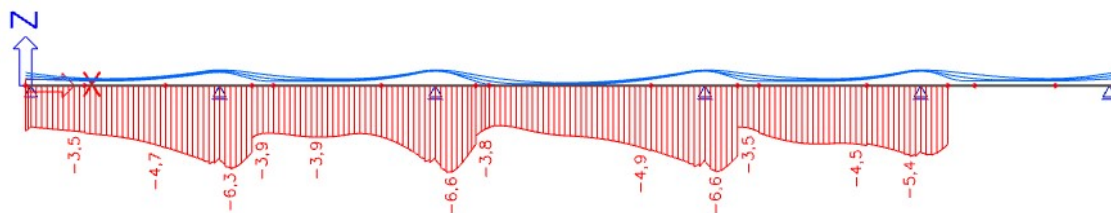
Obrázek 69 - M1, plný průřez, napětí dolní vlákna po odbednění II. části



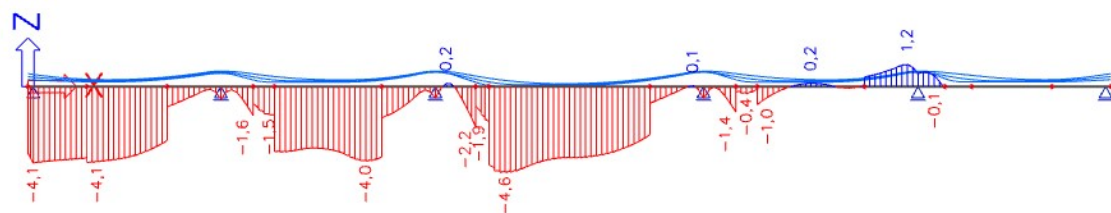
Obrázek 70 - M1, plný průřez, napětí horní vlákna po odbednění III. části



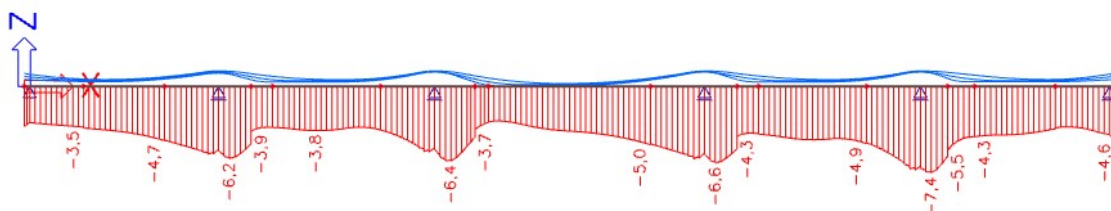
Obrázek 71 - M1, plný průřez, napětí dolní vlákna po odbednění III. části



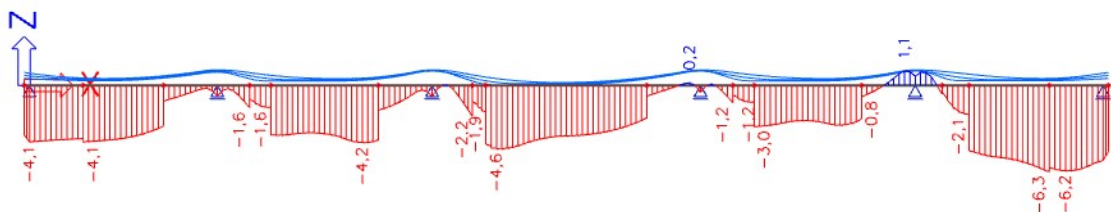
Obrázek 72 - M1, plný průřez, napětí horní vlákna po odbednění IV. části



Obrázek 73 - M1, plný průřez, napětí dolní vlákna po odbednění IV. části

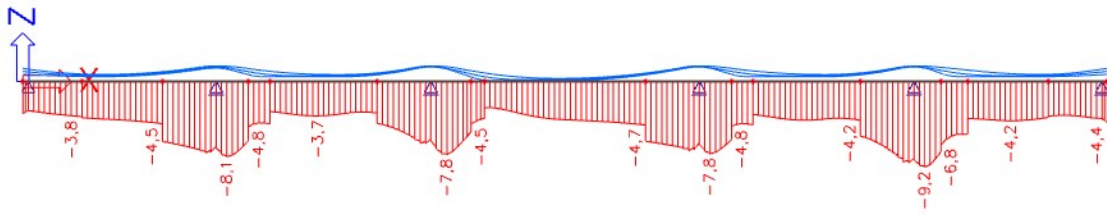


Obrázek 74 - M1, plný průřez, napětí horní vlákna po odbednění V. části

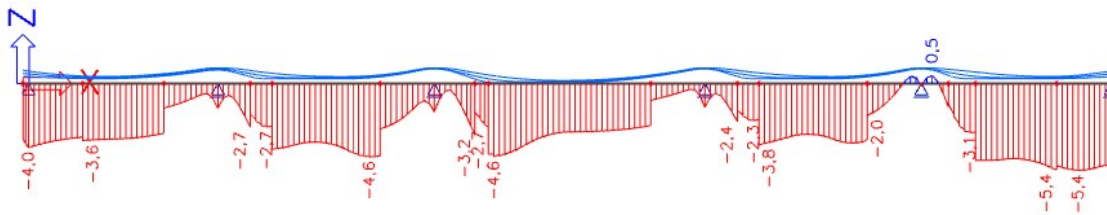


Obrázek 75 - M1, plný průřez, napětí dolní vlákna po odbednění V. části

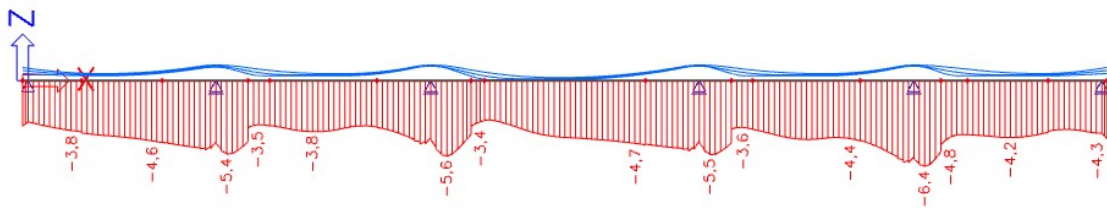
Vnesení ostatního stálého zatížení



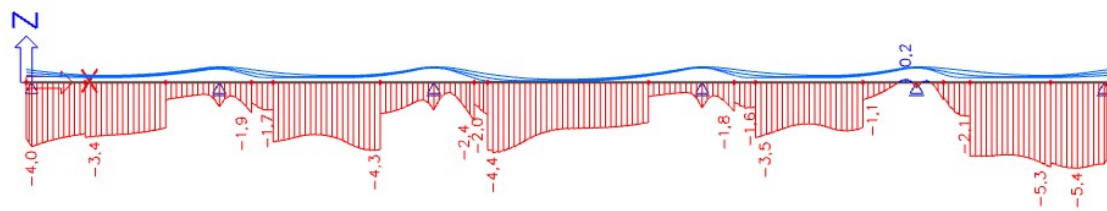
Obrázek 76 - M1, red. průřez, napětí horní vlákna při vnesení ost. st. zatížení



Obrázek 77 - M1, red. průřez, napětí dolní vlákna při vnesení ost. st. zatížení

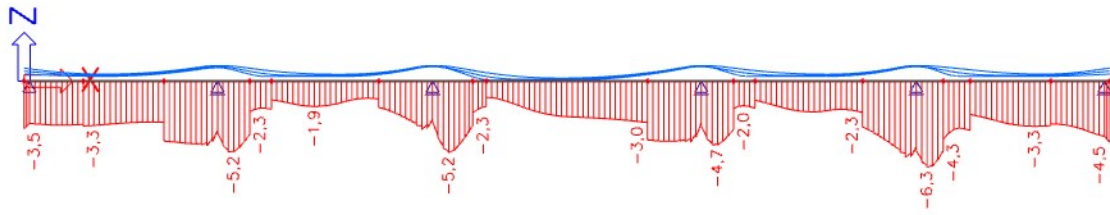


Obrázek 78 - M1, plný průřez, napětí horní vlákna při vnesení ost. st. zatížení

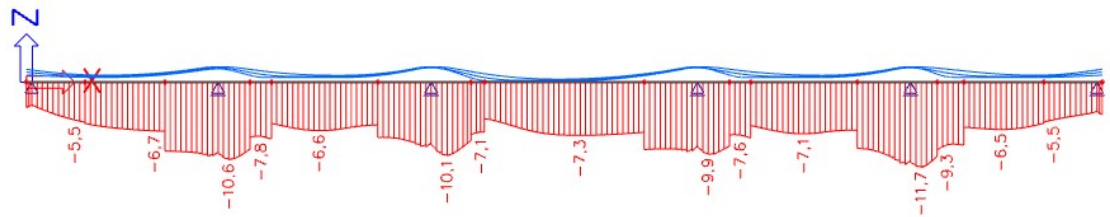


Obrázek 79 - M1, plný průřez, napětí dolní vlákna při vnesení ost. st. zatížení

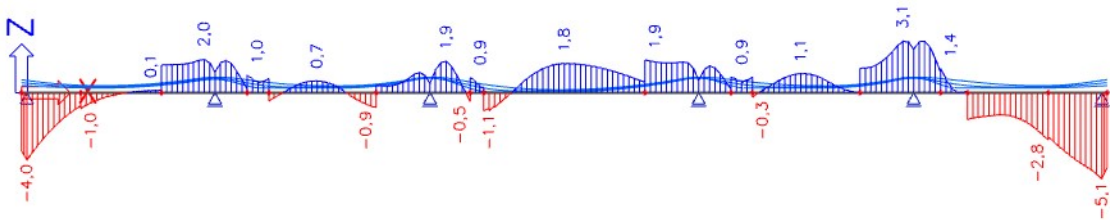
Uvedení do provozu, char. kombinace, redukovaný průřez



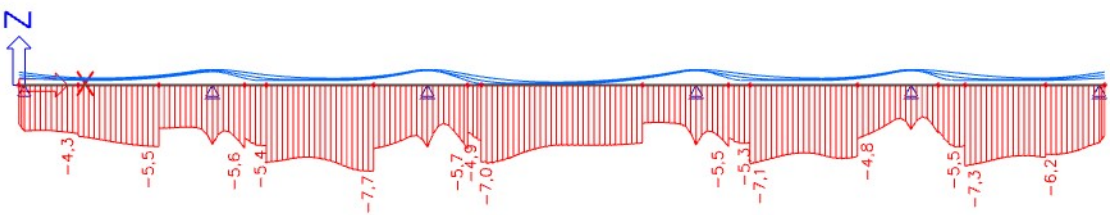
Obrázek 80 - UP - M1, char, red. průřez, napětí horní vlákna, max hodnota



Obrázek 81 - UP - M1, char, red. průřez, napětí horní vlákna, min hodnota

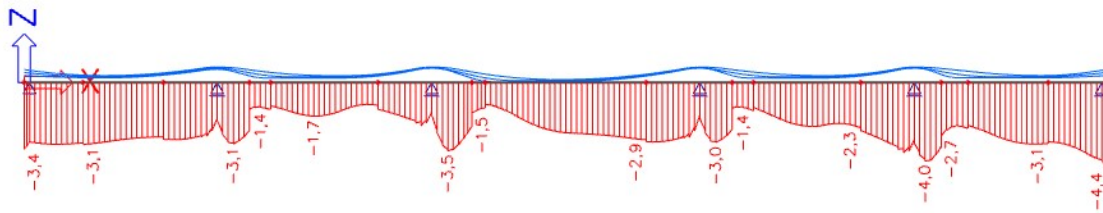


Obrázek 82 - UP - M1, char, red. průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota

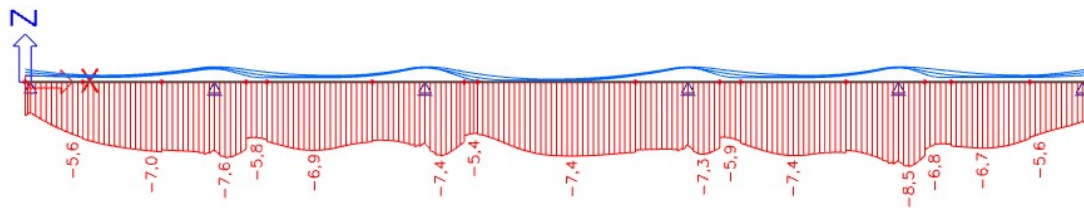


Obrázek 83 - UP - M1, char, red. průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota

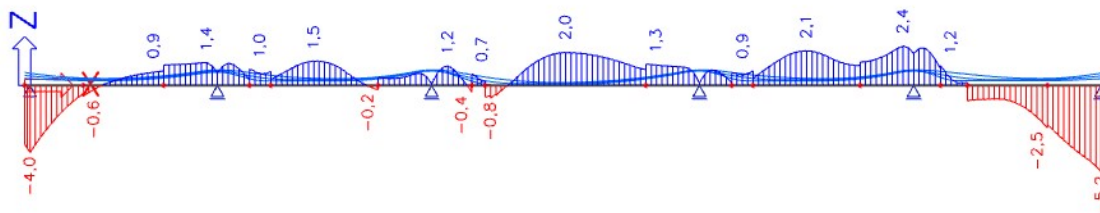
Uvedení do provozu, char. kombinace, plný průřez



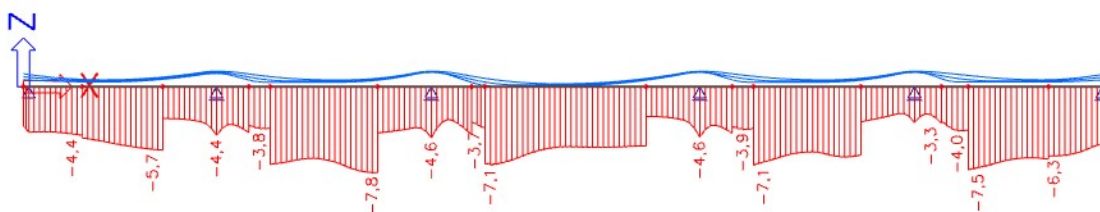
Obrázek 84 - UP - M1, char, plný průřez, napětí horní vlákna, max hodnota



Obrázek 85 - UP - M1, char, plný průřez, napětí horní vlákna, min hodnota

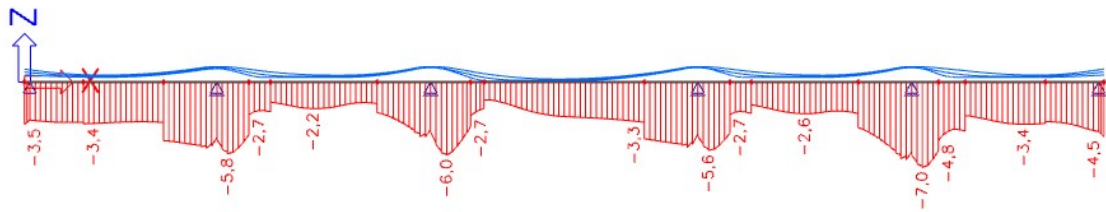


Obrázek 86 - UP - M1, char, plný průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota

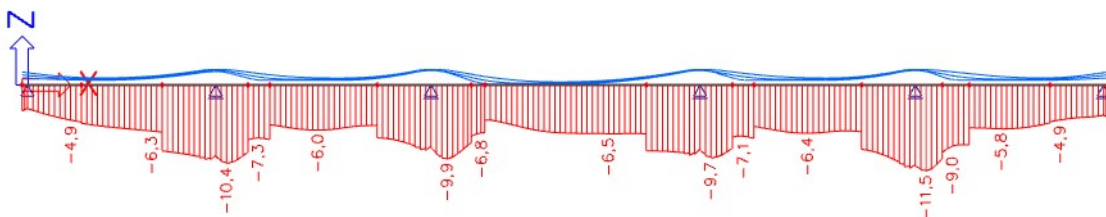


Obrázek 87 - UP - M1, char, plný průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota

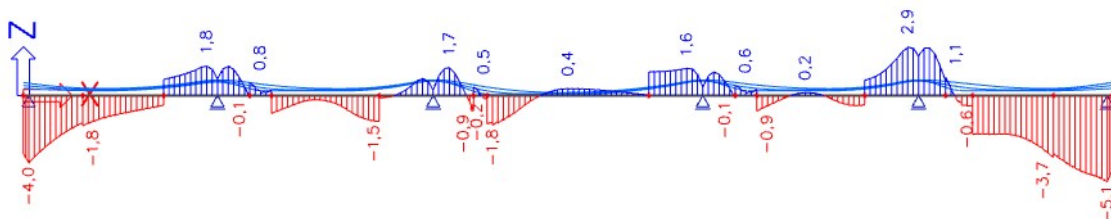
Uvedení do provozu, častá kombinace, redukovaný průřez



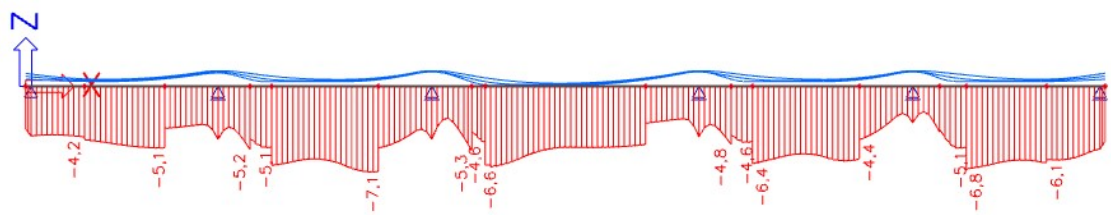
Obrázek 88 - UP - M1, častá, red. průřez, napětí horní vlákna, max hodnota



Obrázek 89 - UP - M1, častá, red. průřez, napětí horní vlákna, min hodnota

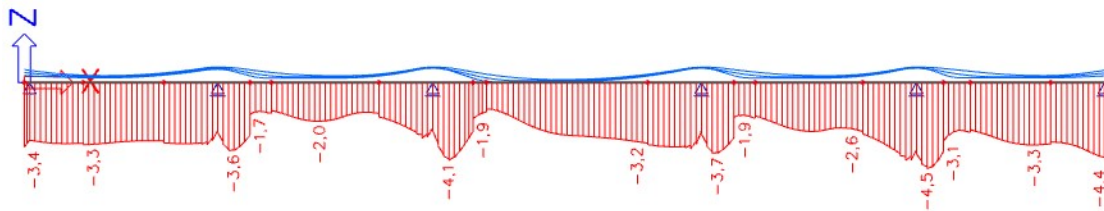


Obrázek 90 - UP - M1, častá, red. průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota

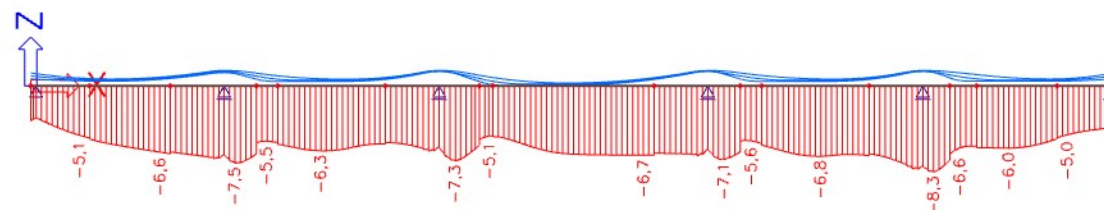


Obrázek 91 - UP - M1, častá, red. průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota

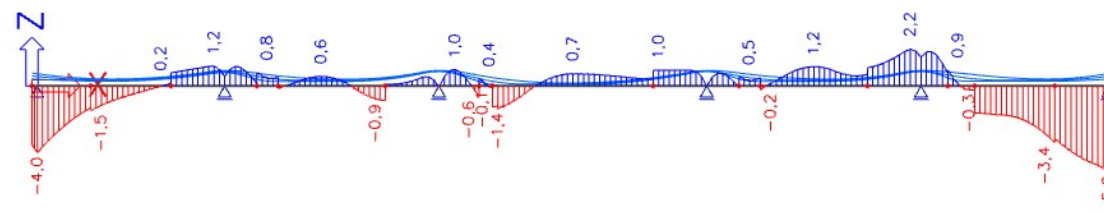
Uvedení do provozu, častá kombinace, plný průřez



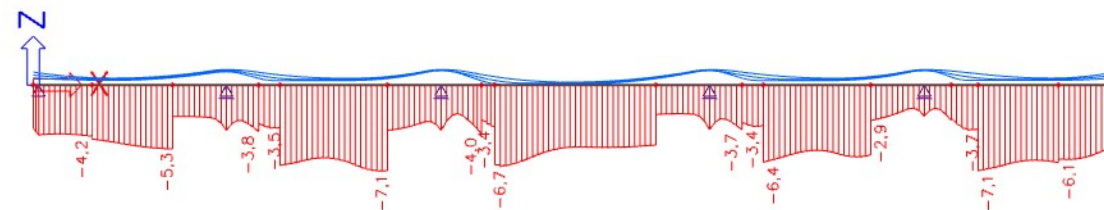
Obrázek 92 - UP - M1, častá, plný průřez, napětí horní vlákna, max hodnota



Obrázek 93 - UP - M1, častá, plný průřez, napětí horní vlákna, min hodnota

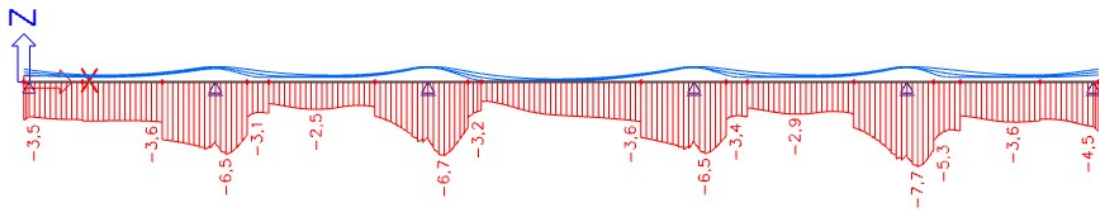


Obrázek 94 - UP - M1, častá, plný průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota

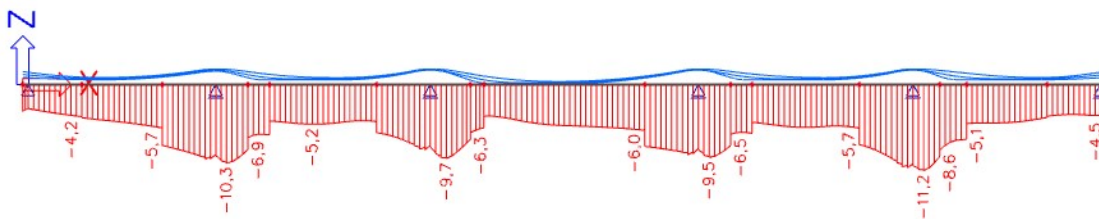


Obrázek 95 - UP - M1, častá, plný průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota

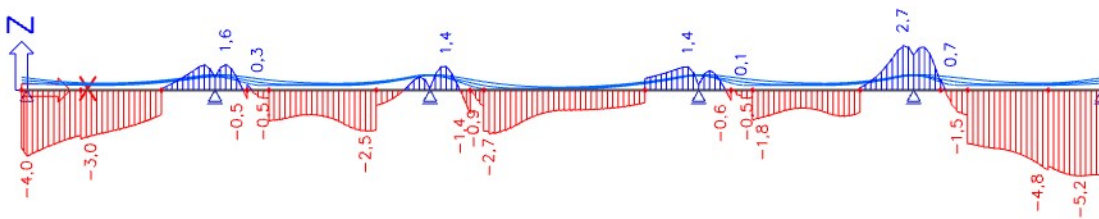
Uvedení do provozu, kvazistálá kombinace, redukovaný průřez



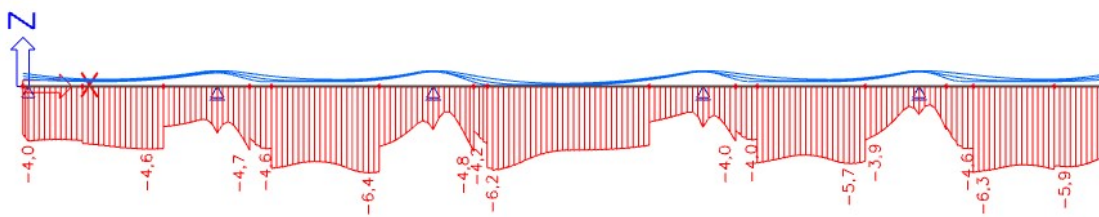
Obrázek 96 - UP - M1, kvazi, red. průřez, napětí horní vlákna, max hodnota



Obrázek 97 - UP - M1, kvazi, red. průřez, napětí horní vlákna, min hodnota

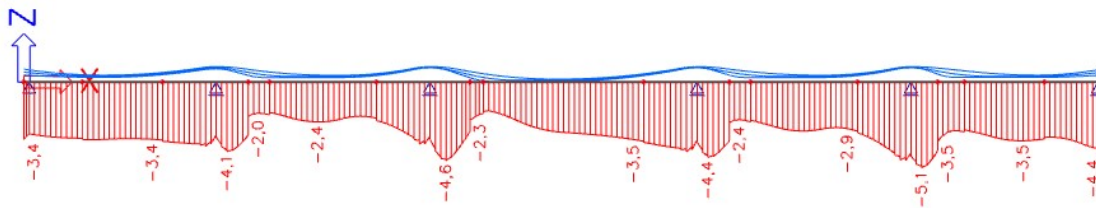


Obrázek 98 - UP - M1, kvazi, red. průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota

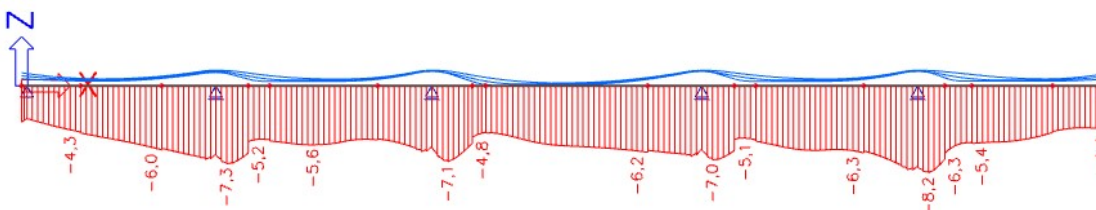


Obrázek 99 - UP - M1, kvazi, red. průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota

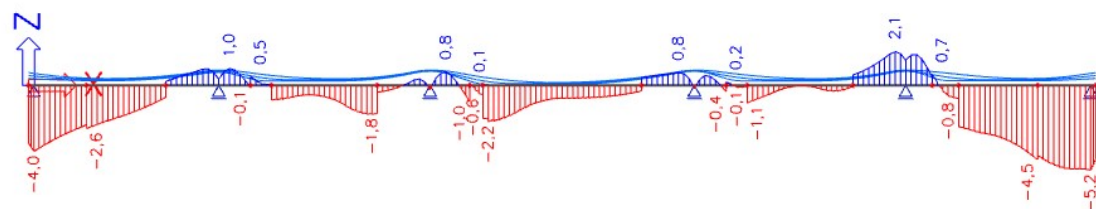
Uvedení do provozu, kvazistálá kombinace, plný průřez



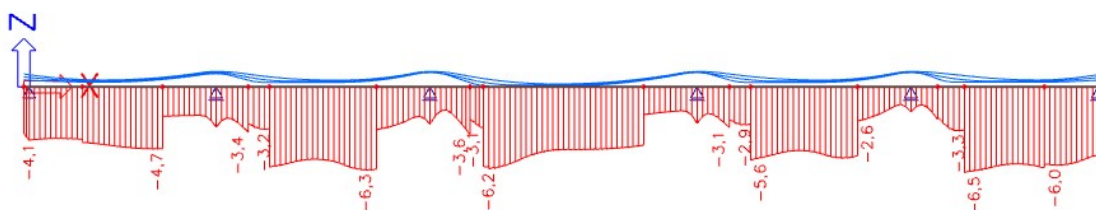
Obrázek 100 - UP - M1, kvazi, plný průřez, napětí horní vlákna, max hodnota



Obrázek 101 - UP - M1, kvazi, plný průřez, napětí horní vlákna, min hodnota

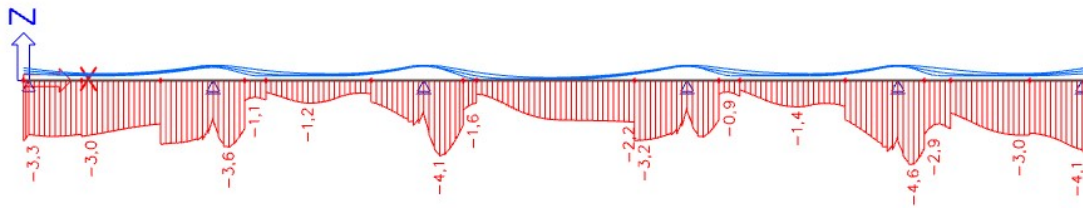


Obrázek 102 - UP - M1, kvazi, plný průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota

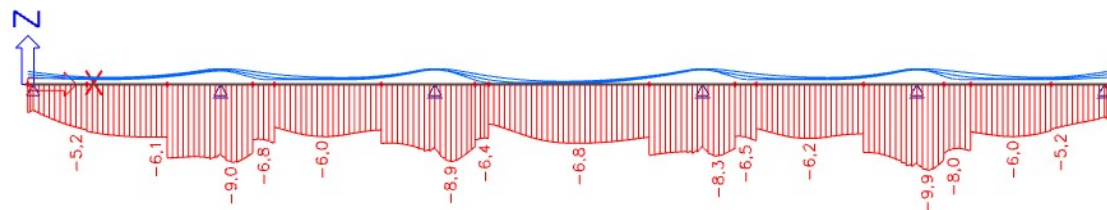


Obrázek 103 - UP - M1, kvazi, plný průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota

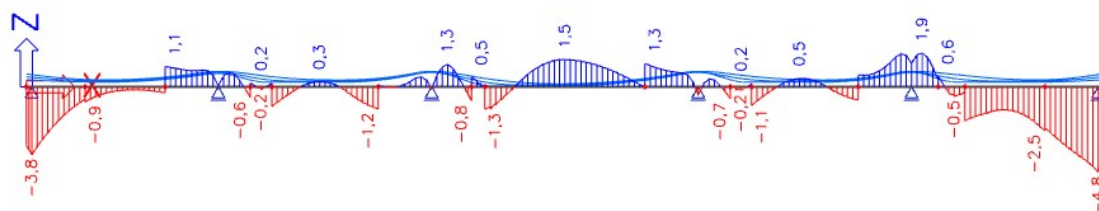
Konec životnosti, char. kombinace, redukovaný průřez



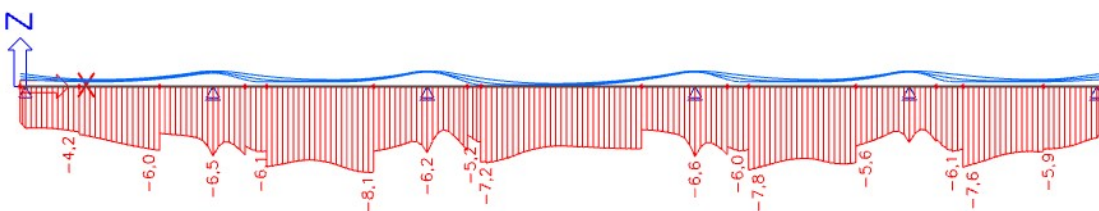
Obrázek 104 - KZ - M1, char, red. průřez, napětí horní vlákna, max hodnota



Obrázek 105 - KZ - M1, char, red. průřez, napětí horní vlákna, min hodnota

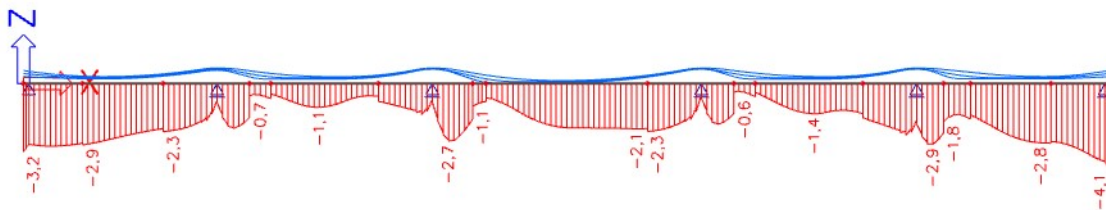


Obrázek 106 - KZ - M1, char, red. průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota

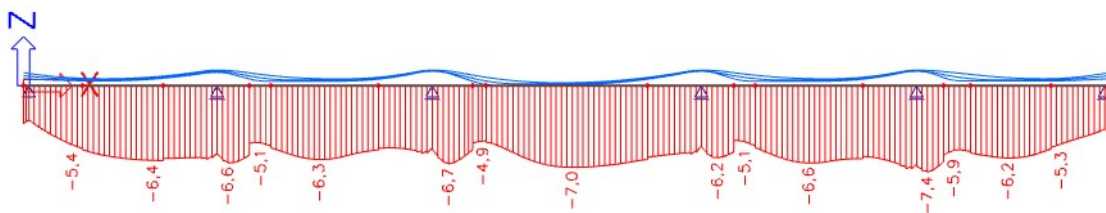


Obrázek 107 - KZ - M1, char, red. průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota

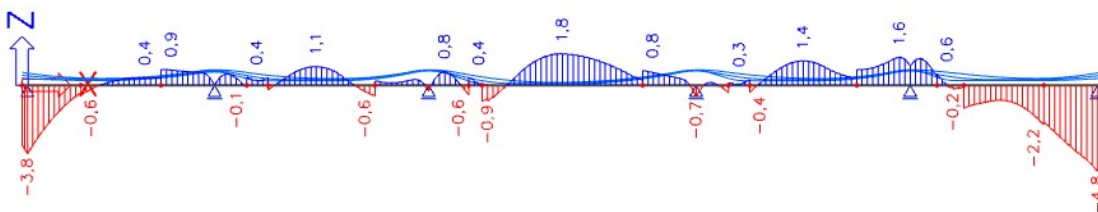
Konec životnosti, char. kombinace, plný průřez



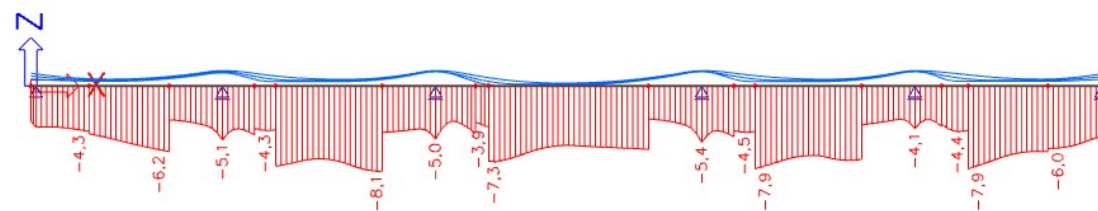
Obrázek 108 - KZ - M1, char, plný průřez, napětí horní vlákna, max hodnota



Obrázek 109 - KZ - M1, char, plný průřez, napětí horní vlákna, min hodnota

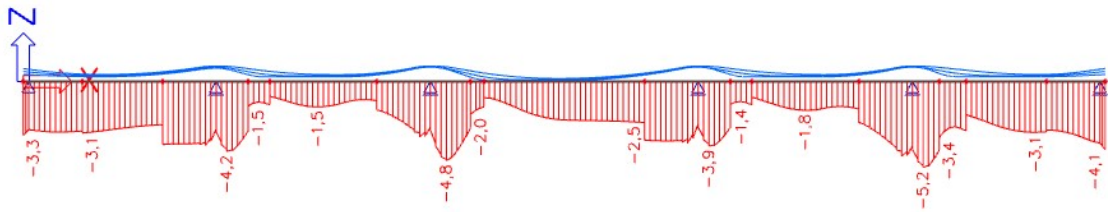


Obrázek 110 - KZ - M1, char, plný průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota

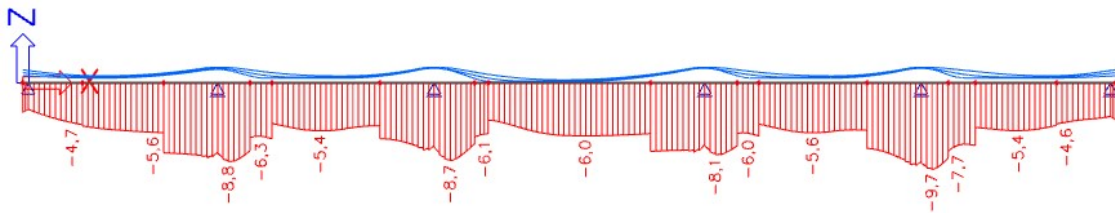


Obrázek 111 - KZ - M1, char, plný průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota

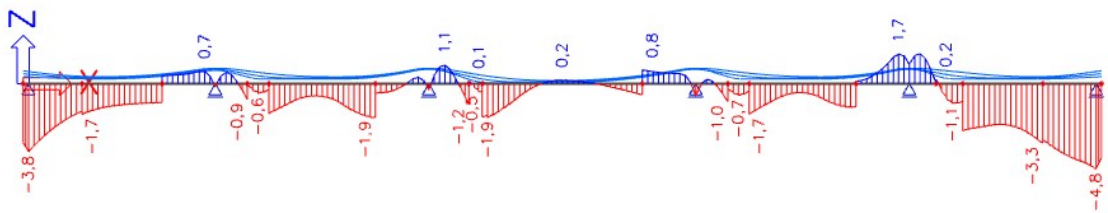
Konec životnosti, častá kombinace, redukovaný průřez



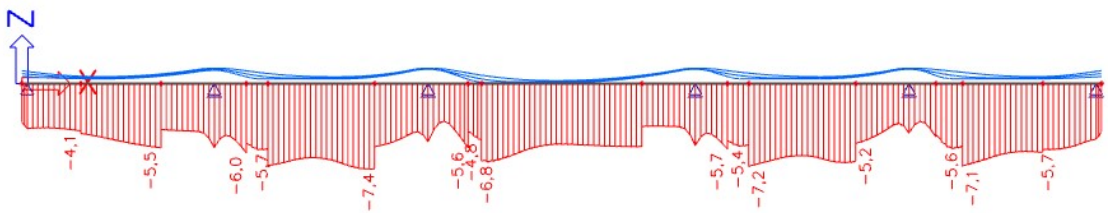
Obrázek 112 - KZ - M1, častá, red. průřez, napětí horní vlákna, max hodnota



Obrázek 113 - KZ - M1, častá, red. průřez, napětí horní vlákna, min hodnota

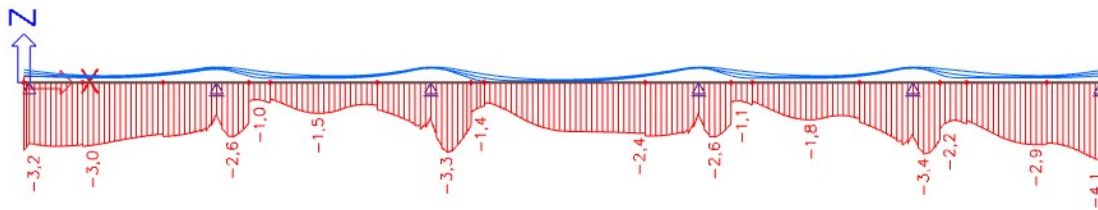


Obrázek 114 - KZ - M1, častá, red. průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota

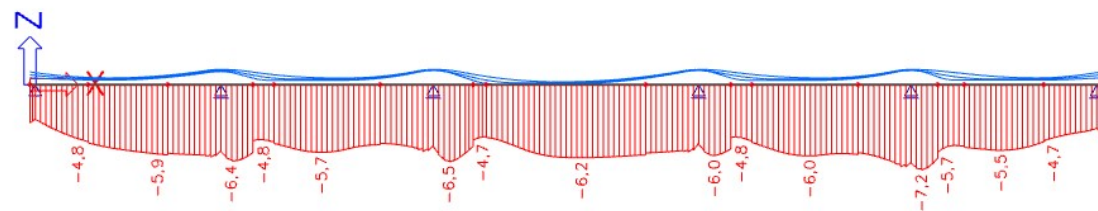


Obrázek 115 - KZ - M1, častá, red. průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota

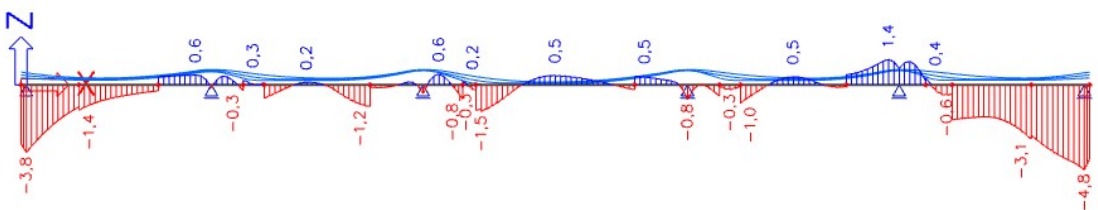
Konec životnosti, častá kombinace, plný průřez



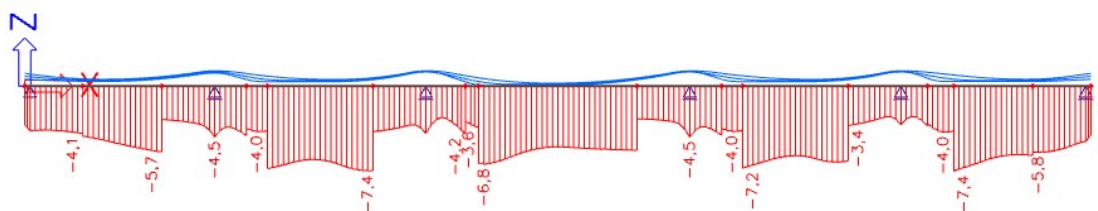
Obrázek 116 - KZ - M1, častá, plný průřez, napětí horní vlákna, max hodnota



Obrázek 117 - KZ - M1, častá, plný průřez, napětí horní vlákna, min hodnota

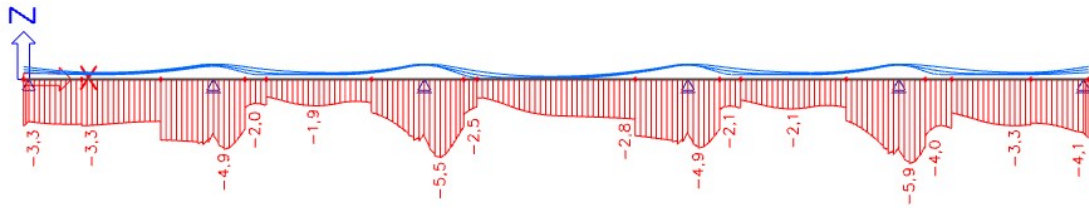


Obrázek 118 - KZ - M1, častá, plný průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota

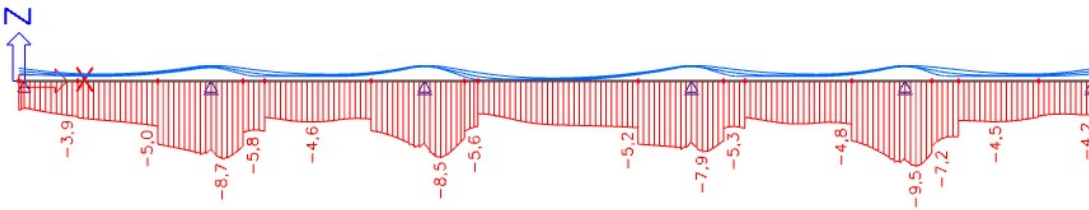


Obrázek 119 - KZ - M1, častá, plný průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota

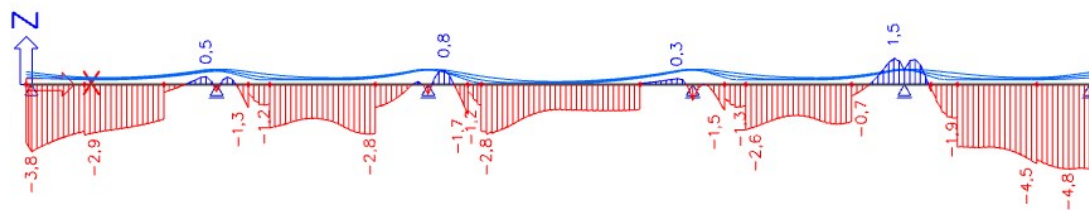
Konec životnosti, kvazistálá kombinace, redukovaný průřez



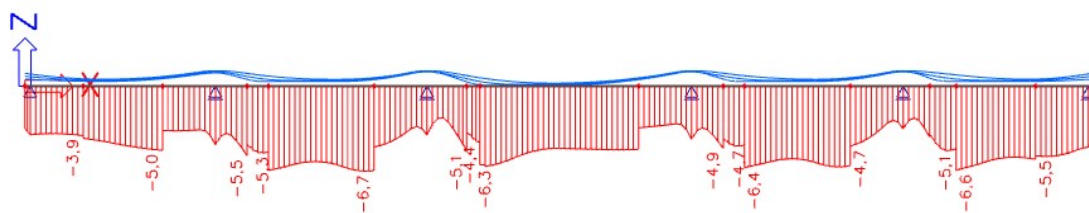
Obrázek 120 - KZ - M1, kvazi, red. průřez, napětí horní vlákna, max hodnota



Obrázek 121 - KZ - M1, kvazi, red. průřez, napětí horní vlákna, min hodnota

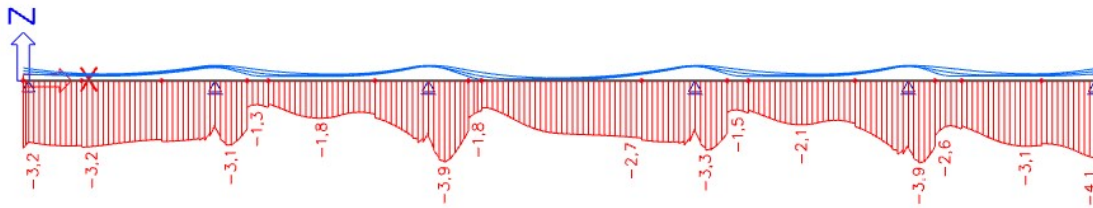


Obrázek 122 - KZ - M1, kvazi, red. průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota

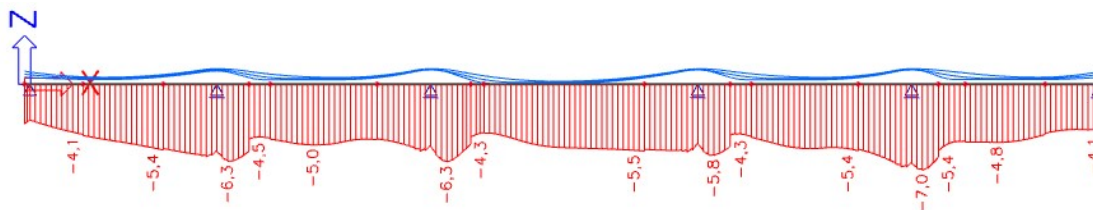


Obrázek 123 - KZ - M1, kvazi, red. průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota

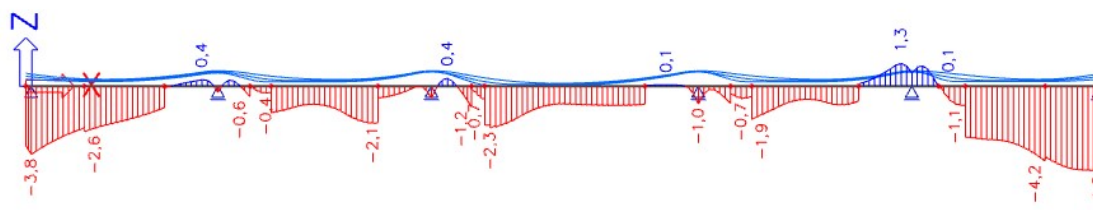
Konec životnosti, kvazistálá kombinace, plný průřez



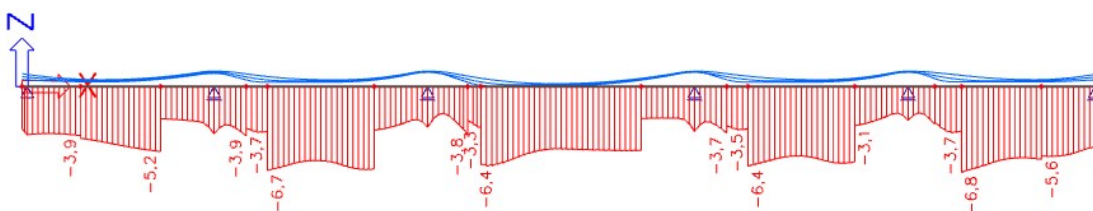
Obrázek 124 - KZ - M1, kvazi, plný průřez, napětí horní vlákna, max hodnota



Obrázek 125 - KZ - M1, kvazi, plný průřez, napětí horní vlákna, max hodnota



Obrázek 126 - KZ - M1, kvazi, plný průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota



Obrázek 127 - KZ - M1, kvazi, plný průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota

8.2 Posouzení MSP

Omezení napětí

Při charakteristické kombinaci by měla být hodnota napětí maximálně:

$$0,6 * f_{ck} = 0,6 * 35,0 = 21,00 \text{ MPa}$$

Při kvazistálé potom menší nebo rovna:

$$0,45 * f_{ck} = 0,45 * 35,0 = 15,75 \text{ MPa}$$

Podmínka omezení napětí v betonu je splněna ve všech případech. Dále je omezeno i napětí ve výztuži, což nepředpokládám, že by byla rozhodující podmínka.

Omezení trhlin

V době vnesení napětí do betonu nesmí jeho hodnota v tahu překročit hodnotu:

$$1,0 * f_{ctm}(7) = 1,0 * 2,62 = 2,62 \text{ MPa}$$

Tato podmínka je taktéž pro oba modely splněna.

V době od uvedení do provozu až do konce životnosti by napětí kolem kanálků (až do vzdálenosti 100 mm) mělo pro častou kombinaci být vždy tlakové. Tato podmínka není splněna a tak bude třeba navýšit množství výztuže ve třech středních polích. Naopak v krajních polích je, zdá se, dostatečná tlaková rezerva a proto zkusím redukovat průřez. Předpokládám, že když zmenším plochu, mohla by být předpínací výztuž efektivněji využita. Zavedu proto v levém krajním poli mrtvou kotvu a v pravém nebudu spojovat horní kabely (4 kabely).

Stupeň vlivu prostředí	Železobetonové prvky a prvky předpjaté bez soudržné výztuže	Prvky předpjaté soudržnou výztuží
	Kvazi-stálá kombinace zatížení	Častá kombinace zatížení
X0, XC1	0,3 ^{a)}	0,2
XC2, XC3, XC4	0,3	0,2 ^{b)}
XD1, XD2, XD3, XS1, XS2, XS3		dekomprese
^{a)} Pro stupně vlivu prostředí X0, XC1 nemá šířka trhliny vliv na trvanlivost a uvedená hodnota má zajistit přijatelný vzhled. Pokud nejsou kladeny požadavky na vzhled, lze uvedenou hodnotu zvětšit.		
^{b)} Pro tyto stupně vlivu prostředí má být také posouzena dekomprese při kvazi-stálé kombinaci zatížení.		

Požadavek dekomprese znamená, že všechen beton v určité vzdálenosti od soudržné předpínací výztuže nebo od kanálku bude tlačeny při definovaném zatížení.

POZNÁMKA 2 Hodnotu vzdálenosti, kterou lze použít v příslušném státě, lze stanovit v národní příloze. Doporučená hodnota je 100 mm. ^{NP27)}

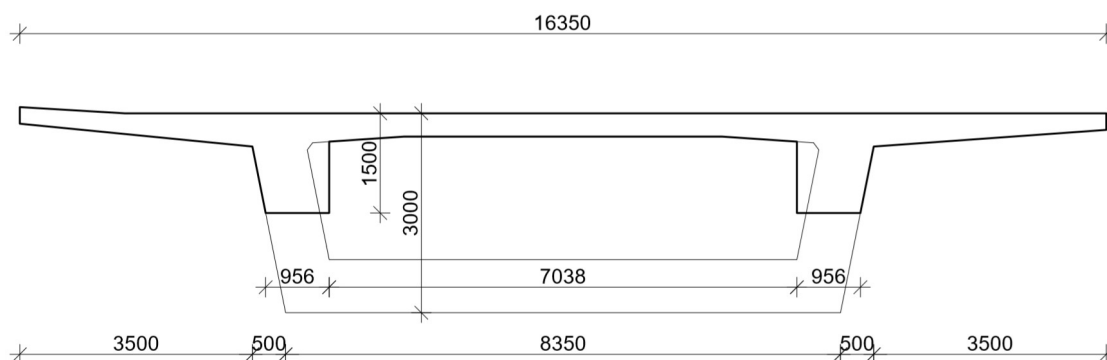
Obrázek 128 - Doporučené hodnoty w_{max} dle ČSN EN 1992 - 2 [15]

9 Model 2

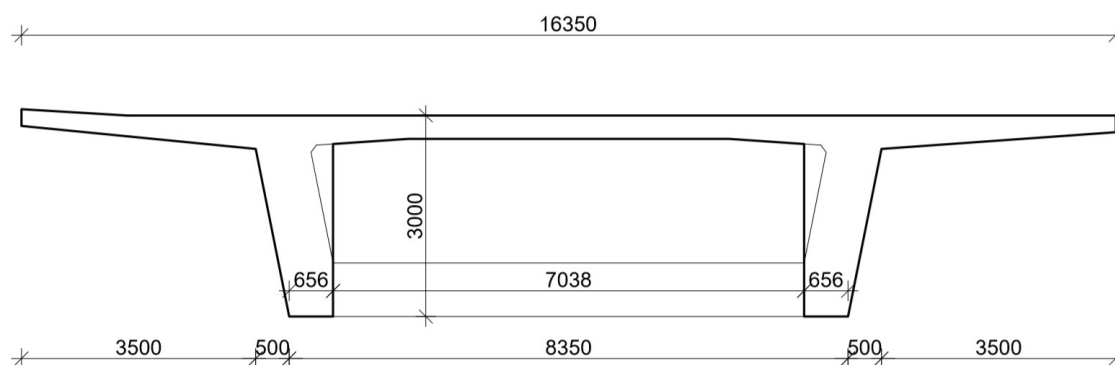
9.1 Průběhy napětí

Tento model bude mít v krajních polích místo komorového průřezu dvoutrámový. Dále bude doplněn o příčnický nad opěrou pro roznos sil. Změna průřezu z dvoutrámového průřezu proběhne plynule na komorový nad pilířem 1. Náběh bude nejprve svislý, kdy dvoutrámový profil zvětší výšku na 3,0 m tak, že vnější stěna bude nabíhat pod stejným sklonem a vnitřní stěna stále svisle. Pak se jen plynule uzavře spodní část komory vytvořením náběhu tvaru V. To je vidět na obr. 133.

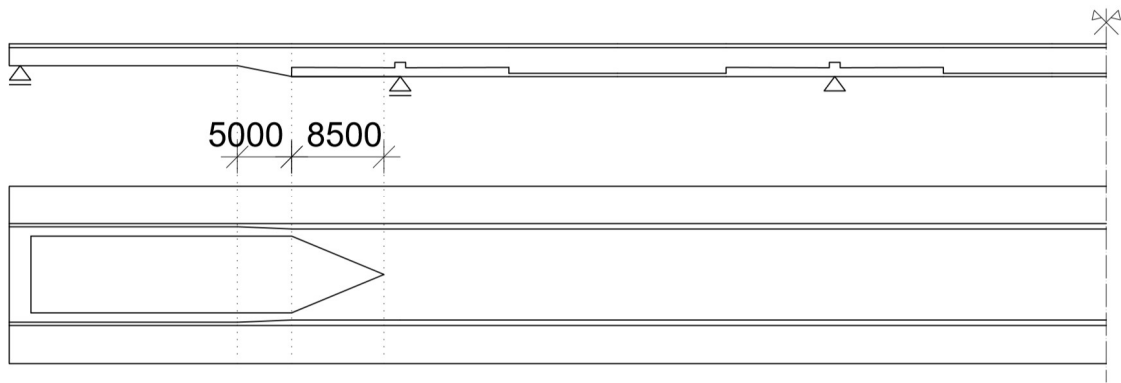
V modelu bude třeba upravit zarovnání k hornímu povrchu (horní systémová osa) a také pozměnit vedení kabelů, aby odpovídalo vedení v dvoutrámovém profilu a systémové ose. V krajním poli budu uvažovat pouze dvě řady kabelů po čtyřech.



Obrázek 129 - Dvoutrámový průřez v krajních polích



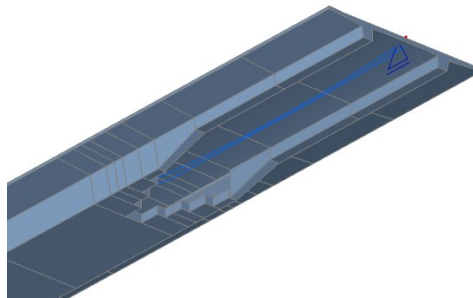
Obrázek 130 - Dvoutrámový průřez, přechod na komoru



Obrázek 131 - Podélný řez a pohled zespoda

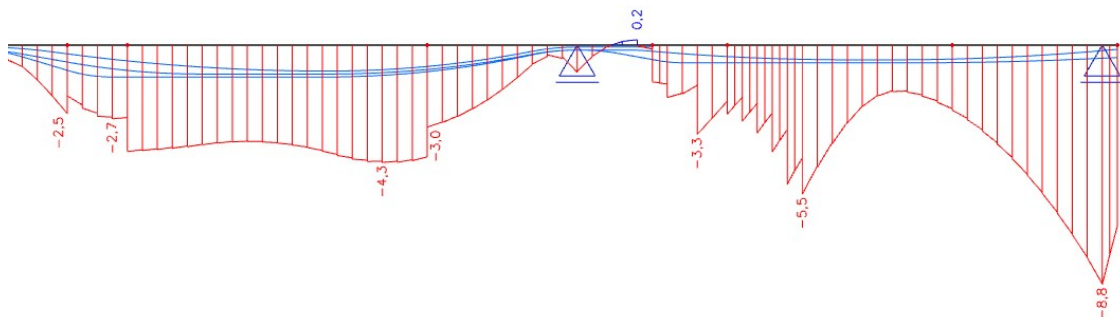


Obrázek 132 - Scia Model 3

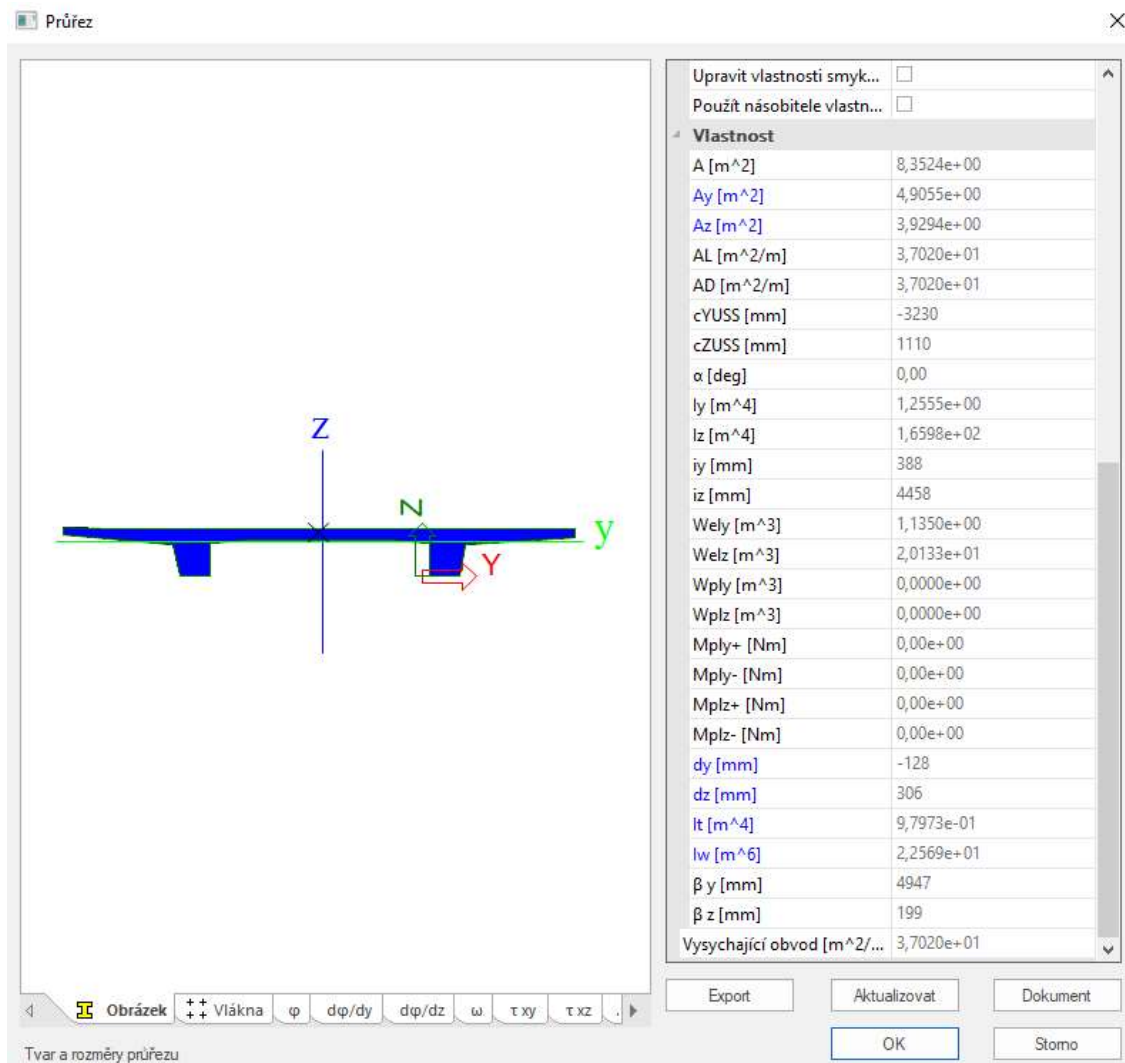


Obrázek 133 - Pohled zespodu Scia

Funkce proměnný průřez v programu Scia sice umí udělat plynulý náběh, nicméně v průběhu vnitřních sil a v napětí se tvoří odskoky. V úvodu budu předpokládat, že přibližně odpovídají realitě. Pokud bych chtěl přesné výsledky, vytvořil bych si průřezy například po 1 m a věděl bych, že uprostřed tohoto dílce jsou vnitřní síly správně. Uzavření komory vytvořením spodní desky pomocí náběhů provedu pomocí 3 přechodových dílů cca po 2 m.



Obrázek 134 - Nepřesné zobrazení napětí v náběhu



Obrázek 135 - Průřezové charakteristiky - dvoutrám 1

Horní deska

Horní deska - vnější konzola

$$b_{eff,1} = 0,2 * 3,5 + 0,1 * (0,85 * 35,0) = 3,675 \text{ m}$$

$$b_{eff,1} = 3,675 \text{ m} \leq 0,2l_0 = 0,2 * (0,85 * 35,0) = 5,95 \text{ m}$$

$$b_{eff,1} = 3,675 \text{ m} > b_1 = 3,500 \text{ m}$$

$$b_{eff,1} = 3,500 \text{ m}$$

Horní deska – mezi stěnami

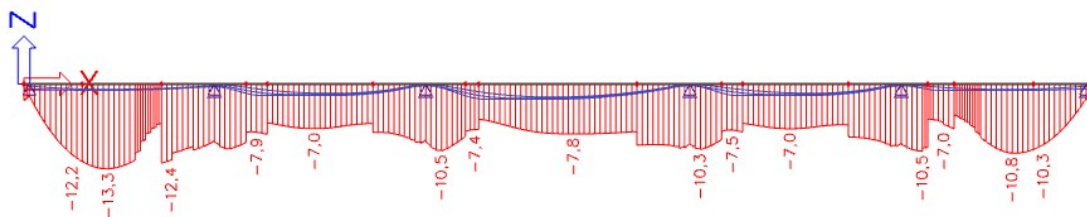
$$b_{eff,2} = 0,2 * 3,519 + 0,1 * (0,85 * 35,0) = 3,504 \text{ m}$$

$$b_{eff,2} = 3,504 \text{ m} \leq 0,2l_0 = 0,2 * (0,85 * 35,0) = 5,95 \text{ m}$$

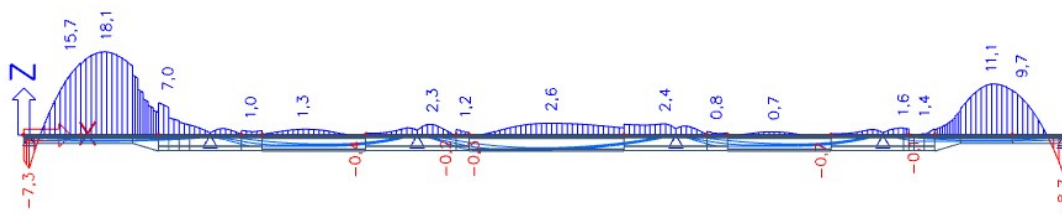
$$b_{eff,2} = 3,504 \text{ m} < b_2 = 3,519 \text{ m}$$

$$b_{eff,2} = 3,504 \text{ m} \rightarrow 3,519 \text{ m}$$

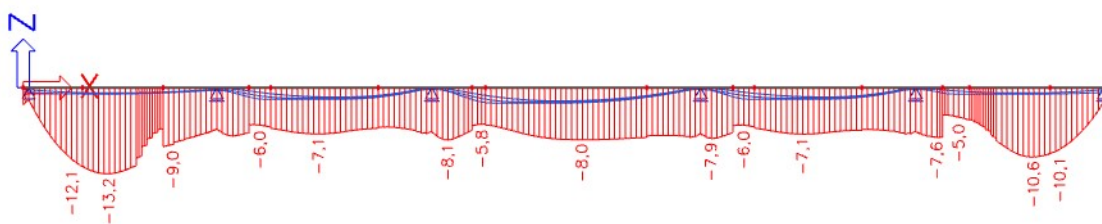
V tomto průřezu nebudu uvažovat redukci.



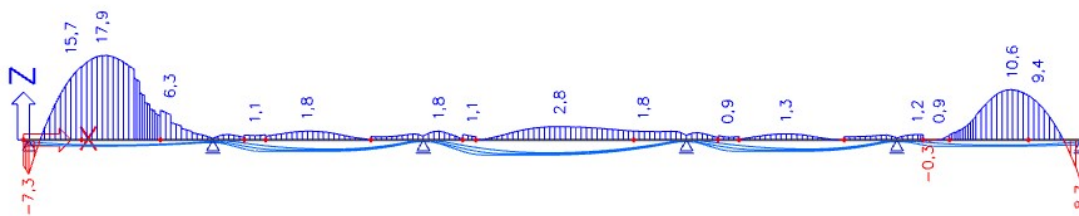
Obrázek 136 - UP - M2, char, red. průřez, napětí horní vlákna, min hodnota



Obrázek 137 - UP - M2, char, red. průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota



Obrázek 138 - UP - M2, char, plný průřez, napětí horní vlákna, min hodnota



Obrázek 139 - UP - M2, char, plný průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota

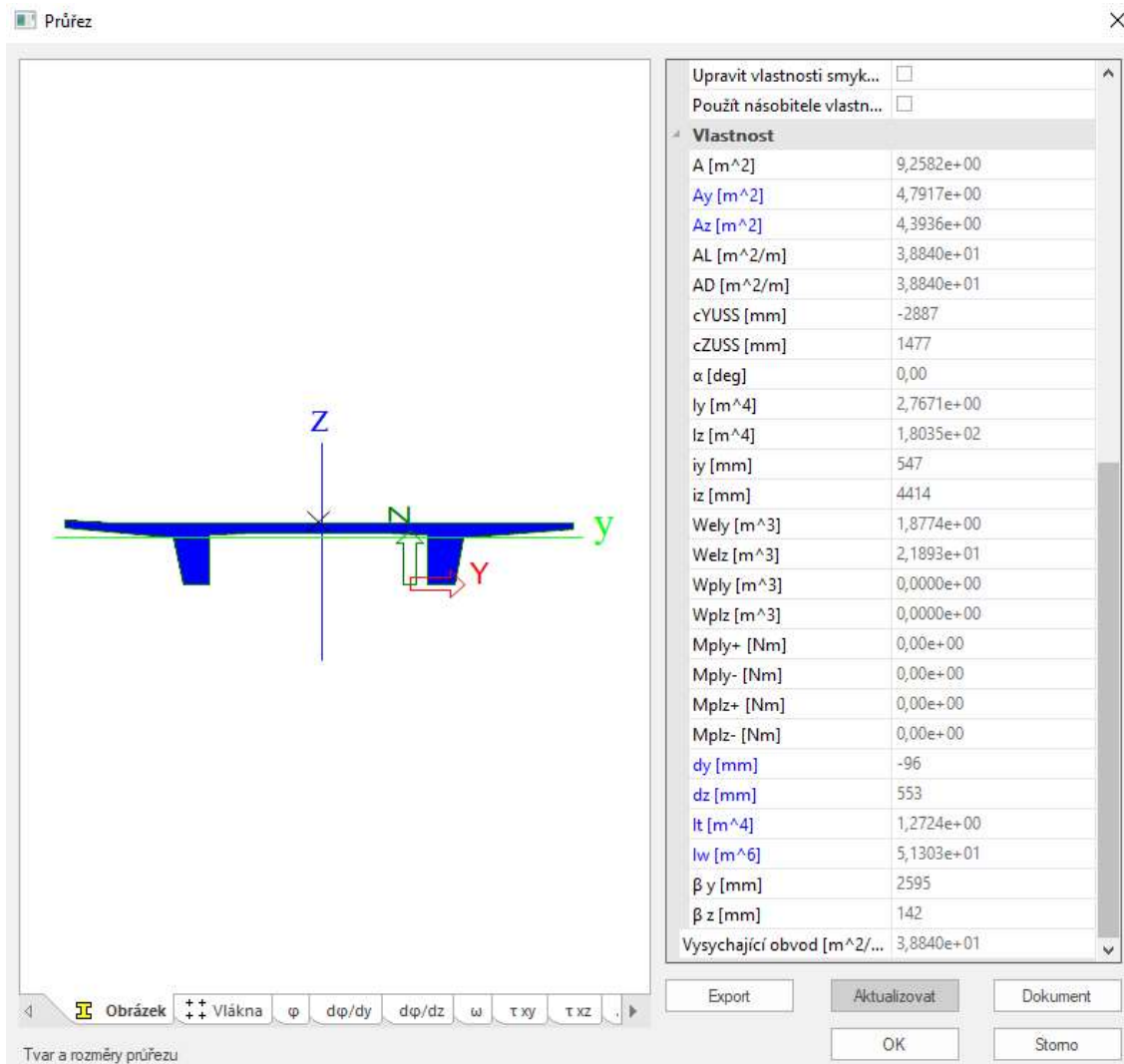
9.2 Posouzení MSP

V části modelu s dvoutrámovým průřezem roste tahové i tlakové napětí do extrémně vysokých hodnot. Například spodní vlákna jsou zatížena maximální tlakovou hodnotou 12,1 MPa a přitom maximální tahovou až 18,1 MPa. Ukazuje se, že redukce výšky průřezu v takto razantním měřítku není dobrý nápad. Je to způsobeno velkým zatížením od dopravy v kombinaci s přechodem na komorový profil, kde je rozdíl polohy těžišť vzdálen o více než metr.

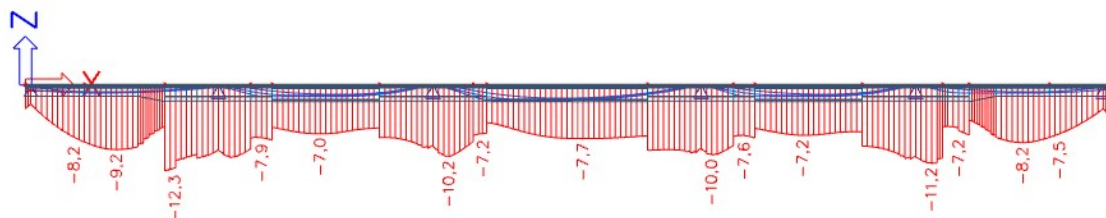
Nebudu se pokoušet o optimalizaci vedení kabelů a rovnou zkusím zvětšit výšku dvoutrámu na 2,0 m (o 0,5 m), čímž dojde i k vytvoření plynulejšího náběhu na komorový průřez. Opět budu uvažovat, že spolupůsobí celý průřez dvoutrámu.

10 Model 3

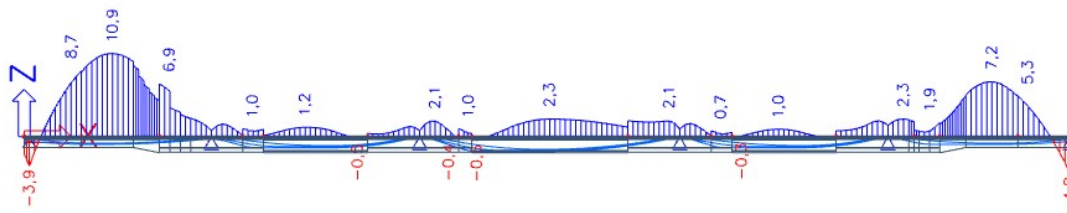
10.1 Průběhy napětí



Obrázek 140 - Průřezové charakteristiky dvoutrám 2



Obrázek 141 - UP – M3, char, red. průřez, napětí horní vlákna, min hodnota



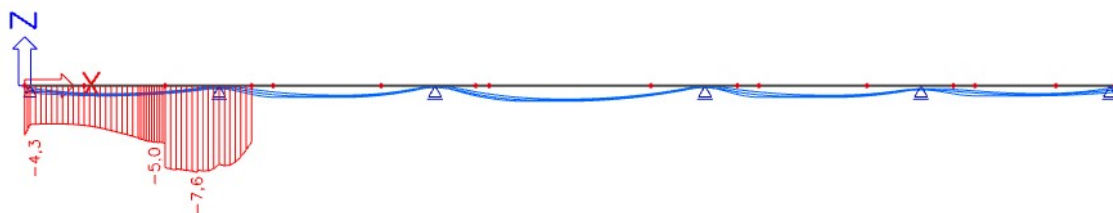
Obrázek 142 - UP – M3, char, red. průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota

Toto vedení kabelů s mrtvou kotvou zcela jistě posouzením neprojde. Bude tedy třeba v krajním poli použít více kabelů. Je také možné redukovat vzdálenost mezi kotvami. Tu jsem uvažoval minimálně 550 mm. Společnost Freyssinet uvádí velikost lisu CC1000 (kruhový průřez) 593 mm v průměru. Tomu odpovídá minimální vzdálenost mezi kotvami 434 mm pro stáří betonu 7 dní. Hodnota je určena interpolací. Zjistil jsem, že stále počítám se šířkou komory nad pilířem 800 mm místo 850 mm, což také v modelu opravím. Při kontrole průběhu napětí v kabelu jsem také zjistil, že kabely, které napínám přes dvě pole najednou, uvažuji v modelu jako dva kabely za sebou (každý v jednom poli) a každý se napíná zvlášť, ale ve stejný čas. To lehce zkresluje představu z předchozích výsledků o optimálním řešení. Opravením se sníží účinek předpětí a bude tedy nutné zavést další kabely do průřezu. Ještě zkusím, jak by vypadalo vedení třech řad kabelů po čtyřech. V tomto modelu opravím předchozí chyby. Poslední pracovní spáru (pravou) posunu o metr od pilíře, abych zlepšil možnosti pro dodržení potřebných vzdáleností při kotvení. Excentricity nad pilíři jsou všude maximální s překřížením spodních dvou řad kabelů. Pouze nad pravým pilířem je excentricita kabelů záměrně snížena, aby byla přibližně porovnatelná hodnota s druhým krajním polem pro zefektivnění postupu hledání optimálního vedení kabelů pro toto místo.

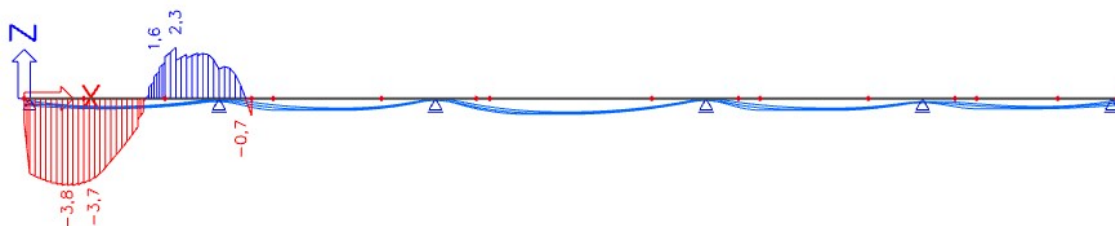


Obrázek 143 - Model 3 – Scia

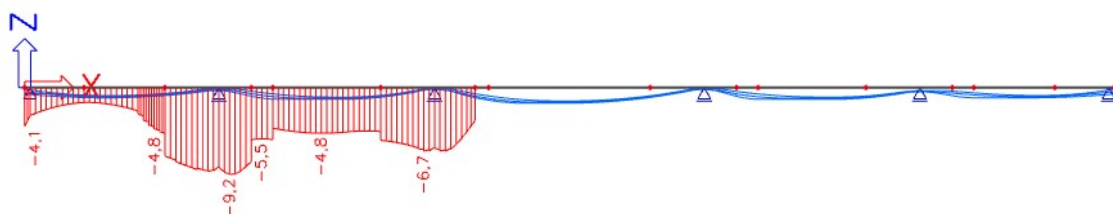
Stavební stádia, redukovaný průřez



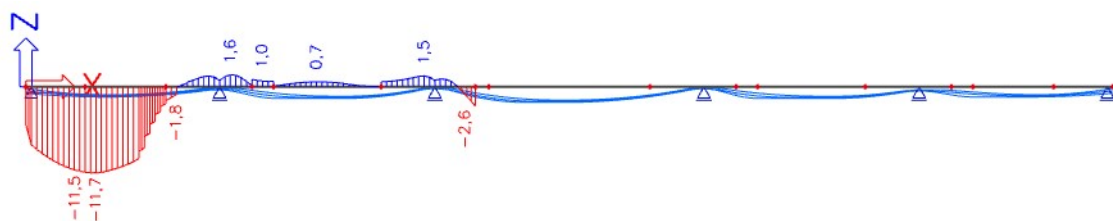
Obrázek 144 - M3, red. průřez, napětí horní vlákna po odbednění I. části



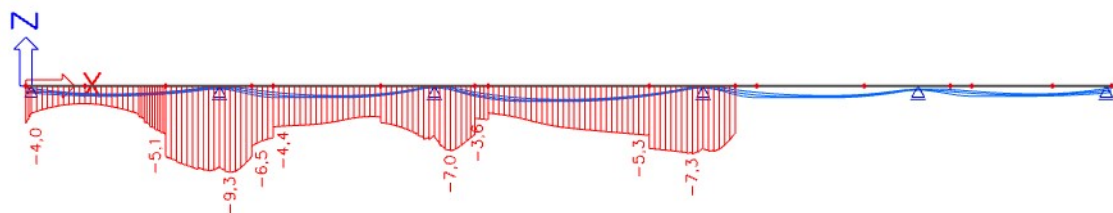
Obrázek 145 - M3, red průřez, napětí dolní vlákna po odbednění I. části



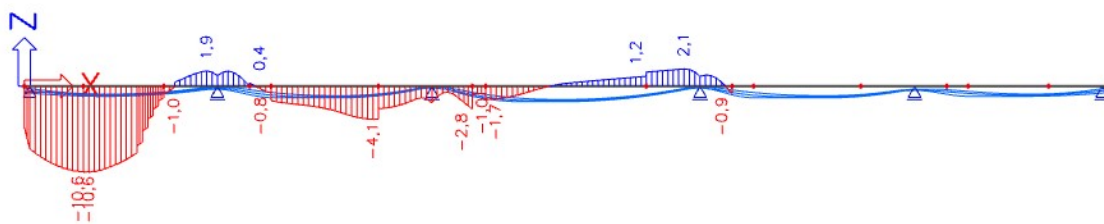
Obrázek 146 - M3, red průřez, napětí horní vlákna po odbednění II. části



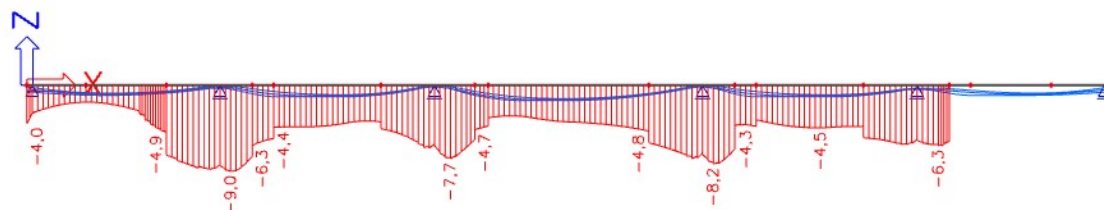
Obrázek 147 - M3, red průřez, napětí dolní vlákna po odbednění II. části



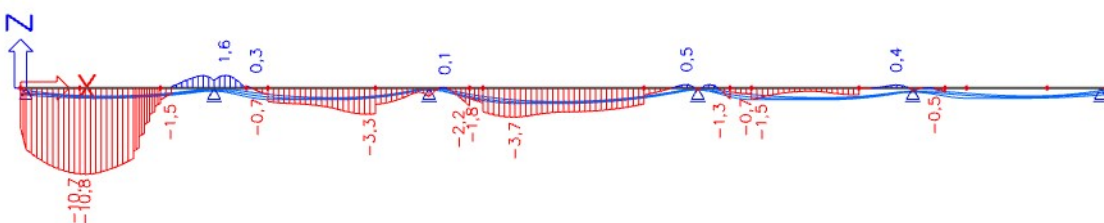
Obrázek 148 - M3, red průřez, napětí horní vlákna po odbednění III. části



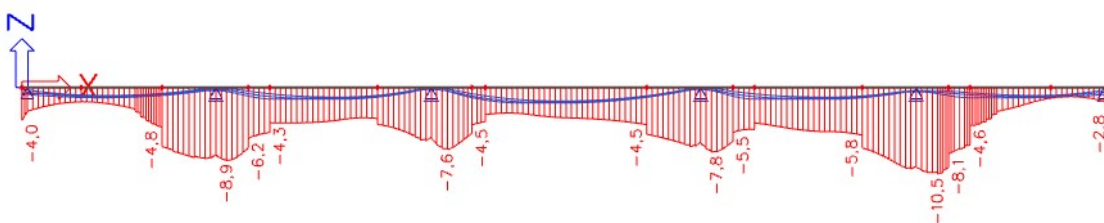
Obrázek 149 - M3, red průřez, napětí dolní vlákna po odbednění III. části



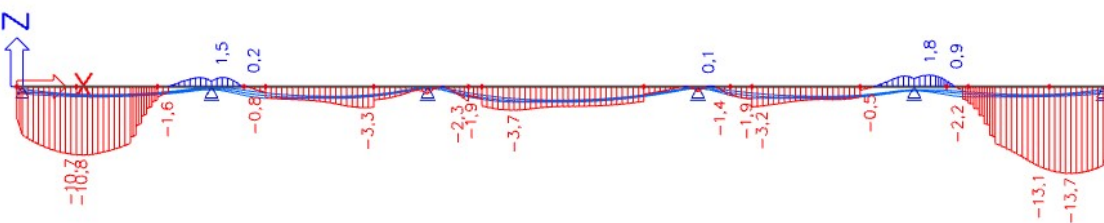
Obrázek 150 - M3, red průřez, napětí horní vlákna po odbednění IV. části



Obrázek 151 - M3, red průřez, napětí dolní vlákna po odbednění IV. části

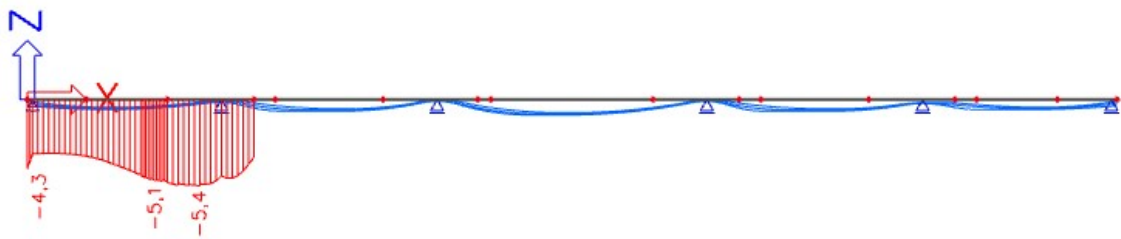


Obrázek 152 - M3, red průřez, napětí horní vlákna po odbednění V. části

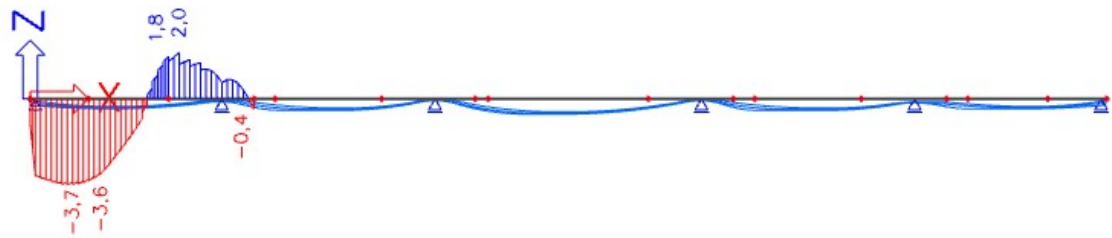


Obrázek 153 - M3, red průřez, napětí dolní vlákna po odbednění V. části

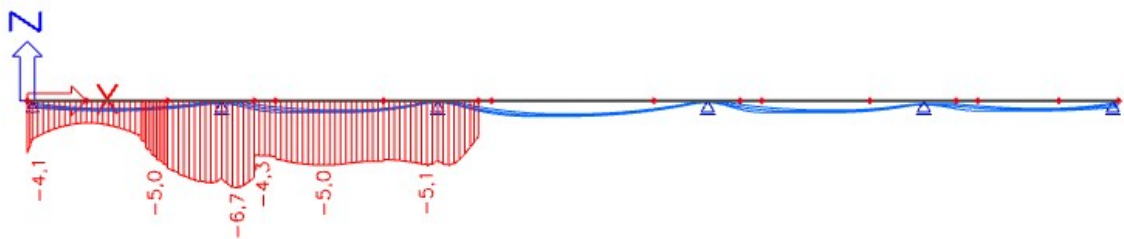
Stavební stádia, plný průřez



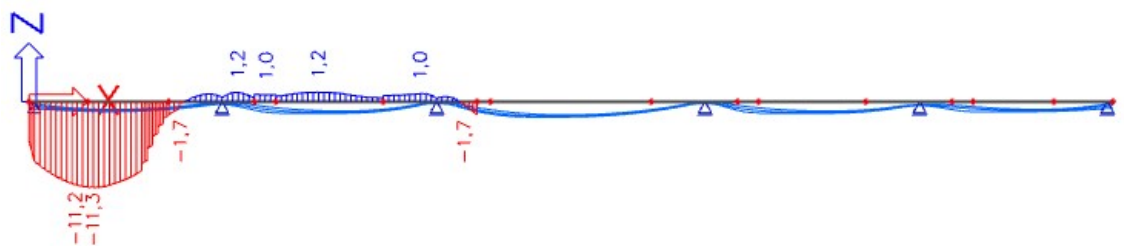
Obrázek 154 - M3, plný průřez, napětí horní vlákna po odbednění I. části



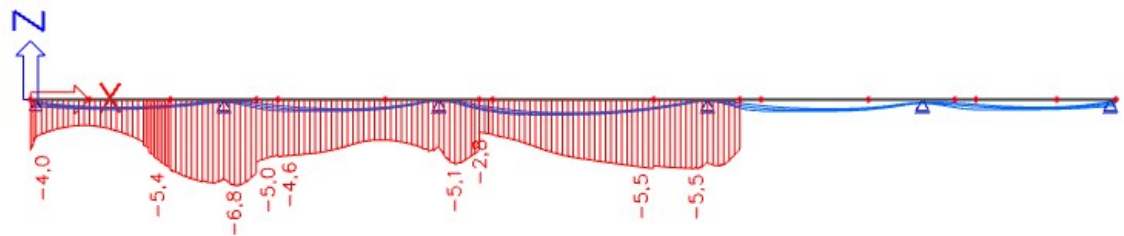
Obrázek 155 - M3, plný průřez, napětí dolní vlákna po odbednění I. části



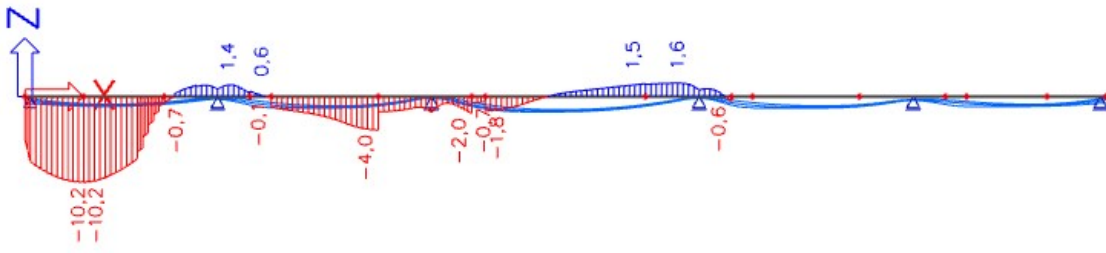
Obrázek 156 - M3, plný průřez, napětí horní vlákna po odbednění II. části



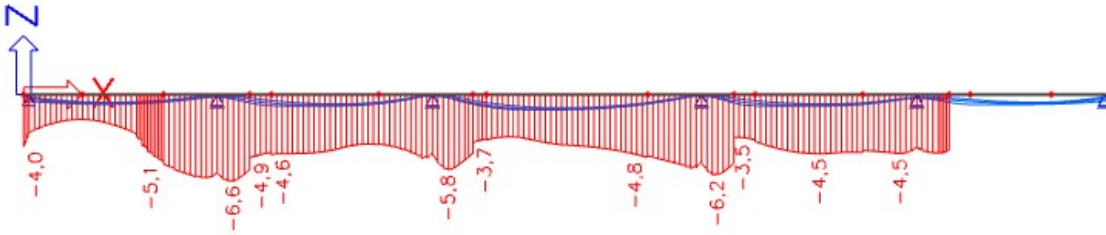
Obrázek 157 - M3, plný průřez, napětí dolní vlákna po odbednění II. části



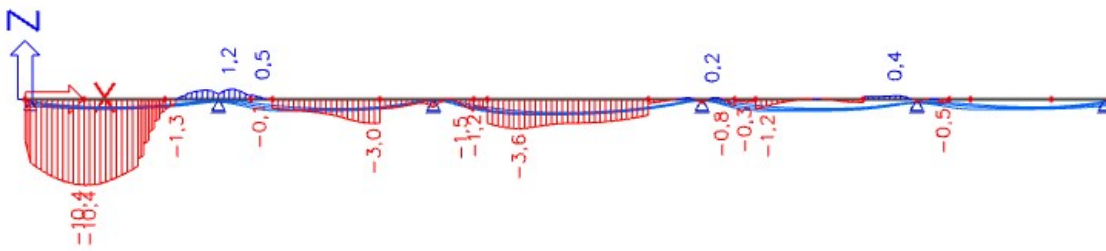
Obrázek 158 - M3, plný průřez, napětí horní vlákna po odbednění III. části



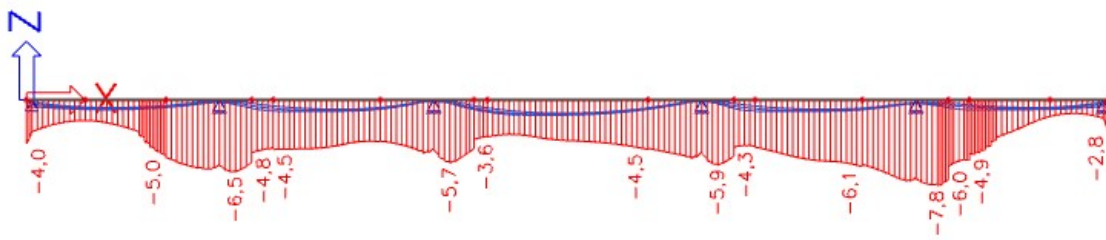
Obrázek 159 - M3, plný průřez, napětí dolní vlákna po odbednění III. části



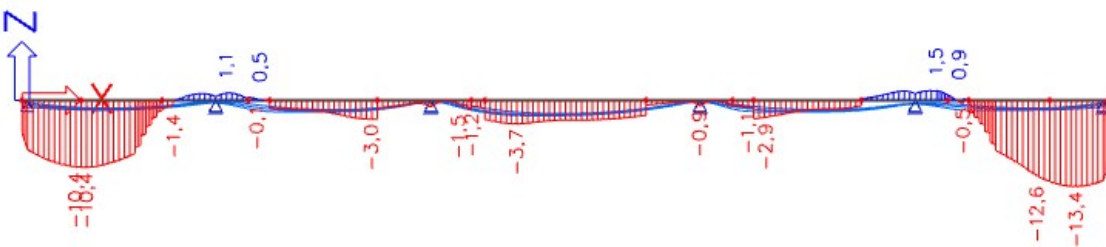
Obrázek 160 - M3, plný průřez, napětí horní vlákna po odbednění IV. části



Obrázek 161 - M3, plný průřez, napětí dolní vlákna po odbednění IV. části

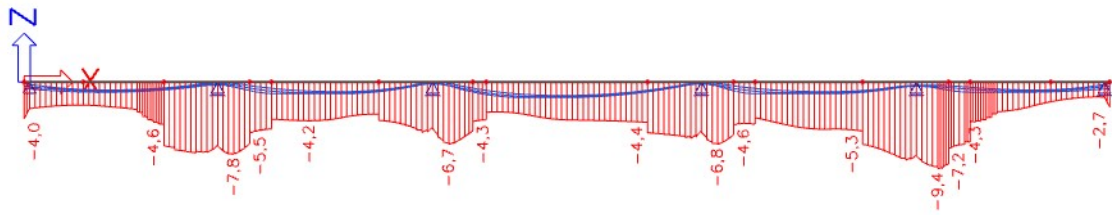


Obrázek 162 - M3, plný průřez, napětí horní vlákna po odbednění V. části

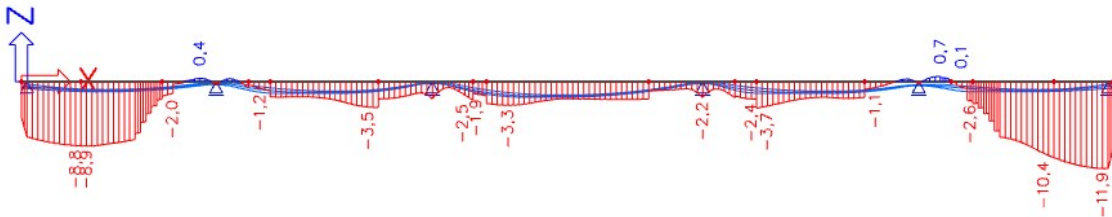


Obrázek 163 - M3, plný průřez, napětí dolní vlákna po odbednění V. části

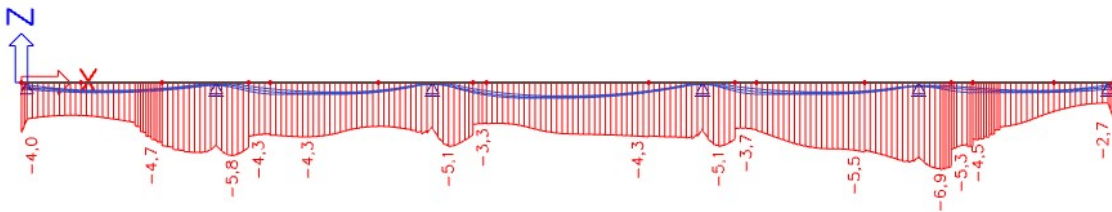
Vnesení ostatního stálého zatížení



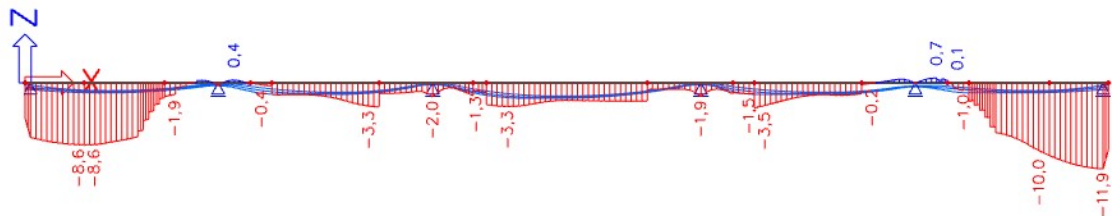
Obrázek 164 - M3, red. průřez, napětí horní vlákna při vnesení ost. st. zatížení



Obrázek 165 - M3, red. průřez, napětí dolní vlákna při vnesení ost. st. zatížení

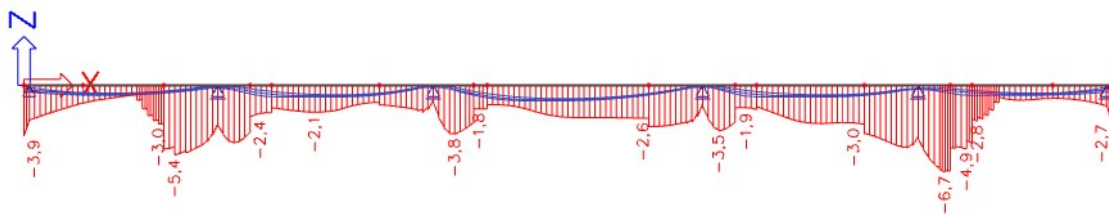


Obrázek 166 - M3, plný průřez, napětí horní vlákna při vnesení ost. st. zatížení

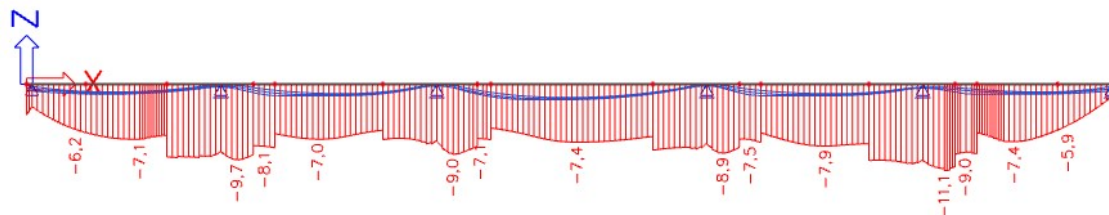


Obrázek 167 - M3, plný průřez, napětí dolní vlákna při vnesení ost. st. zatížení

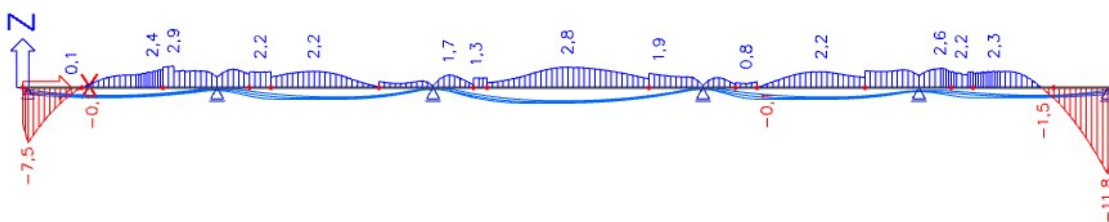
Uvedení do provozu, char. kombinace, redukovaný průřez



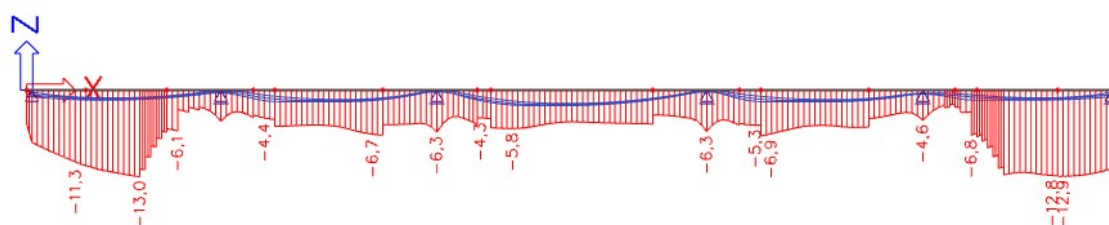
Obrázek 168 - UP - M3, char, red. průřez, napětí horní vlákna, max hodnota



Obrázek 169 - UP - M3, char, red. průřez, napětí horní vlákna, min hodnota

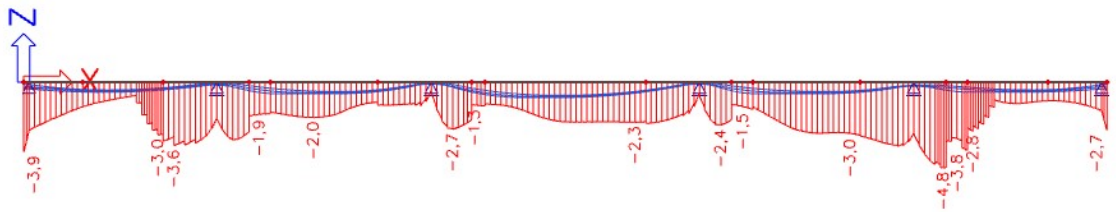


Obrázek 170 - UP - M3, char, red. průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota

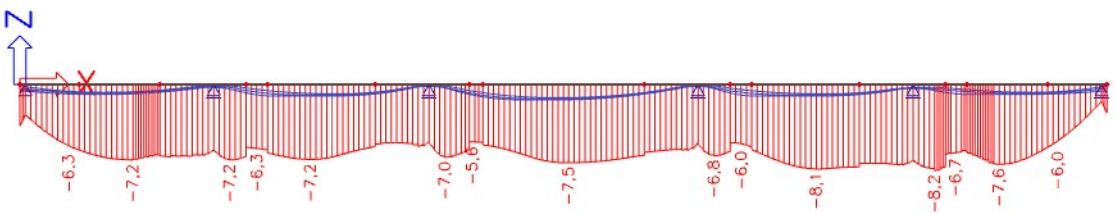


Obrázek 171 - UP - M3, char, red. průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota

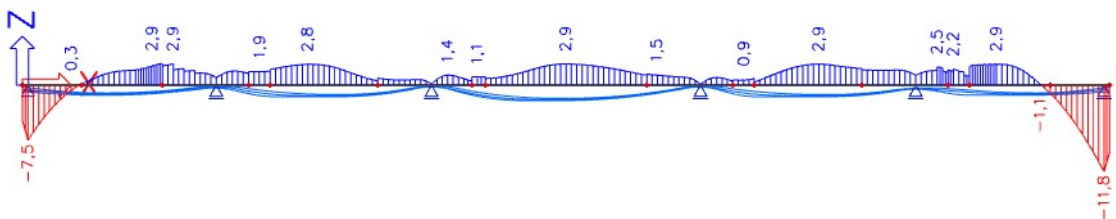
Uvedení do provozu, char. kombinace, plný průřez



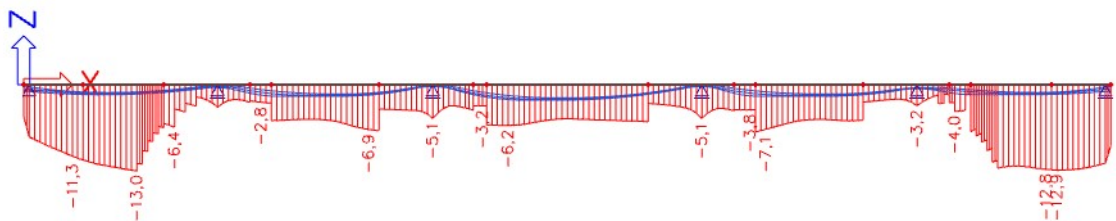
Obrázek 172 - UP - M3, char, plný průřez, napětí horní vlákna, max hodnota



Obrázek 173 - UP - M3, char, plný průřez, napětí horní vlákna, min hodnota

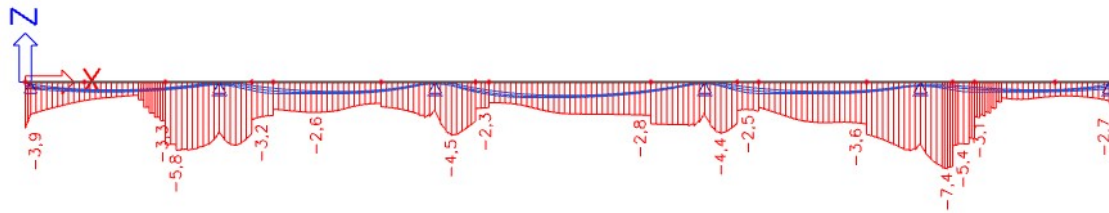


Obrázek 174 - UP - M3, char, plný průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota

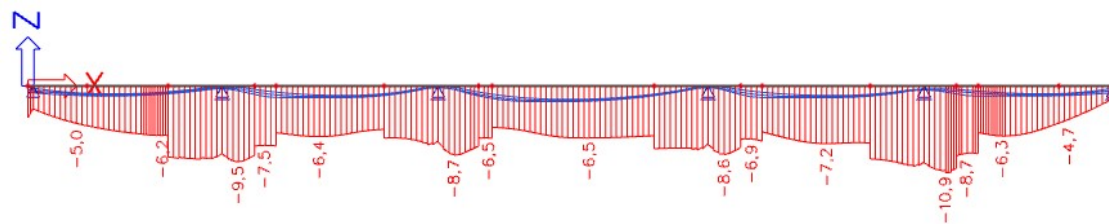


Obrázek 175 - UP - M3, char, plný průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota

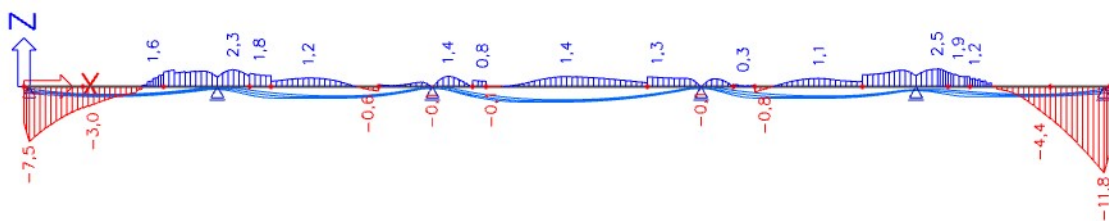
Uvedení do provozu, častá kombinace, redukovaný průřez



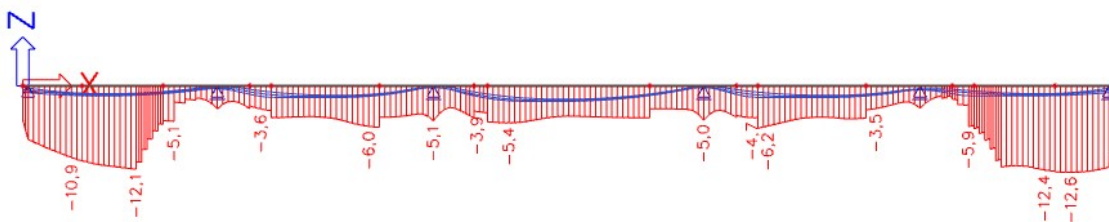
Obrázek 176 - UP - M3, častá, red. průřez, napětí horní vlákna, max hodnota



Obrázek 177 - UP - M3, častá, red. průřez, napětí horní vlákna, min hodnota

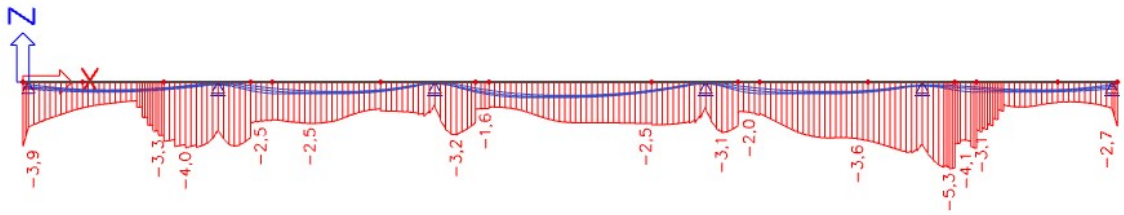


Obrázek 178 - UP - M3, častá, red. průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota

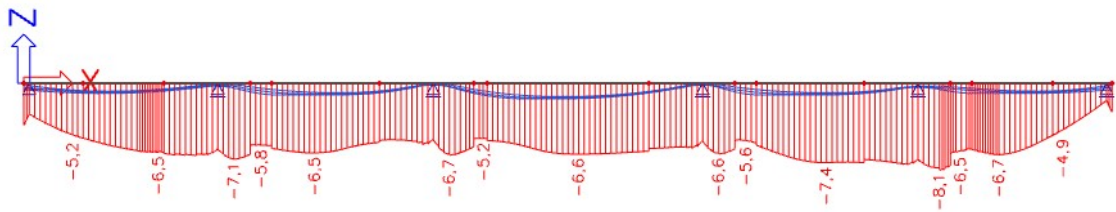


Obrázek 179 - UP - M3, častá, red. průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota

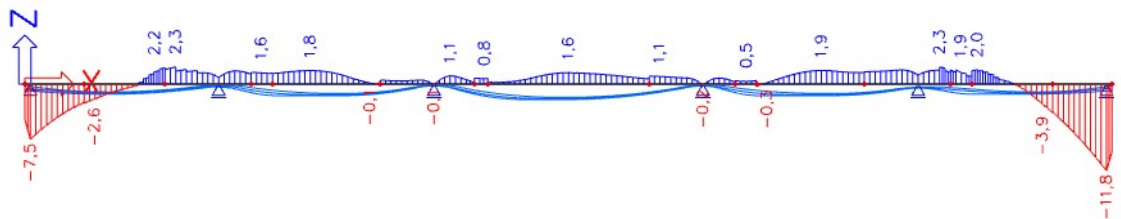
Uvedení do provozu, častá kombinace, plný průřez



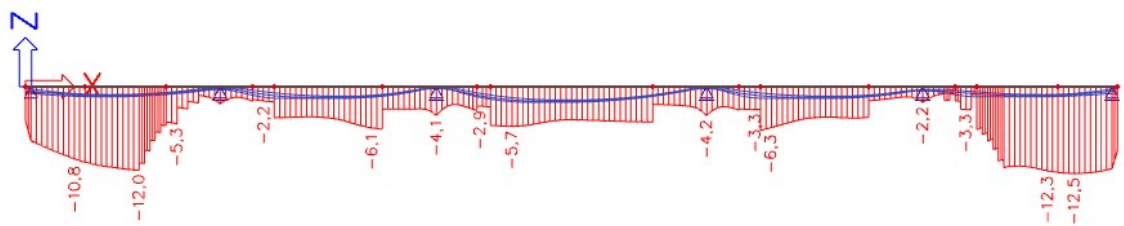
Obrázek 180 - UP - M3, častá, plný průřez, napětí horní vlákna, max hodnota



Obrázek 181 - UP - M3, častá, plný průřez, napětí horní vlákna, min hodnota

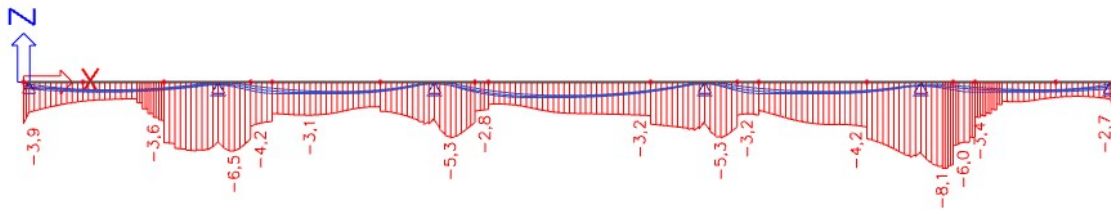


Obrázek 182 - UP - M3, častá, plný průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota

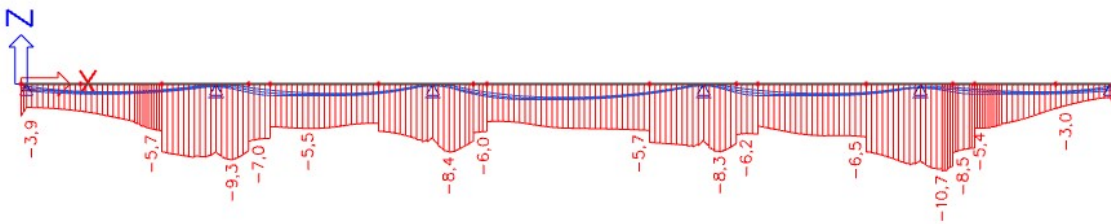


Obrázek 183 - UP - M3, častá, plný průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota

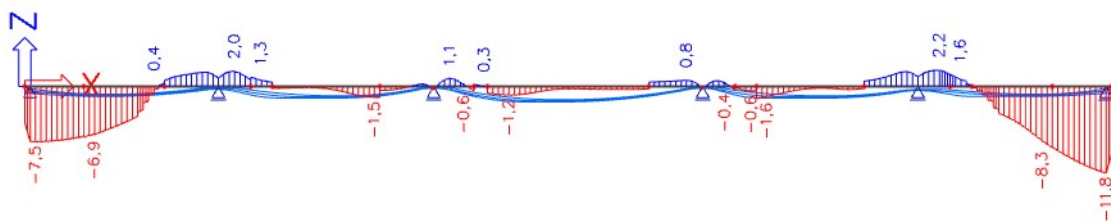
Uvedení do provozu, kvazistálá kombinace, redukovaný průřez



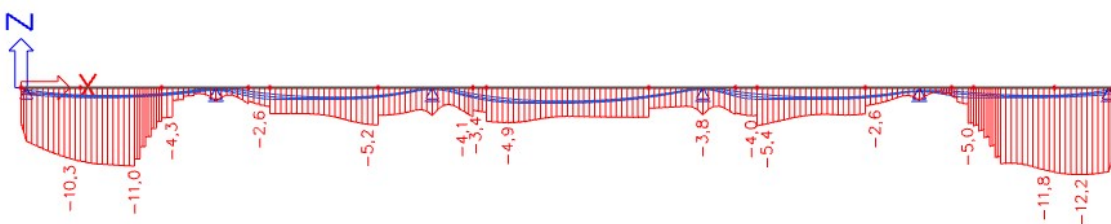
Obrázek 184 - UP - M3, kvazi, red. průřez, napětí horní vlákna, max hodnota



Obrázek 185 - UP - M3, kvazi, red. průřez, napětí horní vlákna, min hodnota

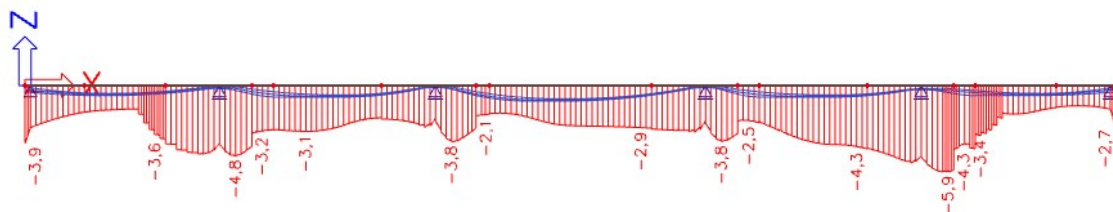


Obrázek 186 - UP - M3, kvazi, red. průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota

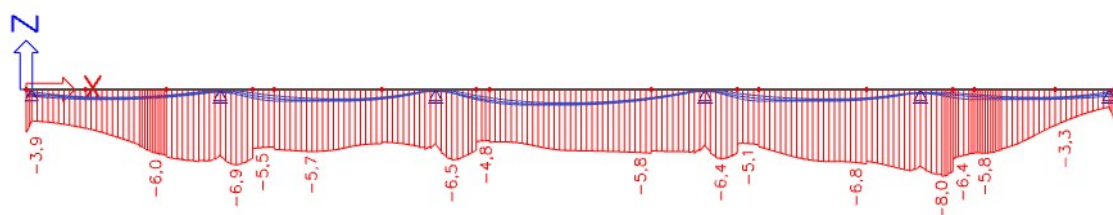


Obrázek 187 - UP - M3, kvazi, red. průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota

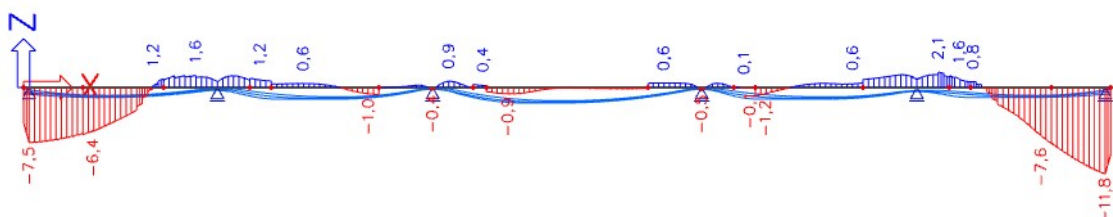
Uvedení do provozu, kvazistálá kombinace, plný průřez



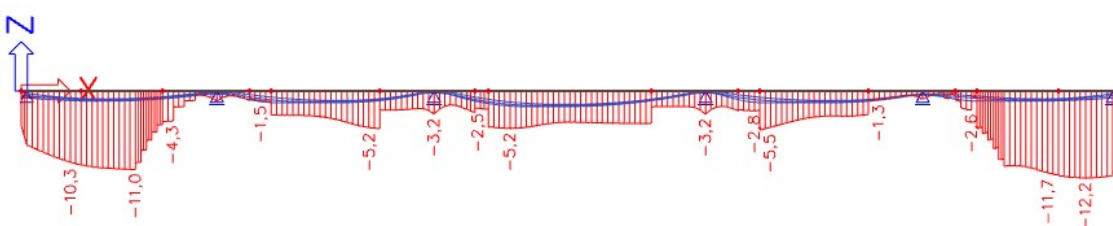
Obrázek 188 - UP - M3, kvazi, plný průřez, napětí horní vlákna, max hodnota



Obrázek 189 - UP - M3, kvazi, plný průřez, napětí horní vlákna, min hodnota



Obrázek 190 - UP - M3, kvazi, plný průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota



Obrázek 191 - UP - M3, kvazi, plný průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota

10.2 Posouzení MSP

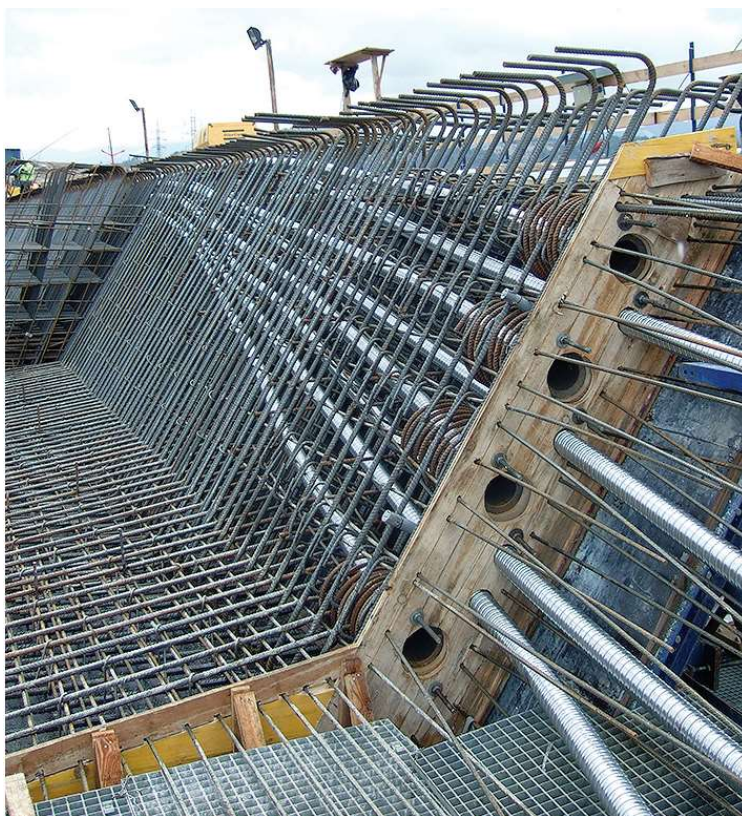
Tento model nesplňuje podmínku omezení trhlin v žádném poli. Bude třeba navýšit množství předpínací výztuže v prostředním poli, jelikož snížit tahové účinky uprostřed pole ve spodních vláknech už může jen na úkor snížení kotevních vzdáleností kabelů pro zajištění ideálního průběhu kabelů. V poli dva a čtyři lze stále ještě zvýšit výstřednost kabelů. Její zvýšení ovšem stále nezabrání tahům v místě pracovní spáry při časté kombinaci zatížení. Bude proto třeba konstrukci opravdu předeplnout více.

11 Model 4

11.1 Průběhy napětí

Tento model tedy bude mít 4 vrstvy kabelů, které se budou kotvit v počtu jedné poloviny na spáru. Průběžné kabely budou vedeny vždy blíže vnější stěně, aby se napínací pistole lépe dostala k napínaným kabelům. To znamená, že si kabely jakoby v jedné úrovni budou muset překřížit mezi pracovními spárami. Také předpokládám, že minimální požadovaná osová vzdálenost mezi napínaným kabelem a průběžným je stejná jako minimální vzdálenost osy napínaného kabelu vůči povrchu betonu zmenšená o krycí vrstvu. Tím pádem by moje vzdálenost byla 218 mm. Předpokládám tedy, že kabely nejbližší sebe nebudou v místě kotvení a tak vzdálenost mezi nimi vždy požadují minimálně 200 mm. Vzhledem k požadované minimální vzdálenosti os kotvených kabelů, která je 434 mm uvažuji, že dvojice kabelů si své místo vymění mezi pracovní spárou a středem rozpětí pole. V modelu v programu Scia tuto výměnu neuvažuji a předpokládám, že na výsledek bude mít minimální vliv. Průběh kanálků a kabelů pracovní spárou uvažuji přibližně tak, jak je znázorněno na obrázku níže, včetně rozpletu mezi místem nad podporou a pracovní spárou.

Do modelu jsem ještě musel doplnit jednu vrstvu kabelů pouze do prostředního pole a nad krajními pilíři jsem musel znatelně snížit excentricitu kabelů. Kotvy u levé opěry budou dodatečně také napnuty, čímž se všechny kabely v krajním levém poli budou napínat z obou stran. Pro lepší představu nechám pod průběhem napětí vykreslený čárový model konstrukce. Bude tak vidět, kde začínají náběhy a kde jsou tedy ještě přijatelná tahová napětí v časté kombinaci zatížení.



Obrázek 192 - Čelo betonážní etapy [16]

Stavební stádia, redukovaný průřez



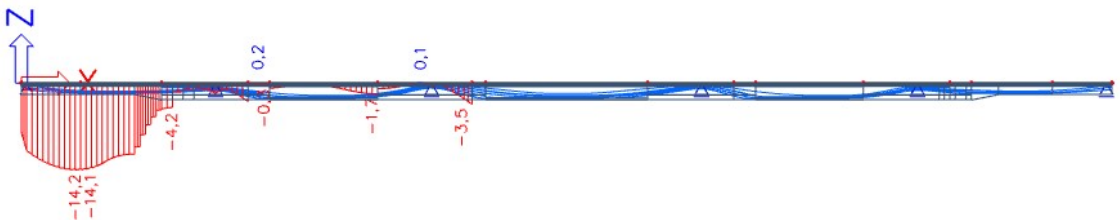
Obrázek 193 - M4, red. průřez, napětí horní vlákna po odbednění I. části



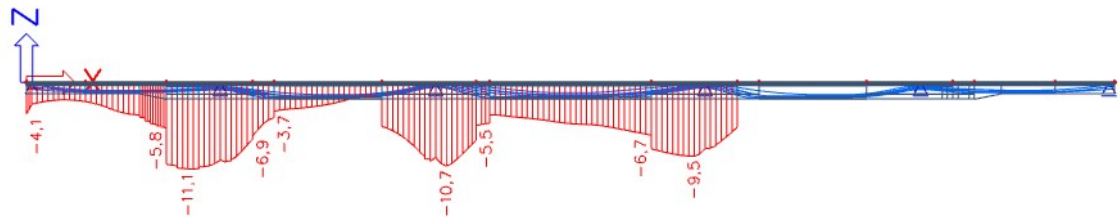
Obrázek 194 - M4, red. průřez, napětí dolní vlákna po odbednění I. části



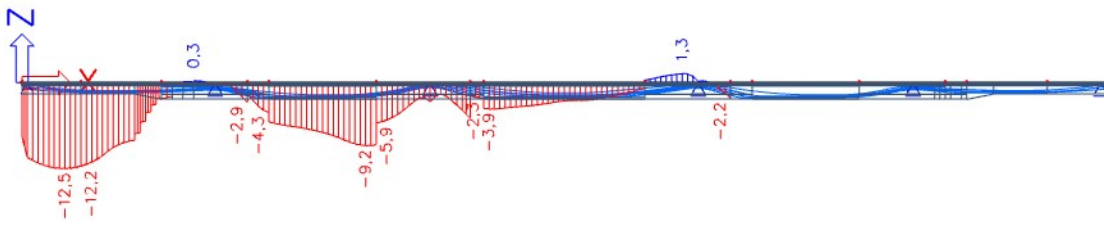
Obrázek 195 - M4, red. průřez, napětí horní vlákna po odbednění II. části



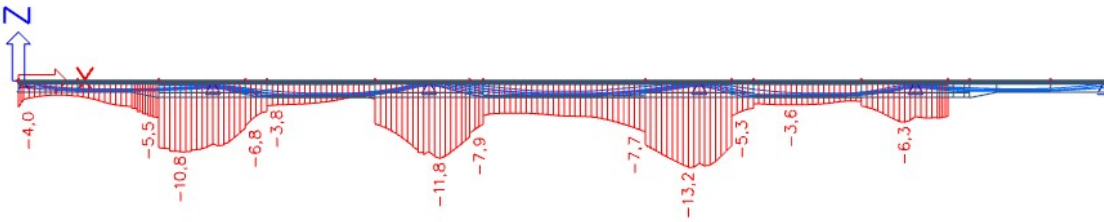
Obrázek 196 - M4, red. průřez, napětí dolní vlákna po odbednění II. části



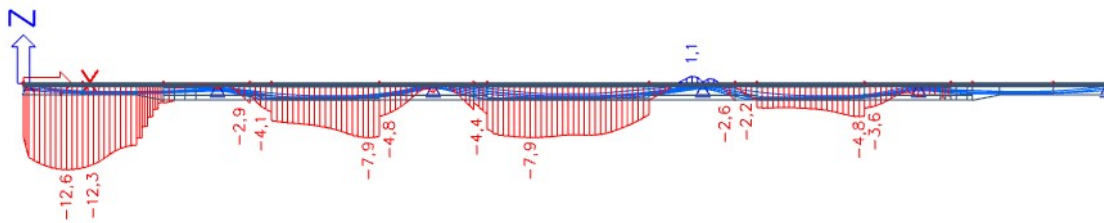
Obrázek 197 - M4, red. průřez, napětí horní vlákna po odbednění III. části



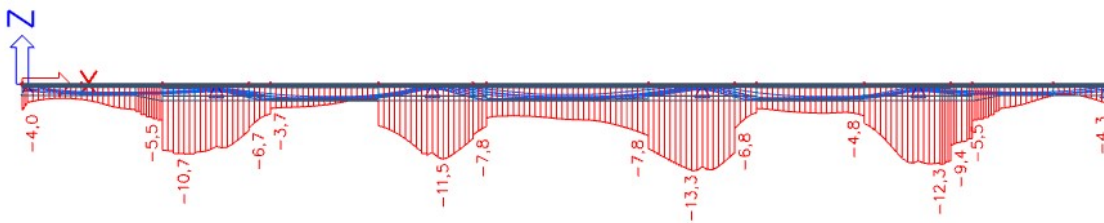
Obrázek 198 - M4, red. průřez, napětí dolní vlákna po odbednění III. části



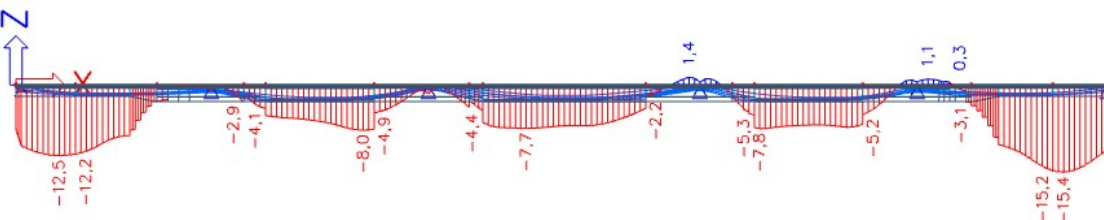
Obrázek 199 - M4, red. průřez, napětí horní vlákna po odbednění IV. části



Obrázek 200 - M4, red. průřez, napětí dolní vlákna po odbednění IV. části



Obrázek 201 - M4, red. průřez, napětí horní vlákna po odbednění V. části



Obrázek 202 - M4, red. průřez, napětí dolní vlákna po odbednění V. části

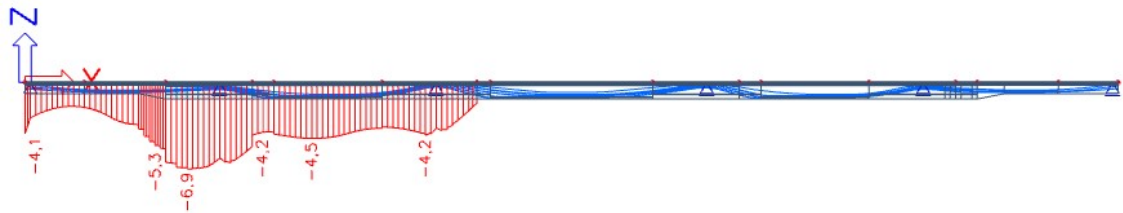
Stavební stádia, plný průřez



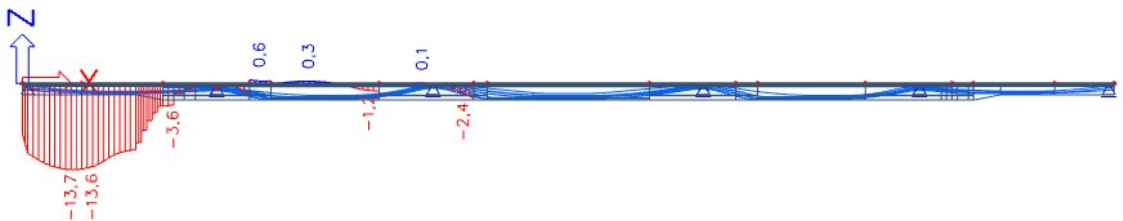
Obrázek 203 - M4, plný průřez, napětí horní vlákna po odbednění I. části



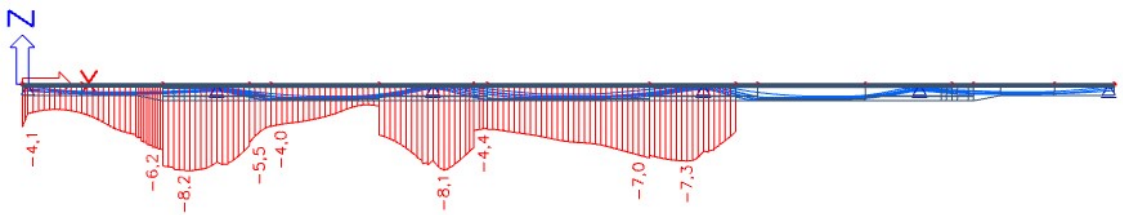
Obrázek 204 - M4, plný průřez, napětí dolní vlákna po odbednění I. části



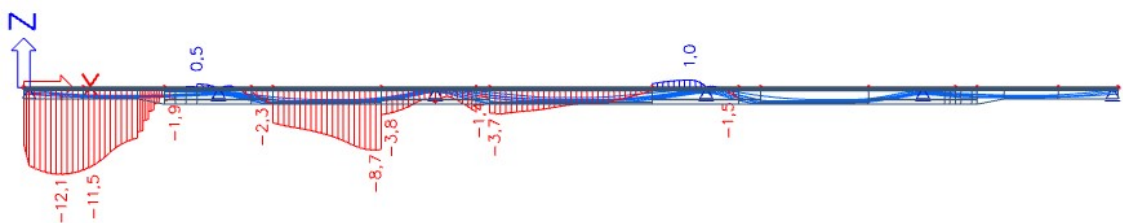
Obrázek 205 - M4, plný průřez, napětí horní vlákna po odbednění II. části



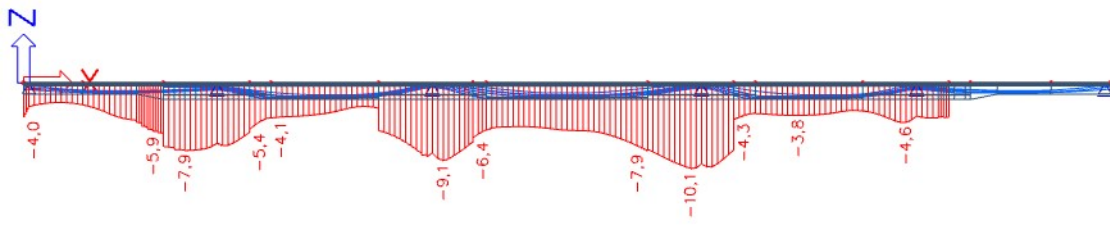
Obrázek 206 - M4, plný průřez, napětí dolní vlákna po odbednění II. části



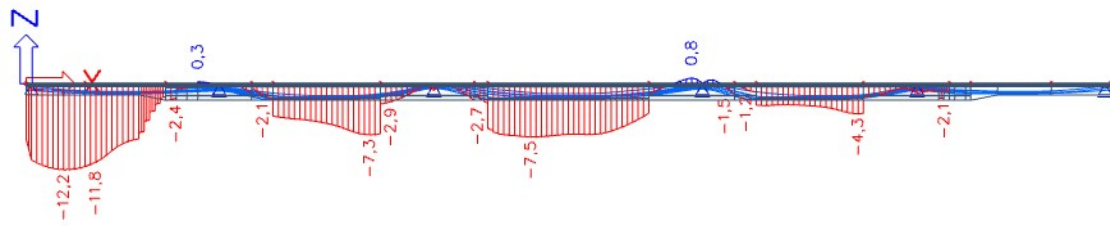
Obrázek 207 - M4, plný průřez, napětí horní vlákna po odbednění III. části



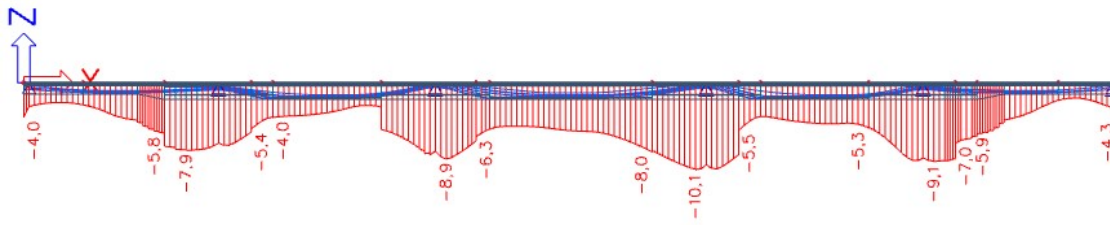
Obrázek 208 - M4, plný průřez, napětí dolní vlákna po odbednění III. části



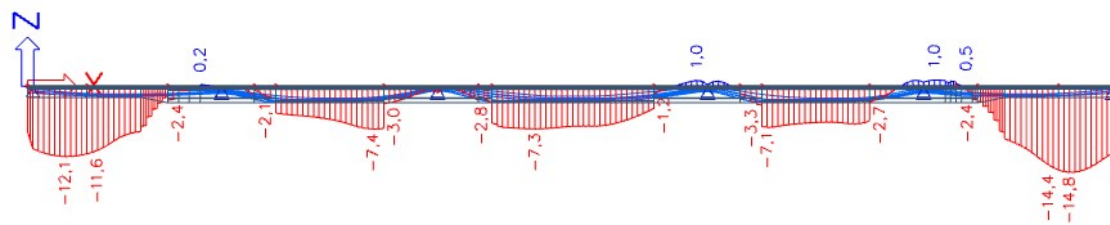
Obrázek 209 - M4, plný průřez, napětí horní vlákna po odbednění IV. části



Obrázek 210 - M4, plný průřez, napětí dolní vlákna po odbednění IV. části

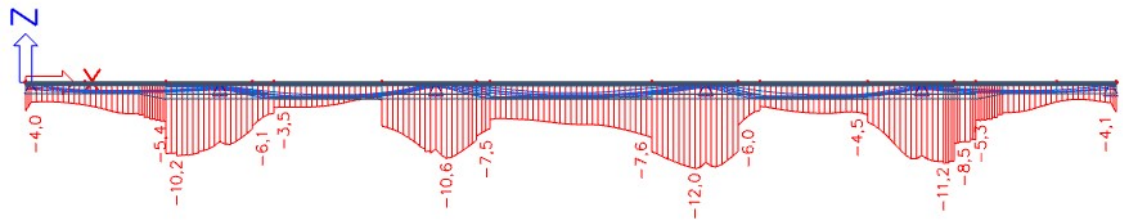


Obrázek 211 - M4, plný průřez, napětí horní vlákna po odbednění V. části

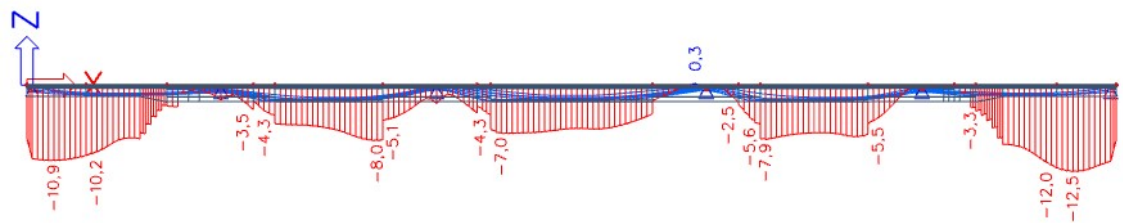


Obrázek 212 - M4, plný průřez, napětí dolní vlákna po odbednění V. části

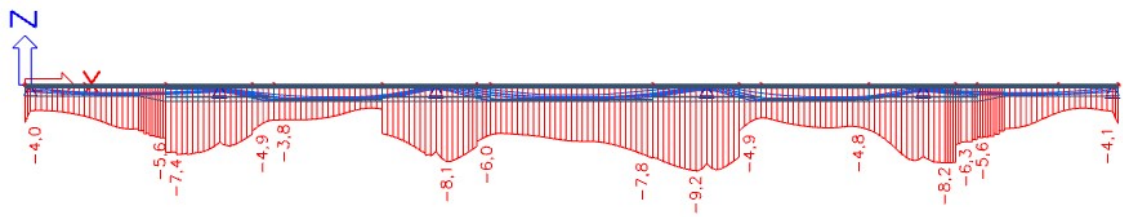
Vnesení ostatního stálého zatížení



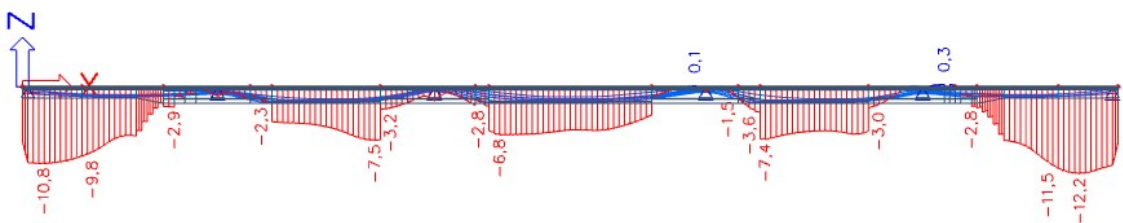
Obrázek 213 - M4, red. průřez, napětí horní vlákna při vnesení ost. st. zatížení



Obrázek 214 - M4, red. průřez, napětí dolní vlákna při vnesení ost. st. zatížení

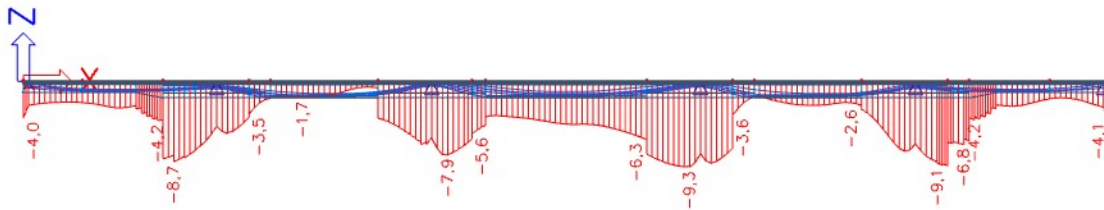


Obrázek 215 - M4, plný průřez, napětí horní vlákna při vnesení ost. st. zatížení

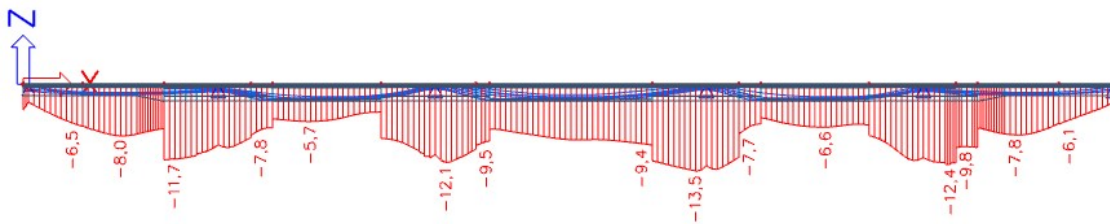


Obrázek 216 - M4, plný průřez, napětí dolní vlákna při vnesení ost. st. zatížení

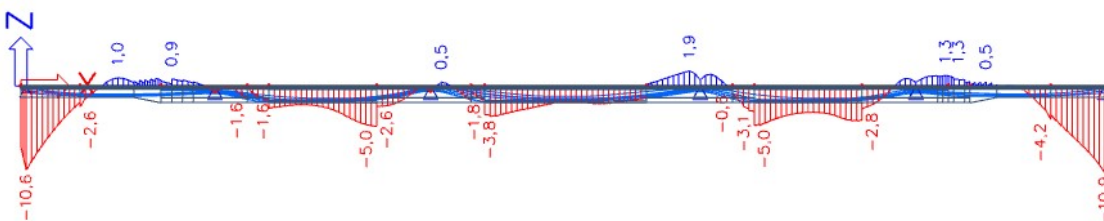
Uvedení do provozu, char. kombinace, redukovaný průřez



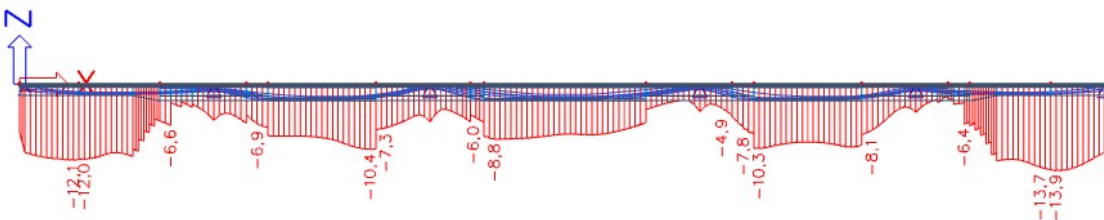
Obrázek 217 - UP - M4, char, red. průřez, napětí horní vlákna, max hodnota



Obrázek 218 - UP - M4, char, red. průřez, napětí horní vlákna, min hodnota

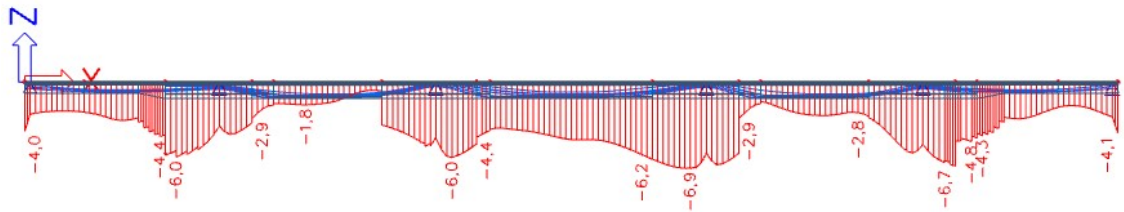


Obrázek 219 - UP - M4, char, red. průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota

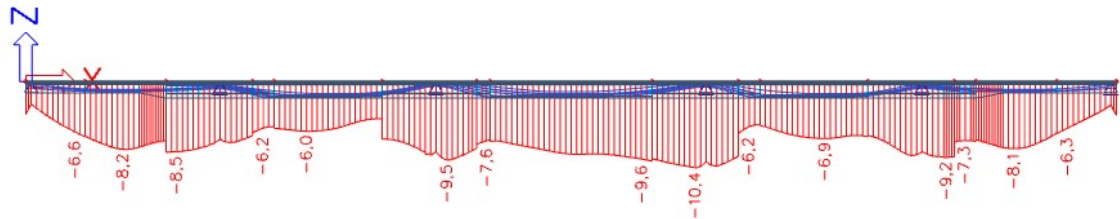


Obrázek 220 - UP - M4, char, red. průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota

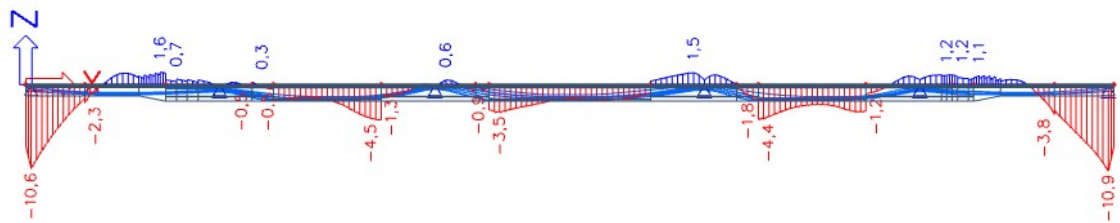
Uvedení do provozu, char. kombinace, plný průřez



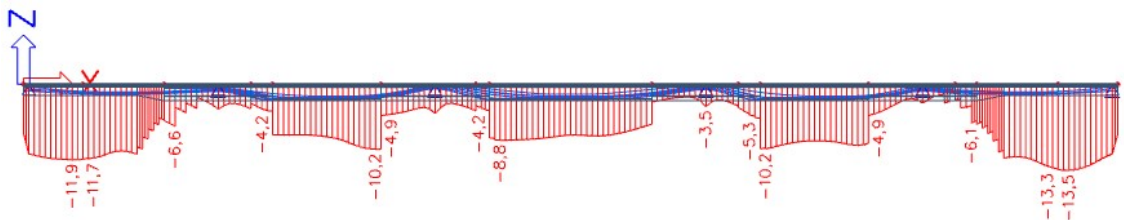
Obrázek 221 - UP - M4, char, plný průřez, napětí horní vlákna, max hodnota



Obrázek 222 - UP - M4, char, plný průřez, napětí horní vlákna, min hodnota

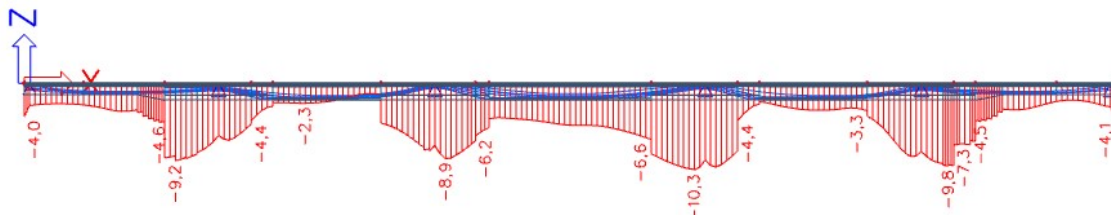


Obrázek 223 - UP - M4, char, plný průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota

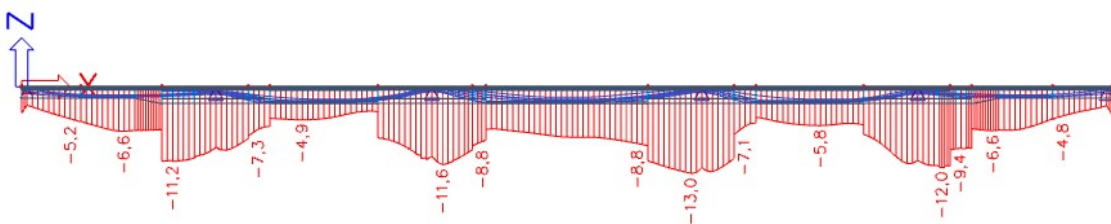


Obrázek 224 - UP - M4, char, plný průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota

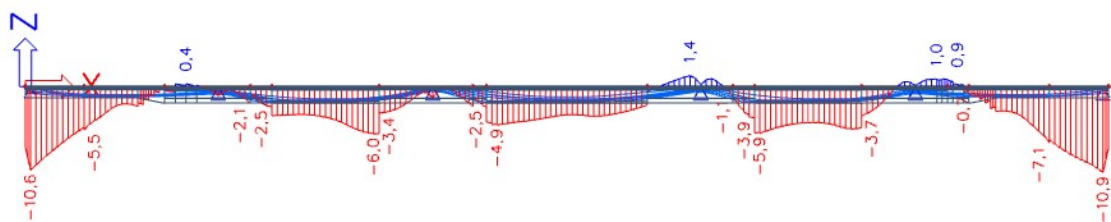
Uvedení do provozu, častá kombinace, redukovaný průřez



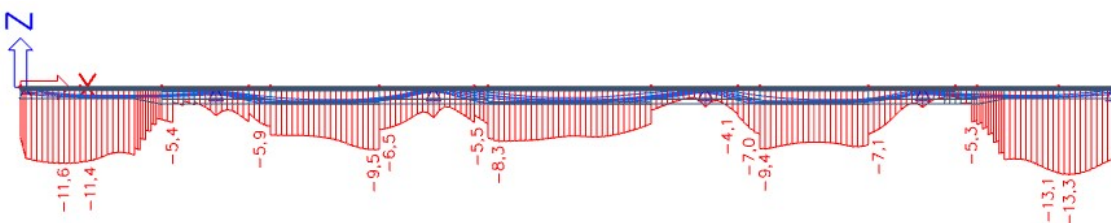
Obrázek 225 - UP - M4, častá, red. průřez, napětí horní vlákna, max hodnota



Obrázek 226 - UP - M4, častá, red. průřez, napětí horní vlákna, min hodnota

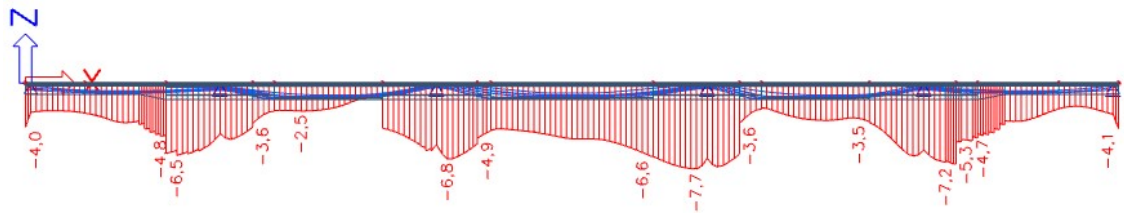


Obrázek 227 - UP - M4, častá, red. průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota

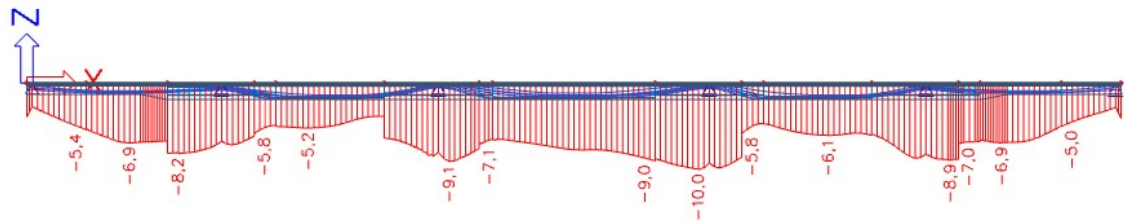


Obrázek 228 - UP - M4, častá, red. průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota

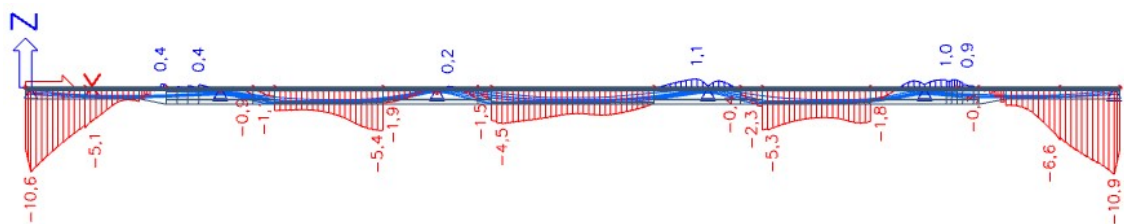
Uvedení do provozu, častá kombinace, plný průřez



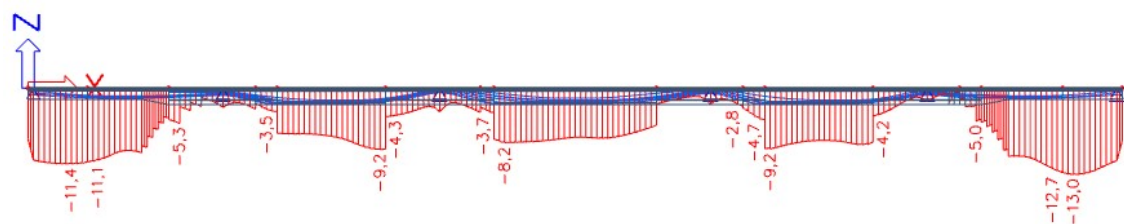
Obrázek 229 - UP - M4, častá, plný průřez, napětí horní vlákna, max hodnota



Obrázek 230 - UP - M4, častá, plný průřez, napětí horní vlákna, min hodnota

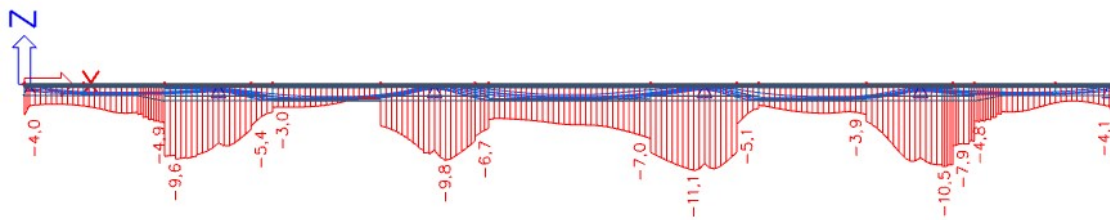


Obrázek 231 - UP - M4, častá, plný průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota

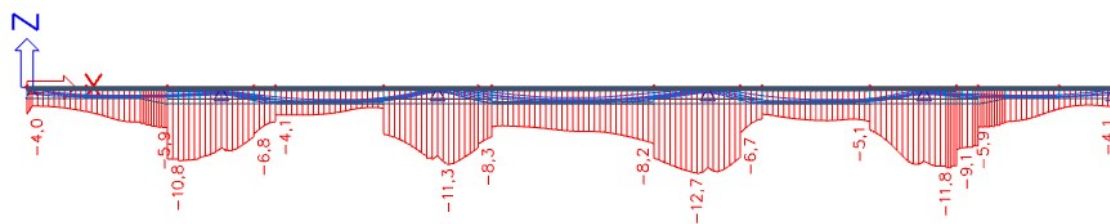


Obrázek 232 - UP - M4, častá, plný průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota

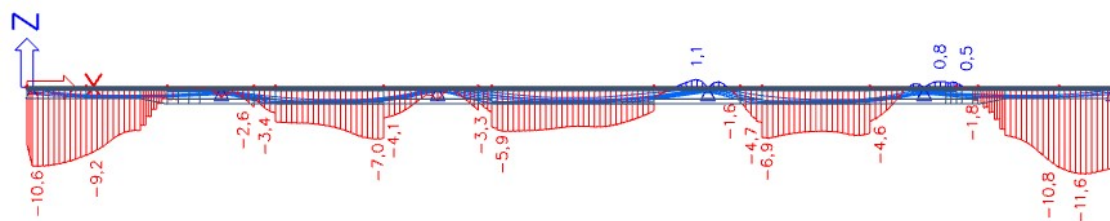
Uvedení do provozu, kvazistálá kombinace, redukovaný průřez



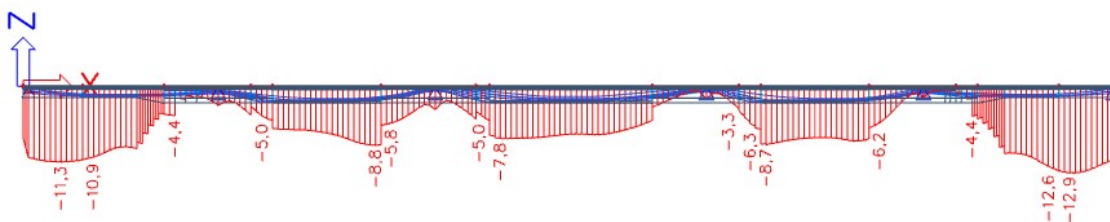
Obrázek 233 - UP - M4, kvazi, red. průřez, napětí horní vlákna, max hodnota



Obrázek 234 - UP - M4, kvazi, red. průřez, napětí horní vlákna, min hodnota

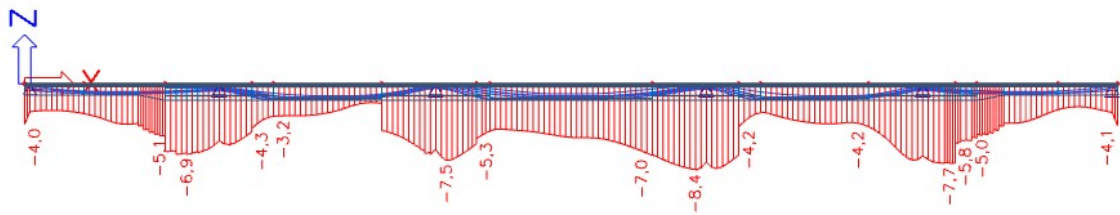


Obrázek 235 - UP - M4, kvazi, red. průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota

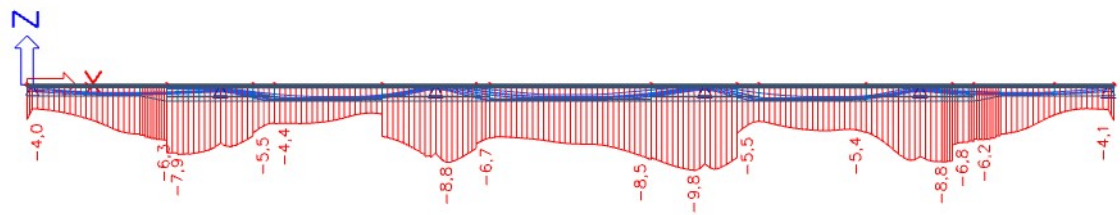


Obrázek 236 - UP - M4, kvazi, red. průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota

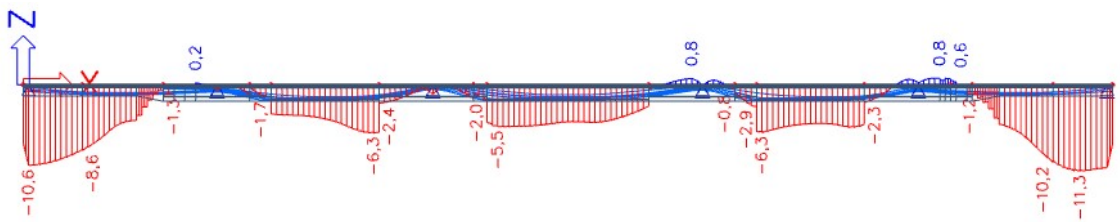
Uvedení do provozu, kvazistálá kombinace, plný průřez



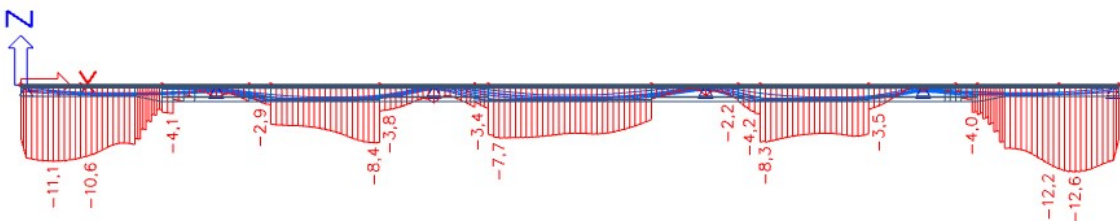
Obrázek 237 - UP - M4, kvazi, plný průřez, napětí horní vlákna, max hodnota



Obrázek 238 - UP - M4, kvazi, plný průřez, napětí horní vlákna, min hodnota

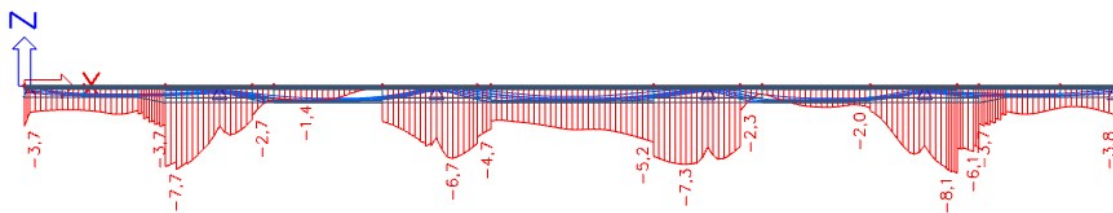


Obrázek 239 - UP - M4, kvazi, plný průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota

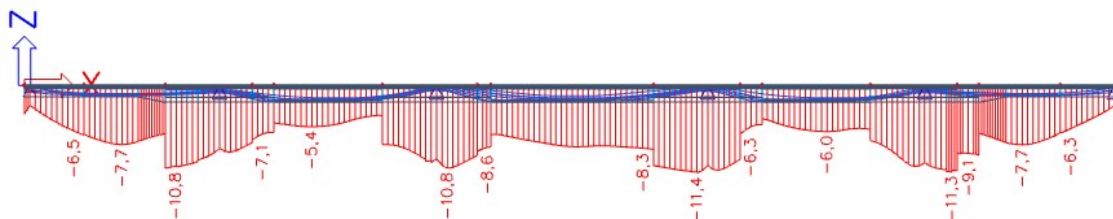


Obrázek 240 - UP - M4, kvazi, plný průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota

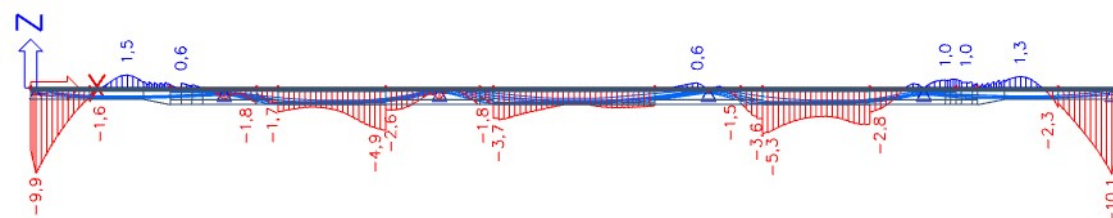
Konec životnosti, char. kombinace, redukovaný průřez



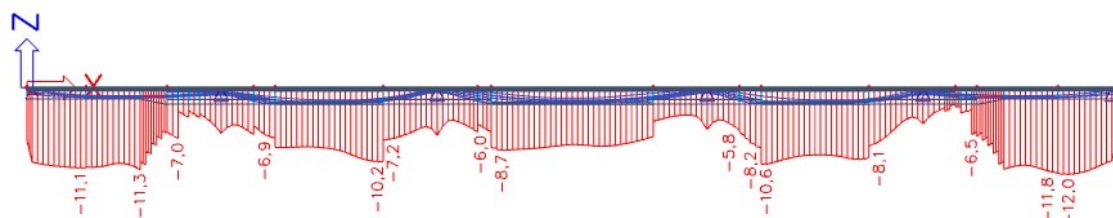
Obrázek 241 - KZ - M4, char, red. průřez, napětí horní vlákna, max hodnota



Obrázek 242- KZ - M4, char, red. průřez, napětí horní vlákna, min hodnota

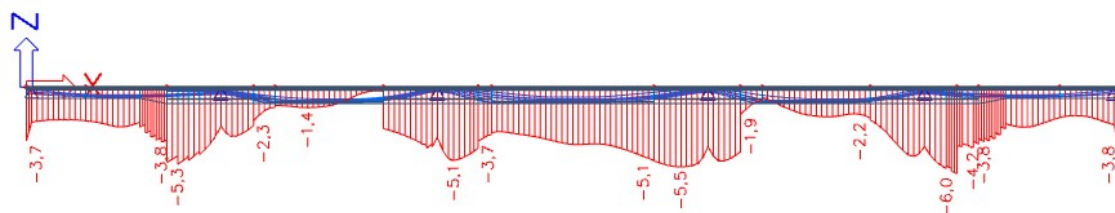


Obrázek 243- KZ - M4, char, red. průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota

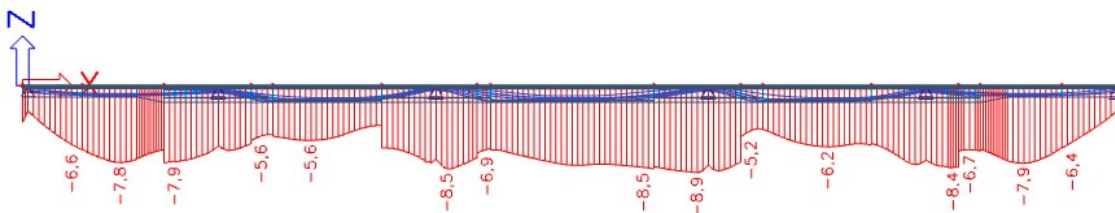


Obrázek 244- KZ - M4, char, red. průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota

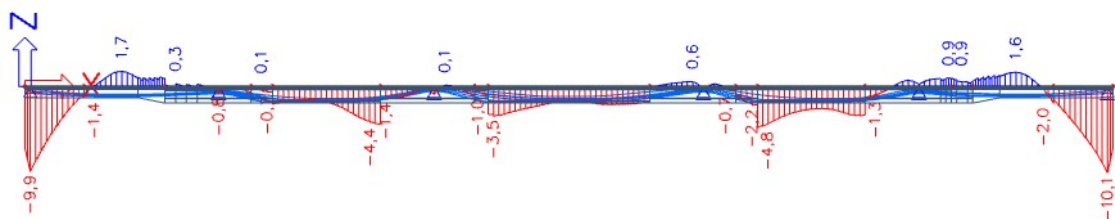
Konec životnosti, char. kombinace, plný průřez



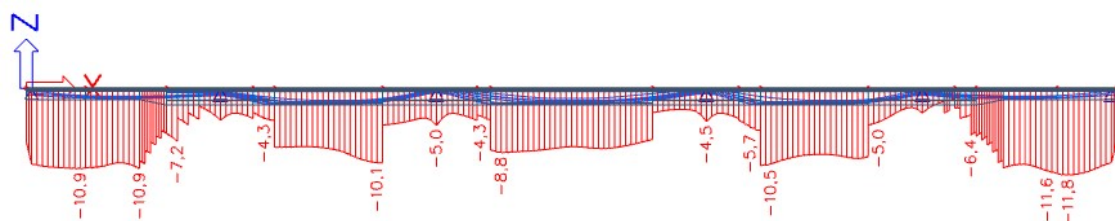
Obrázek 245 - KZ - M4, char, plný průřez, napětí horní vlákna, max hodnota



Obrázek 246 - KZ - M4, char, plný průřez, napětí horní vlákna, min hodnota

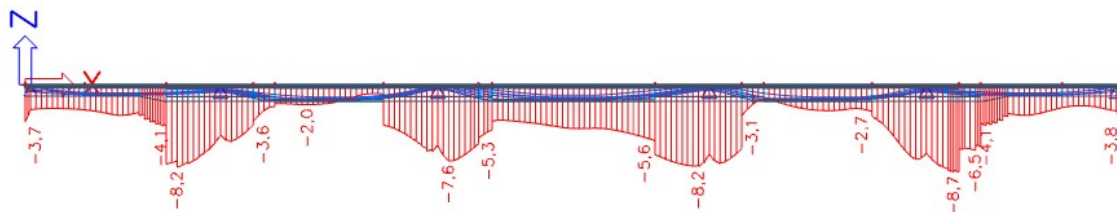


Obrázek 247 - KZ - M4, char, plný průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota

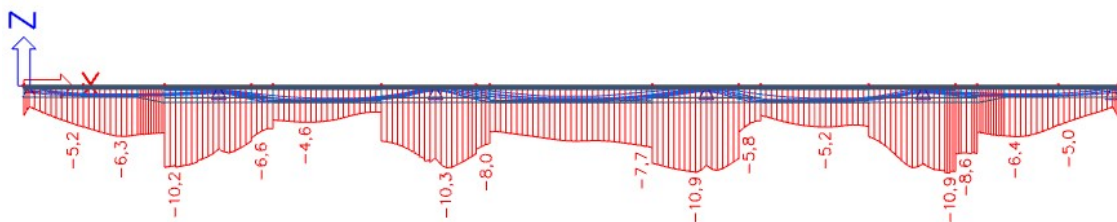


Obrázek 248 - KZ - M4, char, plný průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota

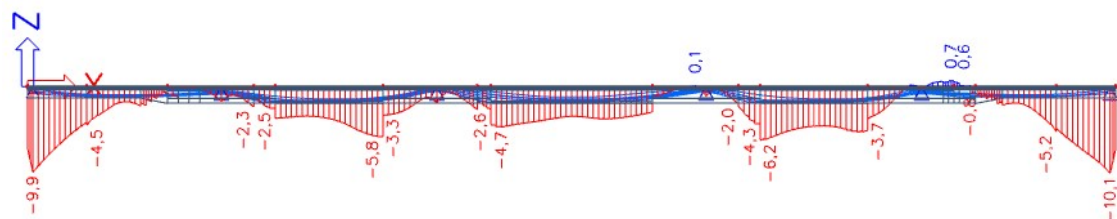
Konec životnosti, častá kombinace, redukovaný průřez



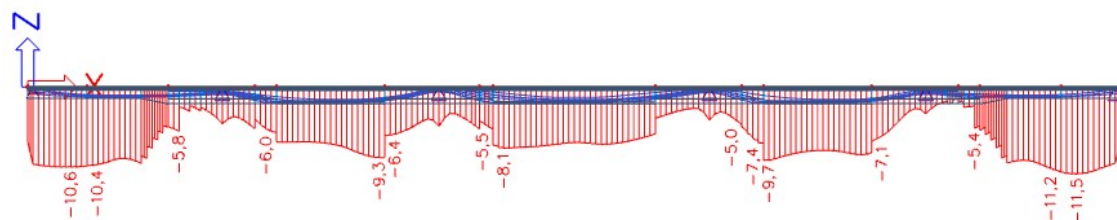
Obrázek 249 - KZ - M4, častá, red. průřez, napětí horní vlákna, max hodnota



Obrázek 250 - KZ - M4, častá, red. průřez, napětí horní vlákna, min hodnota

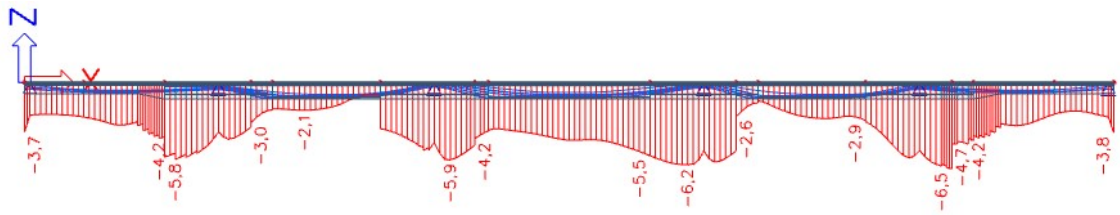


Obrázek 251 - KZ - M4, častá, red. průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota

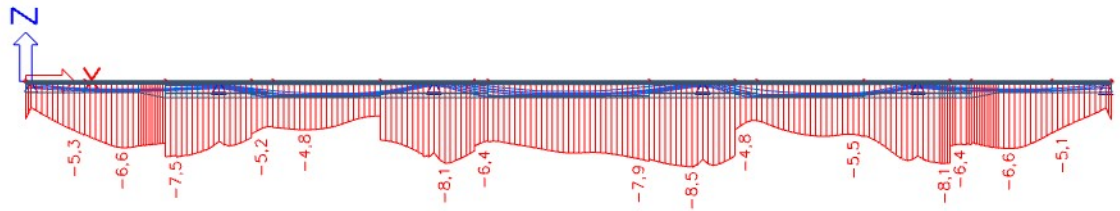


Obrázek 252 - KZ - M4, častá, red. průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota

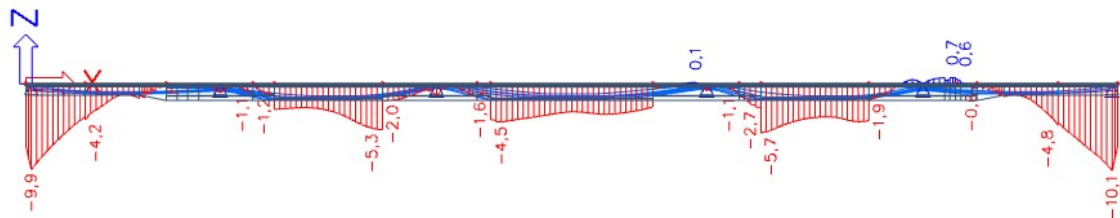
Konec životnosti, častá kombinace, plný průřez



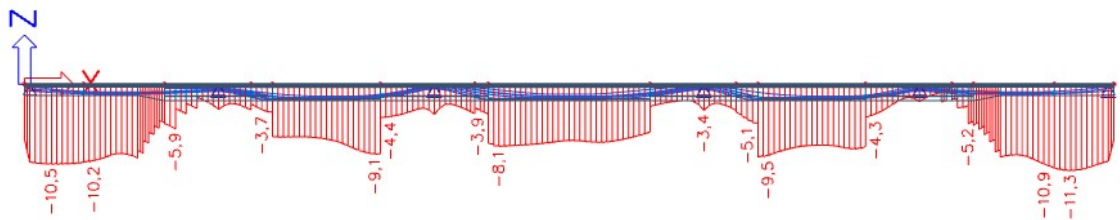
Obrázek 253 - KZ - M4, častá, plný průřez, napětí horní vlákna, max hodnota



Obrázek 254 - KZ - M4, častá, plný průřez, napětí horní vlákna, min hodnota

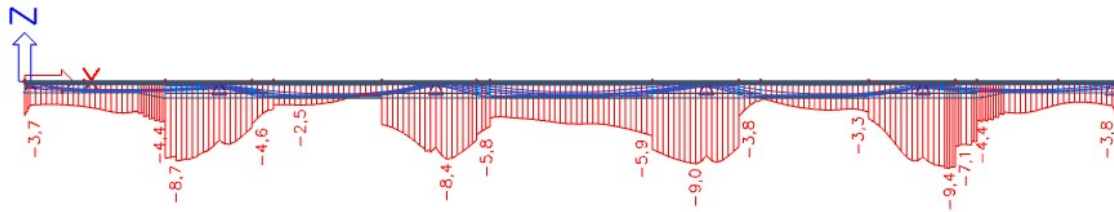


Obrázek 255 - KZ - M4, častá, plný průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota

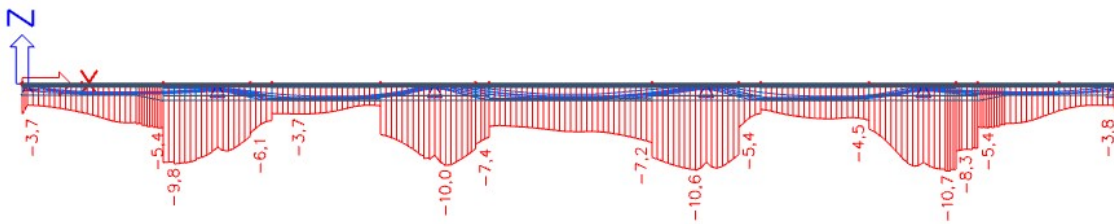


Obrázek 256 - KZ - M4, častá, plný průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota

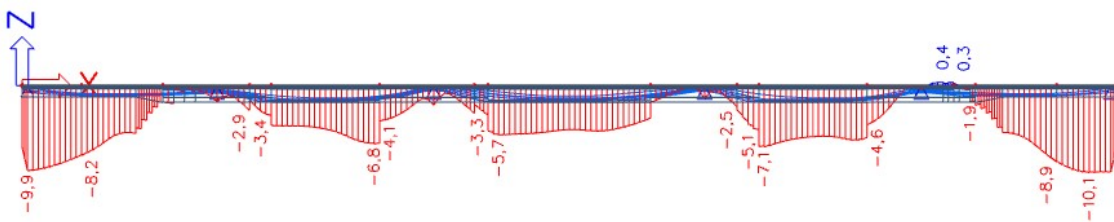
Konec životnosti, kvazistálá kombinace, redukovaný průřez



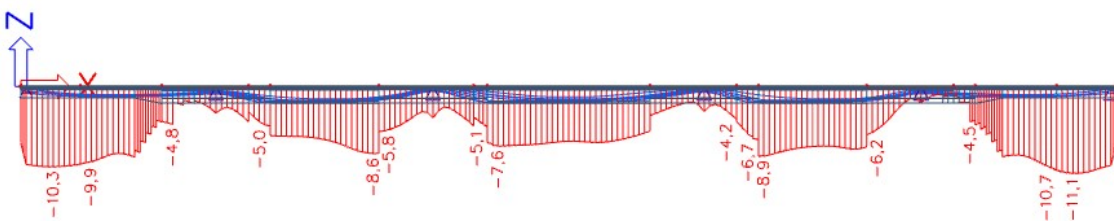
Obrázek 257 - KZ - M4, kvazi, red. průřez, napětí horní vlákna, max hodnota



Obrázek 258 - KZ - M4, kvazi, red. průřez, napětí horní vlákna, min hodnota

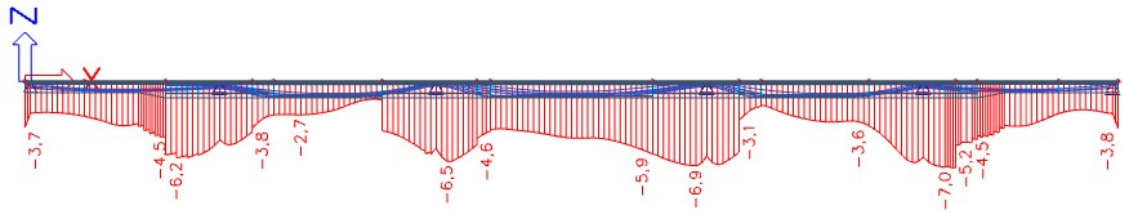


Obrázek 259 - KZ - M4, kvazi, red. průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota

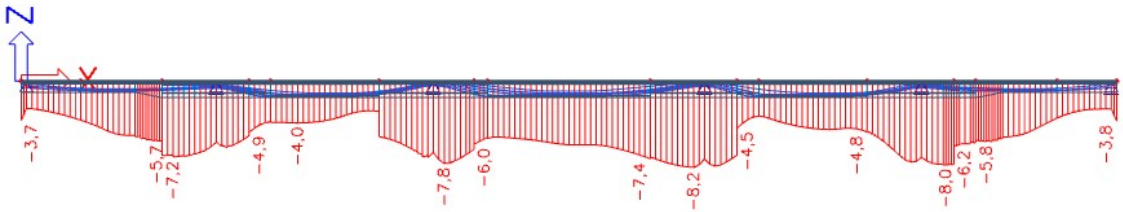


Obrázek 260 - KZ - M4, kvazi, red. průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota

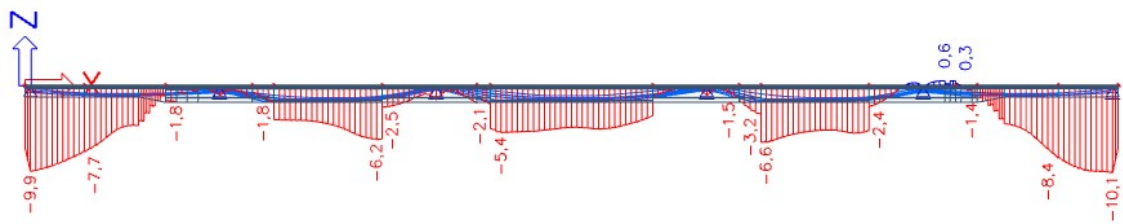
Konec životnosti, kvazistálá kombinace, plný průřez



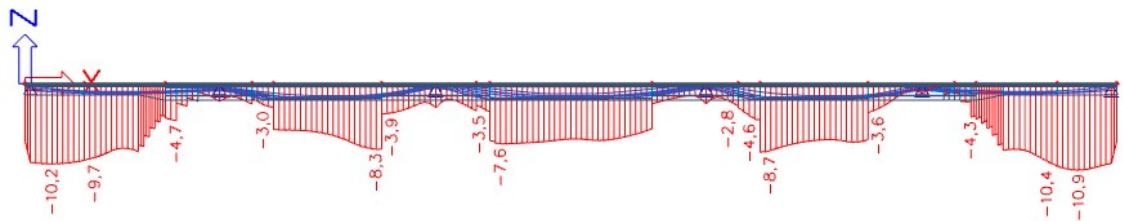
Obrázek 261 - KZ - M4, kvazi, plný průřez, napětí horní vlákna, max hodnota



Obrázek 262 - KZ - M4, kvazi, plný průřez, napětí horní vlákna, max hodnota



Obrázek 263 - KZ - M4, kvazi, plný průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota



Obrázek 264 - KZ - M4, kvazi, plný průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota

11.2 Posouzení MSP

Omezení napětí

Při charakteristické kombinaci je největší tlakové napětí v redukovaném průřezu 13,9 MPa a v plném 13,5 MPa. Obě tyto hodnoty vyhovují, protože jsou menší než 21,0 MPa. Při kvazistálé kombinaci je maximální tlakové napětí omezeno hodnotou 15,75 MPa. V redukovaném průřezu byla největší naměřená tlaková hodnota 12,9 MPa a v plném 12,6 MPa. I tyto dvě hodnoty vyhovují. Podmínka omezení napětí ve výztuži je také předpokládám splněna.

Omezení trhlin

Ve stavebních stavech není překročena hodnota maximálního tahového napětí. Při časté kombinaci se ovšem s tahovým napětím setkáme. To se vyskytuje nad podporami ve spodních vláknech. Zde ovšem předpokládáme, že vlivem velkých tlakových napětí při horních vláknech a za uvažování přibližně lineárního průběhu napětí po průřezu budou kanálky včetně okolních 100 mm bezpečně v tlačené části průřezu. Tímto předpokládám, že je podmínka omezení napětí taktéž splněna.

Další mezní stavy

Maximální dosažený průhyb je necelých 40 mm, což podmínku omezení průhybu splňuje také. Předpokládám, že konstrukce by vyhověla i na další posouzení jako omezení napětí, které ovšem neposuzuji.

12 Závěr

Na začátku jsem popsal typy mostů, včetně doporučených rozpětí pro každý typ příčného uspořádání. To mimo jiné ukazuje, že výběr betonáže na posuvné skruži, která by se v tomto případě aplikovala, je dobrou volbou. Taktéž komorový průřez považuji na svou variantu za ideální. Konstrukci jsem se ovšem snažil udělat zajímavější i z hlediska posouzení tím, že jsem v obou krajních polích, po zjištění výsledků průběhu napětí z prvního modelu, navrhl dvoutrámový průřez.

V úvodu ukazují vzhled mostu, který v místě skutečně stojí. Ten pravděpodobně zanedlouho projde rekonstrukcí. Pro svůj návrh jsem měl k dispozici směrové a výškové uspořádání skutečného provedení, ovšem veškerý text byl v němčině. Provedl jsem tři varianty návrhu prostorového uspořádání. První varianta je s komorovým průřezem. Tuto variantu jsem dále rozpracoval. Další variantou je most s prefabrikovanými nosníky a menšími rozpětími jednotlivých polí. Třetí varianta zachovala rozmístění podpor z druhé varianty, využívá ovšem prefabrikované VFT trámy, které jsou představiteli spřažení ocel-beton.

V další části jsem popsal použité materiály a průřezy, které jsem použil v prvním modelu a bral je jako výchozí hodnoty do procesu posuzování. Pro každou část mostu jsem uvedl průřezové charakteristiky. Některé z nich ovšem nespolepůsobí celé a tak bylo třeba tento přehled doplnit i o redukované průřezy.

Následuje předběžný návrh předpětí, kdy jsem se snažil nejprve metodou vyrovnání napětí, následně podrobněji metodou vyrovnání zatížení, navrhnout polohu ideálního kabelu. Skutečnost poté byla trochu odlišná, hlavně vzhledem k nutnosti dodržet minimální osové vzdálenosti kabelů v místě pracovní spáry. To už je ovšem detailně rozkresleno ve výkresové části této práce.

Na řadu přišlo posouzení nosné konstrukce. Vzhledem k tomu, že se do výpočtu uvažují redukované průřezové charakteristiky kromě plochy, která je neredukována, použil jsem matematický průřez. Opsal jsem všechny hodnoty průřezových charakteristik redukovaného průřezu, kromě plochy a polohy těžiště, které zůstaly zachovány z průřezu neredukovaného. Pro tento model jsem také zadal vedení předpínací výztuže, jehož výstřednost jsem bral vůči těžišti. Nevýhodou tohoto modelu je to, že se předpokládá zarovnání průřezů podle těžiště, čímž by ve skutečnosti při změně průřezu vznikl odskok na horním a spodním okraji. Znatelnější problém ovšem nastává ve chvíli, kdy je třeba zadat zatížení teplotou. Scia se zatížením teplotou na matematicky zadaném průřezu pracovat neumí. Stejně tak je problém zjistit napětí na horních a dolních vláknech. To by si člověk musel dopočítat sám z průběhu momentů a normálových sil.

Rozhodl jsem se, že tedy vytvořím modely dva a to jeden s redukovanými a jeden s neredukovanými průřezovými charakteristikami. S tím už program mít problém nebude a budu tedy počítat, že skutečná hodnota napětí nebo momentů bude v každém místě mezi hodnotami pro redukovaný a neredukovaný průřez.

První model jsem tedy zadal dle svého odhadu a posoudil ho. V průřezu vycházela tahová napětí zejména v oblasti nad pilíři ve spodních vláknech. Naopak krajní pole se zdálo být předdimenzované. Je třeba si ovšem uvědomit, že jsem výsledky modelu

zkreslil chybou v zadávání předpínací výztuže. Znamenalo to, že jsem uvažoval napínací sílu malinko větší než by byla ve skutečnosti.

Druhý model počítá s redukcí komorového průřezu na dvoutrámový. Neodhadl jsem ovšem přijatelné měřítko redukce a výšku dvoutrámového průřezu jsem zvolil poloviční proti komorovému. Tuto variantu jsem po zjištění prvních výsledků opustil.

Třetí varianta uvažuje už reálnější výšku dvoutrámového průřezu a to 2,0 m. Z posouzení jsem zjistil, že bude třeba redukovat excentricity kabelů v krajním poli a zvýšit množství předpínací výztuže.

Poslední model se liší od předchozího množstvím a vedením výztuže. Takto upravený model vyhoví všem posuzovaným mezním stavům použitelnosti. Počítám, že pro mě bude rozhodující posouzení spíše MSP než MSÚ, které tedy neposuzují.

Nyní si lze ale klást otázku, zda redukce na dvoutrámový průřez není zbytečná. Její výhodu bych viděl zejména u delších mostů, které by měli několik polí v nižší výšce a s kratším rozpětím polí a pár polí s větším rozpětím například přes úzké hluboké údolí. Z estetického hlediska bych volil spíše jednotný vnější vzhled mostu po celé délce. Z hlediska spotřeby materiálu by se tímto způsobem ušetřilo znatelné množství betonu.

Tato výsledná varianta je podrobně rozkreslena ve výkresové části včetně vedení předpínacích kabelů.

13 Seznam literatury

13.1 Tištěné zdroje informací

- [2] STRÁSKÝ, Jiří. Betonové mosty. Praha: ŠEL, 2001. Technická knihnice autorizovaného inženýra a technika. ISBN 80-86426-05-x.
- [10] NAVRÁTIL, Jaroslav. Předpjaté betonové konstrukce. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008. ISBN 978-80-7204-561-7.
- [14] ŠAFÁŘ, Roman. Betonové mosty 2 - cvičení: návrh předpjatého mostu podle Eurokódů. V Praze: České vysoké učení technické, 2015. ISBN

13.2 Normy

- [15] 73 6208 ČSN EN 1992 - 2 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 2: Betonové mosty – Navrhování a konstrukční zásady

13.3 Internetové zdroje informací

- [6] *Doka* [online]. Doka, 2017. [20. 2. 2019]. Dostupné z: www.doka.com/cz/news/press/CZ_Letma_betonaz_zilina

13.4 Zdroje obrázků

- [1] HRDOUŠEK, Vladislav. Betonové mosty 2. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03321-X.
- [3] STRÁSKÝ, Jiří. Betonové mosty. Praha: ŠEL, 2001. Technická knižnice autorizovaného inženýra a technika. ISBN 80-86426-05-x.
- [4] Posuvná skruž – typický betonážní takt, In: *Silnice Železnice* [online]. Silnice Železnice, 2018 [7. 2. 2019]. Dostupné z: www.silnice-zeleznice.cz/clanek/dalnice-d1-hubova-ivachnova-so-214-most-na-d1-v-km-9-814-10-498/
- [5] Výsuvné skruže, In: *Doka* [online]. Doka, [9. 2. 2019]. Dostupné z: www.doka.com/cz/projects/bridges/mosty
- [7] Skruž se sklopeným bedněním při přesunu. In: *časopis Stavebnictví* [online]. Časopis Stavebnictví, [9. 2. 2019]. Dostupné z: www.casopisstavebnictvi.cz/tisk.php?ID=3779
- [8] Výsuvná skruž viaduktu přes Údolí potoka Lodina, dálnice D1, Slovensko. In: *Silnice Železnice* [online]. Silnice Železnice, 2015 [11. 2. 2019]. Dostupné z: www.silnice-zeleznice.cz/clanek/viadukty-s-postupne-betonovanou-nosnou-konstrukci/
- [9] Výsuvná skruž a systémové bednění Doka. In: *Doka* [online]. Doka, 2016. [18. 2. 2019]. Dostupné z: www.doka.com/sk/news/news/pri_v_stavbe_mosta_SO_214-00
- [11] Mit dieser Drohnen-Aufnahme gut zu sehen: Die Brücken Kattenohl und Brunsbescke liegen nah beieinander. In: *Westfalenpost* [online]. WP, 2017 [1. 3. 2019]. Dostupné z: www.wp.de/staedte/hagen/brueckenneubau-belastet-verkehr-auf-a-45-in-hagen-auf-jahre-id212119175.html
- [12] Ersatzneubau der Talbrücken Kattenohl und Brunsbecke. In: Die A45 wird neu [online]. Industrie- und Handelskammern zu Siegen, Hagen und Dortmund, 2017. [6. 3. 2019]. Dostupné z: www.a45wirdneu.de/presse/news-detail/news/ersatzneubau-der-talbruecken-kattenohl-und-brunsbecke/?tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=0dcf337fa12587c7dd4b25a9938bd66b
- [13] Mapa. In: *Mapy.cz* [online]. Mapy.cz, 2019. [3. 3. 2019]. Dostupné z: mapy.cz
- [16] Čelo typické betonážní etapy objektu 210-00 ABS. In: *ABS-portal* [online]. ABS, 2017. [10. 5. 2019]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/inzenyrske-stavby/mosty/poznatky-zinstalace-predpeti-do-ruznych-typu-nosnych-konstrukci-mostu-na-d1-hubovaiivachnova>

14 Seznam obrázků:

Obrázek 1 - Historie výstavby mostů [1]	15
Obrázek 2 - Výběr technologie a nosné konstrukce podle rozpětí [1]	15
Obrázek 3 - Výsuvná skruž [3].....	18
Obrázek 4 - Betonáž celého pole [4]	19
Obrázek 5 - Montáž segmentů [5].....	19
Obrázek 6 - Posuvná skruž Doka se sklopeným bedněním [7].....	20
Obrázek 7 - Posuvná skruž Opárenské údolí [8].....	21
Obrázek 8 - Posuvná skruž Doka [9].....	22
Obrázek 9 - Kotvení kabelů ve spáře [3].....	23
Obrázek 10 - Uspořádání kabelů [3]	24
Obrázek 11 - Současný stav 1 [11].....	26
Obrázek 12 - Současný stav 2 [12].....	26
Obrázek 13 - Poloha mostu 1 [13].....	27
Obrázek 14 - Poloha mostu 2 [13].....	27
Obrázek 15 - Most na mapě [13].....	28
Obrázek 16 - Příčný řez komora.....	29
Obrázek 17 - Podélný řez komorový průřez.....	29
Obrázek 18 - Prefabrikovaný trám	30
Obrázek 19 - Příčný řez prefabrikované trámy	30
Obrázek 20 - Podélný řez prefabrikované trámy.....	30
Obrázek 21 - VFT trám	31
Obrázek 22 - Příčný řez VFT trámy	31
Obrázek 23 - Podélný řez VFT trámy	31
Obrázek 24 - Rozložení průřezů po délce	34
Obrázek 25 - 3D Model Scia	34
Obrázek 26 - Příčný řez 1 v poli.....	35
Obrázek 27 - Scia, příčný řez 1 v poli.....	35
Obrázek 28 - Příčný řez 1 nad pilířem.....	36
Obrázek 29 - Scia, příčný řez 1 nad pilířem.....	36
Obrázek 30 - Příčný řez 1 nad opěrou	37
Obrázek 31 - Scia, příčný řez 1 nad opěrou	37
Obrázek 32 - Příčný řez nad opěrou 1 redukovaný	39
Obrázek 33 - Příčný řez nad opěrou 1 redukovaný, Scia	39
Obrázek 34 - Příčný řez v poli 1 redukovaný.....	41
Obrázek 35 - Příčný řez v poli 1 redukovaný, Scia.....	41
Obrázek 36 - Příčný řez nad pilířem 1 redukovaný.....	43
Obrázek 37 - Příčný řez nad pilířem 1 redukovaný, Scia.....	43
Obrázek 38 - Příčný řez v poli 2 redukovaný.....	45
Obrázek 39 - Příčný řez v poli 2 redukovaný, Scia.....	45
Obrázek 40 - Příčný řez nad pilířem 2 redukovaný.....	47
Obrázek 41 - Příčný řez nad pilířem 2 redukovaný, Scia.....	47
Obrázek 42 - Schéma zatěžovací pruhy	51
Obrázek 43 - M od zatížení vlastní tíhou 1	53
Obrázek 44 - Zatížení pro návrh předpětí.....	53

Obrázek 45 - M od zatížení pro návrh předpětí	53
Obrázek 46 - Příčný řez - předpínací kabely	54
Obrázek 47 - Návrh vedení kabelů 1	55
Obrázek 48 - Pracovní spáry.....	58
Obrázek 49 - Návrh vedení kabelů 2	58
Obrázek 50 - Schéma postupu výstavby, redukované průřezy	60
Obrázek 51 - Moment od vl. tíhy a předpětí, redukovaný grafický průřez	60
Obrázek 52 - Moment od vl. tíhy a předpětí, redukovaný numerický průřez.....	61
Obrázek 53 - Chybové hlášení při změně typu podpory.....	62
Obrázek 54 - Nadměrný nárůst napětí na horních vláknech při změně typu podpory ..	62
Obrázek 55 - Nadměrný nárůst napětí na spodních vláknech při změně typu podpory	62
Obrázek 56 – M1, red. průřez, napětí horní vlákna po odbednění I. části.....	63
Obrázek 57 - M1, red. průřez, napětí dolní vlákna po odbednění I. části.....	63
Obrázek 58 - M1, red průřez, napětí horní vlákna po odbednění II. části	63
Obrázek 59 - M1 red. průřez, napětí dolní vlákna po odbednění II. části	63
Obrázek 60 - M1, red. průřez, napětí horní vlákna po odbednění III. části.....	64
Obrázek 61 - M1, red průřez, napětí dolní vlákna po odbednění III. části	64
Obrázek 62 - M1, red. průřez, napětí horní vlákna po odbednění IV. části.....	64
Obrázek 63 - M1, red. průřez, napětí dolní vlákna po odbednění IV. části.....	64
Obrázek 64 - M1, red. průřez, napětí horní vlákna po odbednění V. části	65
Obrázek 65 - M1, red. průřez, napětí dolní vlákna po odbednění V. části	65
Obrázek 66 - M1, plný průřez, napětí horní vlákna po odbednění I. části.....	66
Obrázek 67 - M1, plný průřez, napětí dolní vlákna po odbednění I. části.....	66
Obrázek 68 - M1, plný průřez, napětí horní vlákna po odbednění II. části	66
Obrázek 69 - M1, plný průřez, napětí dolní vlákna po odbednění II. části	66
Obrázek 70 - M1, plný průřez, napětí horní vlákna po odbednění III. části.....	66
Obrázek 71 - M1, plný průřez, napětí dolní vlákna po odbednění III. části	67
Obrázek 72 - M1, plný průřez, napětí horní vlákna po odbednění IV. části.....	67
Obrázek 73 - M1, plný průřez, napětí dolní vlákna po odbednění IV. části.....	67
Obrázek 74 - M1, plný průřez, napětí horní vlákna po odbednění V. části	67
Obrázek 75 - M1, plný průřez, napětí dolní vlákna po odbednění V. části	67
Obrázek 76 - M1, red. průřez, napětí horní vlákna při vnesení ost. st. zatížení	68
Obrázek 77 - M1, red. průřez, napětí dolní vlákna při vnesení ost. st. zatížení.....	68
Obrázek 78 - M1, plný průřez, napětí horní vlákna při vnesení ost. st. zatížení	68
Obrázek 79 - M1, plný průřez, napětí dolní vlákna při vnesení ost. st. zatížení.....	68
Obrázek 80 - UP - M1, char, red. průřez, napětí horní vlákna, max hodnota.....	69
Obrázek 81 - UP - M1, char, red. průřez, napětí horní vlákna, min hodnota	69
Obrázek 82 - UP - M1, char, red. průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota	69
Obrázek 83 - UP - M1, char, red. průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota.....	69
Obrázek 84 - UP - M1, char, plný průřez, napětí horní vlákna, max hodnota.....	70
Obrázek 85 - UP - M1, char, plný průřez, napětí horní vlákna, min hodnota	70
Obrázek 86 - UP - M1, char, plný průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota.....	70
Obrázek 87 - UP - M1, char, plný průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota.....	70
Obrázek 88 - UP - M1, častá, red. průřez, napětí horní vlákna, max hodnota.....	71
Obrázek 89 - UP - M1, častá, red. průřez, napětí horní vlákna, min hodnota	71
Obrázek 90 - UP - M1, častá, red. průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota.....	71

Obrázek 91 - UP - M1, častá, red. průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota	71
Obrázek 92 - UP - M1, častá, plný průřez, napětí horní vlákna, max hodnota	72
Obrázek 93 - UP - M1, častá, plný průřez, napětí horní vlákna, min hodnota	72
Obrázek 94 - UP - M1, častá, plný průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota	72
Obrázek 95 - UP - M1, častá, plný průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota	72
Obrázek 96 - UP - M1, kvazi, red. průřez, napětí horní vlákna, max hodnota.....	73
Obrázek 97 - UP - M1, kvazi, red. průřez, napětí horní vlákna, min hodnota	73
Obrázek 98 - UP - M1, kvazi, red. průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota.....	73
Obrázek 99 - UP - M1, kvazi, red. průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota	73
Obrázek 100 - UP - M1, kvazi, plný průřez, napětí horní vlákna, max hodnota.....	74
Obrázek 101 - UP - M1, kvazi, plný průřez, napětí horní vlákna, min hodnota	74
Obrázek 102 - UP - M1, kvazi, plný průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota.....	74
Obrázek 103 - UP - M1, kvazi, plný průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota	74
Obrázek 104 - KZ - M1, char, red. průřez, napětí horní vlákna, max hodnota	75
Obrázek 105 - KZ - M1, char, red. průřez, napětí horní vlákna, min hodnota.....	75
Obrázek 106 - KZ - M1, char, red. průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota	75
Obrázek 107 - KZ - M1, char, red. průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota	75
Obrázek 108 - KZ - M1, char, plný průřez, napětí horní vlákna, max hodnota	76
Obrázek 109 - KZ - M1, char, plný průřez, napětí horní vlákna, min hodnota.....	76
Obrázek 110 - KZ - M1, char, plný průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota	76
Obrázek 111 - KZ - M1, char, plný průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota	76
Obrázek 112 - KZ - M1, častá, red. průřez, napětí horní vlákna, max hodnota	77
Obrázek 113 - KZ - M1, častá, red. průřez, napětí horní vlákna, min hodnota.....	77
Obrázek 114 - KZ - M1, častá, red. průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota	77
Obrázek 115 - KZ - M1, častá, red. průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota.....	77
Obrázek 116 - KZ - M1, častá, plný průřez, napětí horní vlákna, max hodnota	78
Obrázek 117 - KZ - M1, častá, plný průřez, napětí horní vlákna, min hodnota.....	78
Obrázek 118 - KZ - M1, častá, plný průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota	78
Obrázek 119 - KZ - M1, častá, plný průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota	78
Obrázek 120 - KZ - M1, kvazi, red. průřez, napětí horní vlákna, max hodnota	79
Obrázek 121 - KZ - M1, kvazi, red. průřez, napětí horní vlákna, min hodnota.....	79
Obrázek 122 - KZ - M1, kvazi, red. průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota.....	79
Obrázek 123 - KZ - M1, kvazi, red. průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota	79
Obrázek 124 - KZ - M1, kvazi, plný průřez, napětí horní vlákna, max hodnota	80
Obrázek 125 - KZ - M1, kvazi, plný průřez, napětí horní vlákna, max hodnota	80
Obrázek 126 - KZ - M1, kvazi, plný průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota.....	80
Obrázek 127 - KZ - M1, kvazi, plný průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota	80
Obrázek 128 - Doporučené hodnoty w_{max} dle ČSN EN 1992 - 2 [15]	81
Obrázek 129 - Dvoutrámový průřez v krajních polích.....	82
Obrázek 130 - Dvoutrámový průřez, přechod na komoru.....	82
Obrázek 131 - Podélný řez a pohled zespoda.....	83
Obrázek 132 - Scia Model 3	83
Obrázek 133 - Pohled zespodu Scia	83
Obrázek 134 - Nepřesné zobrazení napětí v náběhu	83
Obrázek 135 - Průřezové charakteristiky - dvoutrám 1.....	84
Obrázek 136 - UP - M2, char, red. průřez, napětí horní vlákna, min hodnota	85

Obrázek 137 - UP - M2, char, red. průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota	85
Obrázek 138 - UP - M2, char, plný průřez, napětí horní vlákna, min hodnota	85
Obrázek 139 - UP - M2, char, plný průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota	85
Obrázek 140 - Průřezové charakteristiky dvoutrám 2	87
Obrázek 141 - UP – M3, char, red. průřez, napětí horní vlákna, min hodnota.....	87
Obrázek 142 - UP – M3, char, red. průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota	88
Obrázek 143 - Model 3 – Scia	88
Obrázek 144 - M3, red. průřez, napětí horní vlákna po odbednění I. části.....	89
Obrázek 145 - M3, red průřez, napětí dolní vlákna po odbednění I. části.....	89
Obrázek 146 - M3, red průřez, napětí horní vlákna po odbednění II. části	89
Obrázek 147 - M3, red průřez, napětí dolní vlákna po odbednění II. části	89
Obrázek 148 - M3, red průřez, napětí horní vlákna po odbednění III. části	89
Obrázek 149 - M3, red průřez, napětí dolní vlákna po odbednění III. části	90
Obrázek 150 - M3, red průřez, napětí horní vlákna po odbednění IV. části.....	90
Obrázek 151 - M3, red průřez, napětí dolní vlákna po odbednění IV. části.....	90
Obrázek 152 - M3, red průřez, napětí horní vlákna po odbednění V. části	90
Obrázek 153 - M3, red průřez, napětí dolní vlákna po odbednění V. části	90
Obrázek 154 - M3, plný průřez, napětí horní vlákna po odbednění I. části.....	91
Obrázek 155 - M3, plný průřez, napětí dolní vlákna po odbednění I. části.....	91
Obrázek 156 - M3, plný průřez, napětí horní vlákna po odbednění II. části	91
Obrázek 157 - M3, plný průřez, napětí dolní vlákna po odbednění II. části	91
Obrázek 158 - M3, plný průřez, napětí horní vlákna po odbednění III. části.....	91
Obrázek 159 - M3, plný průřez, napětí dolní vlákna po odbednění III. části	92
Obrázek 160 - M3, plný průřez, napětí horní vlákna po odbednění IV. části.....	92
Obrázek 161 - M3, plný průřez, napětí dolní vlákna po odbednění IV. části.....	92
Obrázek 162 - M3, plný průřez, napětí horní vlákna po odbednění V. části	92
Obrázek 163 - M3, plný průřez, napětí dolní vlákna po odbednění V. části	92
Obrázek 164 - M3, red. průřez, napětí horní vlákna při vnesení ost. st. zatížení	93
Obrázek 165 - M3, red. průřez, napětí dolní vlákna při vnesení ost. st. zatížení.....	93
Obrázek 166 - M3, plný průřez, napětí horní vlákna při vnesení ost. st. zatížení	93
Obrázek 167 - M3, plný průřez, napětí dolní vlákna při vnesení ost. st. zatížení.....	93
Obrázek 168 - UP - M3, char, red. průřez, napětí horní vlákna, max hodnota.....	94
Obrázek 169 - UP - M3, char, red. průřez, napětí horní vlákna, min hodnota	94
Obrázek 170 - UP - M3, char, red. průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota	94
Obrázek 171 - UP - M3, char, red. průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota.....	94
Obrázek 172 - UP - M3, char, plný průřez, napětí horní vlákna, max hodnota.....	95
Obrázek 173 - UP - M3, char, plný průřez, napětí horní vlákna, min hodnota	95
Obrázek 174 - UP - M3, char, plný průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota.....	95
Obrázek 175 - UP - M3, char, plný průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota.....	95
Obrázek 176 - UP - M3, častá, red. průřez, napětí horní vlákna, max hodnota.....	96
Obrázek 177 - UP - M3, častá, red. průřez, napětí horní vlákna, min hodnota	96
Obrázek 178 - UP - M3, častá, red. průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota.....	96
Obrázek 179 - UP - M3, častá, red. průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota.....	96
Obrázek 180 - UP - M3, častá, plný průřez, napětí horní vlákna, max hodnota.....	97
Obrázek 181 - UP - M3, častá, plný průřez, napětí horní vlákna, min hodnota	97
Obrázek 182 - UP - M3, častá, plný průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota.....	97

Obrázek 183 - UP - M3, častá, plný průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota	97
Obrázek 184 - UP - M3, kvazi, red. průřez, napětí horní vlákna, max hodnota.....	98
Obrázek 185 - UP - M3, kvazi, red. průřez, napětí horní vlákna, min hodnota	98
Obrázek 186 - UP - M3, kvazi, red. průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota.....	98
Obrázek 187 - UP - M3, kvazi, red. průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota	98
Obrázek 188 - UP - M3, kvazi, plný průřez, napětí horní vlákna, max hodnota.....	99
Obrázek 189 - UP - M3, kvazi, plný průřez, napětí horní vlákna, min hodnota	99
Obrázek 190 - UP - M3, kvazi, plný průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota.....	99
Obrázek 191 - UP - M3, kvazi, plný průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota	99
Obrázek 192 - Čelo betonážní etapy [16].....	100
Obrázek 193 - M4, red. průřez, napětí horní vlákna po odbednění I. části	101
Obrázek 194 - M4, red. průřez, napětí dolní vlákna po odbednění I. části	101
Obrázek 195 - M4, red. průřez, napětí horní vlákna po odbednění II. části.....	101
Obrázek 196 - M4, red. průřez, napětí dolní vlákna po odbednění II. části.....	101
Obrázek 197 - M4, red. průřez, napětí horní vlákna po odbednění III. části	101
Obrázek 198 - M4, red. průřez, napětí dolní vlákna po odbednění III. části.....	102
Obrázek 199 - M4, red. průřez, napětí horní vlákna po odbednění IV. části	102
Obrázek 200 - M4, red. průřez, napětí dolní vlákna po odbednění IV. části	102
Obrázek 201 - M4, red. průřez, napětí horní vlákna po odbednění V. části.....	102
Obrázek 202 - M4, red. průřez, napětí dolní vlákna po odbednění V. části.....	102
Obrázek 203 - M4, plný průřez, napětí horní vlákna po odbednění I. části	103
Obrázek 204 - M4, plný průřez, napětí dolní vlákna po odbednění I. části	103
Obrázek 205 - M4, plný průřez, napětí horní vlákna po odbednění II. části.....	103
Obrázek 206 - M4, plný průřez, napětí dolní vlákna po odbednění II. části	103
Obrázek 207 - M4, plný průřez, napětí horní vlákna po odbednění III. části	103
Obrázek 208 - M4, plný průřez, napětí dolní vlákna po odbednění III. části.....	103
Obrázek 209 - M4, plný průřez, napětí horní vlákna po odbednění IV. části	104
Obrázek 210 - M4, plný průřez, napětí dolní vlákna po odbednění IV. části	104
Obrázek 211 - M4, plný průřez, napětí horní vlákna po odbednění V. části.....	104
Obrázek 212 - M4, plný průřez, napětí dolní vlákna po odbednění V. části.....	104
Obrázek 213 - M4, red. průřez, napětí horní vlákna při vnesení ost. st. zatížení	105
Obrázek 214 - M4, red. průřez, napětí dolní vlákna při vnesení ost. st. zatížení	105
Obrázek 215 - M4, plný průřez, napětí horní vlákna při vnesení ost. st. zatížení	105
Obrázek 216 - M4, plný průřez, napětí dolní vlákna při vnesení ost. st. zatížení	105
Obrázek 217 - UP - M4, char, red. průřez, napětí horní vlákna, max hodnota	106
Obrázek 218 - UP - M4, char, red. průřez, napětí horní vlákna, min hodnota.....	106
Obrázek 219 - UP - M4, char, red. průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota.....	106
Obrázek 220 - UP - M4, char, red. průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota	106
Obrázek 221 - UP - M4, char, plný průřez, napětí horní vlákna, max hodnota	107
Obrázek 222 - UP - M4, char, plný průřez, napětí horní vlákna, min hodnota	107
Obrázek 223 - UP - M4, char, plný průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota.....	107
Obrázek 224 - UP - M4, char, plný průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota	107
Obrázek 225 - UP - M4, častá, red. průřez, napětí horní vlákna, max hodnota	108
Obrázek 226 - UP - M4, častá, red. průřez, napětí horní vlákna, min hodnota	108
Obrázek 227 - UP - M4, častá, red. průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota	108
Obrázek 228 - UP - M4, častá, red. průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota	108

Obrázek 229 - UP - M4, častá, plný průřez, napětí horní vlákna, max hodnota.....	109
Obrázek 230 - UP - M4, častá, plný průřez, napětí horní vlákna, min hodnota	109
Obrázek 231 - UP - M4, častá, plný průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota.....	109
Obrázek 232 - UP - M4, častá, plný průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota.....	109
Obrázek 233 - UP - M4, kvazi, red. průřez, napětí horní vlákna, max hodnota	110
Obrázek 234 - UP - M4, kvazi, red. průřez, napětí horní vlákna, min hodnota.....	110
Obrázek 235 - UP - M4, kvazi, red. průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota	110
Obrázek 236 - UP - M4, kvazi, red. průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota.....	110
Obrázek 237 - UP - M4, kvazi, plný průřez, napětí horní vlákna, max hodnota.....	111
Obrázek 238 - UP - M4, kvazi, plný průřez, napětí horní vlákna, min hodnota.....	111
Obrázek 239 - UP - M4, kvazi, plný průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota	111
Obrázek 240 - UP - M4, kvazi, plný průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota.....	111
Obrázek 241 - KZ - M4, char, red. průřez, napětí horní vlákna, max hodnota.....	112
Obrázek 242- KZ - M4, char, red. průřez, napětí horní vlákna, min hodnota	112
Obrázek 243- KZ - M4, char, red. průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota.....	112
Obrázek 244- KZ - M4, char, red. průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota	112
Obrázek 245 - KZ - M4, char, plný průřez, napětí horní vlákna, max hodnota.....	113
Obrázek 246 - KZ - M4, char, plný průřez, napětí horní vlákna, min hodnota	113
Obrázek 247 - KZ - M4, char, plný průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota.....	113
Obrázek 248 - KZ - M4, char, plný průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota	113
Obrázek 249 - KZ - M4, častá, red. průřez, napětí horní vlákna, max hodnota	114
Obrázek 250 - KZ - M4, častá, red. průřez, napětí horní vlákna, min hodnota	114
Obrázek 251 - KZ - M4, častá, red. průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota.....	114
Obrázek 252 - KZ - M4, častá, red. průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota	114
Obrázek 253 - KZ - M4, častá, plný průřez, napětí horní vlákna, max hodnota	115
Obrázek 254 - KZ - M4, častá, plný průřez, napětí horní vlákna, min hodnota	115
Obrázek 255 - KZ - M4, častá, plný průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota.....	115
Obrázek 256 - KZ - M4, častá, plný průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota.....	115
Obrázek 257 - KZ - M4, kvazi, red. průřez, napětí horní vlákna, max hodnota.....	116
Obrázek 258 - KZ - M4, kvazi, red. průřez, napětí horní vlákna, min hodnota	116
Obrázek 259 - KZ - M4, kvazi, red. průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota	116
Obrázek 260 - KZ - M4, kvazi, red. průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota.....	116
Obrázek 261 - KZ - M4, kvazi, plný průřez, napětí horní vlákna, max hodnota.....	117
Obrázek 262 - KZ - M4, kvazi, plný průřez, napětí horní vlákna, max hodnota.....	117
Obrázek 263 - KZ - M4, kvazi, plný průřez, napětí dolní vlákna, max hodnota.....	117
Obrázek 264 - KZ - M4, kvazi, plný průřez, napětí dolní vlákna, min hodnota.....	117

15 Seznam tabulek

Tabulka 1 - Beton C 35/45	32
Tabulka 2 - Předpínací výztuž	33
Tabulka 3 - Betonářská výztuž	33
Tabulka 4 - Přehled průřezových charakteristik 1	49
Tabulka 5 - Zatížení dopravou - LM1 [14]	51
Tabulka 6 - Hodnoty zatížení [14].....	52
Tabulka 7 - Součinitele zatížení [3].....	52
Tabulka 8 - Umístění a vlastnosti kanálků a kotev [14].....	54
Tabulka 9 - Návrh počtu kabelů	55
Tabulka 10 - Výpočet parametrů parabol 1	56
Tabulka 11 - Výpočet parametrů parabol 2	57

16 Seznam příloh

Příloha 1 – Půdorys

Příloha 2 – Podélný řez

Příloha 3 – Vzorový příčný řez komorovým průřezem

Příloha 4 – Vzorový příčný řez dvoutrámovým průřezem

Příloha 5 – Schéma předpínací výztuže