

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ



DIPLOMOVÁ PRÁCE

NÁVRH PODEPŘENÍ NOSNÉ KONSTRUKCE DÁLNIČNÍHO NADJEZDU

DESIGN OF TEMPORARY PROPPING OF HIGHWAY OVERPASS

Autor: Christián Kajaba

Vedoucí práce: Ing. Michal Drahorád Ph.D.

Rok obhajoby: 2022



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Kajaba Jméno: Christián Osobní číslo: 437983
Zadávací katedra: K133 - Katedra betonových a zděných konstrukcí
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Návrh podepření nosné konstrukce dálničního nadjezdu

Název diplomové práce anglicky: Design of temporary propping of highway overpass

Pokyny pro vypracování:

- stanovení zatížitelnosti mostu ve stávajícím stavu
- návrh podepření mostu s ohledem na požadované parametry podepření (zatížitelnost, prostorové uspořádání na mostě a v podjezdu)

Seznam doporučené literatury:

Diagnostický průzkum mostu
Soubor hlavních a mimořádných prohlídek mostu
Platné technické předpisy a normy

Jméno vedoucího diplomové práce: Michal Drahorád

Datum zadání diplomové práce) 29. 9. 2021 Termín odevzdání diplomové práce: 2.1.2021
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové 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“.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že diplomovou práci na téma „Návrh podepření nosné konstrukce dálničního nadjezdu“ jsem vypracoval samostatně a veškerou použitou literaturu a další prameny jsem řádně označil v příloženém seznamu.

V Praze dne:.....

Podpis:.....

Poděkování:

Touto cestou bych rád poděkoval panu Ing. Michalovi Drahorádovi Ph.D. za jeho odborné vedení práce, ochotu, trpělivost, připomínky a cenné znalosti, které mi byly během vedení mé práce poskytovány a také společnosti PERI spol s.r.o., která mi poskytla odbornou konzultaci a dynamické bloky pro návrh věže pro podepření.

Název práce: Návrh podepření nosné konstrukce dálničního nadjezdu

Autor: Christián Kajaba

Katedra: Katedra betonových a zděných konstrukcí

Vedoucí práce: Ing. Michal Drahorád Ph.D.

Abstrakt: Tato Diplomová práce se zabývá přepočtem zatížitelnosti dálničního nadjezdu X525 Bystrá. Nosná konstrukce mostu je tvořena z nosníku KA73 a práce je zaměřená na přepočet zatížitelnosti s uvažováním únosnosti a stavu jednotlivých prvků mostu, zejména nosníků, na základě provedeného diagnostického průzkumu. V případě nevyhovující zatížitelnosti je navrženo podepření částí mostu, a to s ohledem na maximální efektivitu podepření mostu. Posouzení zatížitelnosti je provedeno dle platných předpisů a norem v ČR.

Klíčová slova: Zatížitelnost, podepření, most, nosník KA73, mezní stav použitelnosti

Title: Design of temporary propping of highway overpass

Author: Christián Kajaba

Department: Department of Concrete and Masonry Structures

Supervisor: Ing. Michal Drahorád Ph.D.

Abstract: This thesis deals with a recalculation of the load bearing capacity of the highway overpass X525 Bystrá. The supporting structure of the bridge is made of a girder KA3, and this thesis is focused on the recalculation of the load capacity, taking into account the load bearing capacity and the state of individual elements of the bridge, especially of the girder based on a diagnostic exploration. In case of insufficient load bearing capacity, it is proposed to prop up parts of the bridge with regard to the maximum effectiveness of the propping. The assessment of the load-bearing capacity is performed according to valid regulations and standards in the Czech Republic.

Keywords: load bearing capacity, propping, bridge, girder KA73, serviceability limit state

Obsah

1	ÚVOD	1
1.1	CÍLE PRÁCE	1
2	KONTROLA STÁVAJÍCÍCH MOSTNÍCH OBJEKTŮ V ČR ...	2
2.1	STAVEBNĚ TECHNICKÝ STAV MOSTŮ V ČR.....	2
2.2	PROHLÍDKY MOSTŮ	6
2.2.1	<i>Běžné mostní prohlídky</i>	6
2.2.2	<i>Hlavní mostní prohlídky</i>	7
2.2.3	<i>První hlavní mostní prohlídka (1. HMP)</i>	7
2.2.4	<i>Mimořádné mostní prohlídky</i>	8
2.2.5	<i>Kontrolní mostní prohlídky</i>	8
2.3	HODNOCENÍ STAVU MOSTNÍCH KONSTRUKCÍ.....	8
2.3.1	<i>Spolehlivost konstrukce</i>	9
2.3.2	<i>Bezpečnost provozu na mostním objektu (použitelnost)</i>	10
2.3.3	<i>Naléhavost odstranění závady</i>	11
2.4	DIAGNOSTICKÝ PRŮZKUM MOSTU	12
3	ZATÍŽITELNOST MOSTU	14
3.1	STANOVENÍ ZATÍŽITELNOSTI	15
3.2	ZATÍŽENÍ MOSTU PRO ZJIŠTĚNÍ ZATÍŽITELNOSTI	16
3.2.1	<i>Normální zatížitelnost</i>	16
3.2.2	<i>Výhradní zatížitelnost</i>	19
3.2.3	<i>Výjimečná zatížitelnost</i>	20
3.3	DYNAMICKÉ ÚČINKY ZATÍŽENÍ DOPRAVOU	21
3.4	MEZNÍ STAVY PŘI STANOVENÍ ZATÍŽITELNOSTI	23
3.4.1	<i>Mezní stav únosnosti</i>	23
3.4.2	<i>Mezní stav únosnosti</i>	23

4	PODPÍRÁNÍ MOSTŮ	24
4.1	PODPĚRNÁ SKRUŽ PIŽMO	25
4.2	PODPĚRNÁ SKRUŽ PERI – VARIOKIT VĚŽE VST	29
5	UKÁZKA PODEPŘENÍ MOSTŮ V ČR.....	33
5.1	MOST D1-035 HVĚZDONICE	33
5.2	PODEPŘENÍ MOSTU X022 BUBENSKÁ U METRA VLTAVSKÁ.....	36
5.3	PODEPŘENÍ STATIV D5-016	37
6	MOST X525 BYSTRÁ.....	39
6.1	IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE O STÁVAJÍCÍM MOSTĚ:	40
6.2	CHARAKTERISTIKA MOSTU:.....	41
6.3	STAV MOSTU X-525 BYSTRÁ	44
6.3.1	<i>Diagnostická zkouška předpínacích lan pomocí metody MMM</i>	<i>47</i>
6.3.2	<i>Sondy předpínací výztuže</i>	<i>49</i>
6.3.3	<i>Stanovení pevnosti betonu nedestruktivní zkouškou – Schmidtův tvrdoměr ..</i>	<i>49</i>
6.3.4	<i>Vyztužení a krytí výztuže konstrukce</i>	<i>50</i>
6.3.5	<i>Závěr provedené diagnostiky na mostě X525.....</i>	<i>50</i>
7	PŘEPOČET ZATÍŽITELNOSTI MOSTU X525 BYSTRÁ	51
7.1	ZATÍŽENÍ.....	52
7.1.1	<i>Stálé a ostatní stálé zatížení</i>	<i>52</i>
7.1.2	<i>Proměnné zatížení</i>	<i>52</i>
7.2	MATERIÁL.....	54
7.3	PŘEPOČET ZATÍŽITELNOSTI STÁVAJÍCÍ STAV KRAJNÍ POLE	56
7.3.1	<i>Most bez omezení provozu</i>	<i>57</i>
7.3.2	<i>Most s osazením svodidla uprostřed mostu.....</i>	<i>60</i>
7.3.3	<i>Most s řízením dopravy světelnou signalizací.....</i>	<i>62</i>

7.4	OVĚŘENÍ ZATÍŽITELNOSTI STŘEDNÍCH POLÍ NAD DÁLNICÍ D10.....	64
7.4.1	<i>Most bez omezení provozu</i>	<i>64</i>
7.5	ZHODNOCENÍ ZATÍŽITELNOSTI MOSTU X525	66
7.6	ANALÝZA ODOLNOSTI NOSNÍKU KA73/18	67
7.6.1	<i>Průřezové charakteristiky Nosníku KA73/18.....</i>	<i>67</i>
7.6.2	<i>Popis předpětí</i>	<i>68</i>
7.6.3	<i>Schéma předpětí.....</i>	<i>70</i>
7.6.4	<i>Vnitřní Síly od předpětí.....</i>	<i>71</i>
7.6.5	<i>Posouzení napětí (kontrola modelu včetně předpětí) uprostřed rozpětí.....</i>	<i>72</i>
8	NÁVRH PODEPŘENÍ KRAJNÍCH POLÍ MOSTU X525	75
8.1	PODEPŘENÍ NOSNÍKU Č. 2 A Č. 10 VE STŘEDU ROZPĚTÍ.....	75
8.1.1	<i>Posouzení nosníku a spár v mezní stavu použitelnosti.....</i>	<i>76</i>
	<i>Posouzení mezního stav u použitelnosti při podepření nosníků č. 2 a 10 v 1/2.....</i>	<i>77</i>
8.1.2	<i>Spára mezi nosníkem č.1 a 2 únosnost 55 %</i>	<i>78</i>
8.1.3	<i>Nosník č. 2 snížení únosnosti 55 %.....</i>	<i>80</i>
8.1.4	<i>Spára mezi nosníkem č. 2 a č. 3 únosnost 55 %.....</i>	<i>83</i>
8.2	PODEPŘENÍ NOSNÍKU Č. 2 A Č. 10 V $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ A $\frac{3}{4}$ ROZPĚTÍ.....	85
8.2.1	<i>Nosník č. 2 snížení únosnosti 55 %.....</i>	<i>87</i>
8.2.2	<i>Spára mezi nosníkem č. 2 a č. 3 únosnost 55 %.....</i>	<i>90</i>
8.3	PODEPŘENÍ KRAJNÍHO POLE PO CELÉ ŠÍŘCE MOSTU X525.....	92
8.3.1	<i>Nosník č. 1 snížení únosnosti 75 %.....</i>	<i>94</i>
8.3.2	<i>Spára mezi nosníkem č. 1 a č. 2 únosnost 55 %.....</i>	<i>97</i>
8.3.3	<i>Nosník č. 2 snížení únosnosti 55 %.....</i>	<i>99</i>
8.3.4	<i>Spára mezi nosníkem č. 2 a 3 únosnost 55 %</i>	<i>102</i>
8.3.5	<i>Nosník č. 6 snížení únosnosti 80 %.....</i>	<i>104</i>
8.3.6	<i>Spára mezi nosníkem č. 9 a č. 10 únosnost 65 %.....</i>	<i>107</i>

8.3.7	<i>Nosník č. 10 snížení únosnosti 65 %</i>	109
8.3.8	<i>Spára mezi nosníkem č. 10 a č. 11 únosnost 65 %</i>	112
8.3.9	<i>Nosník č. 11 snížení únosnosti 65 %</i>	114
8.4	ZHODNOCENÍ ZATÍŽITELNOSTI PO PODEPŘENÍ KRAJNÍCH POLÍ	117
8.5	NÁVRH PODPĚRNÉ SKRUŽE PRO PODEPŘENÍ KRAJNÍCH POLÍ	118
8.5.1	<i>Schéma skruže podepření</i>	118
8.5.2	<i>Návrh a posouzení podpěrného nosníku HEB</i>	119
8.5.3	<i>Návrh podpěrných věží PERI VST</i>	127
8.6	NÁVRH ZALOŽENÍ PODPĚRNÉ SKRUŽE	128
8.7	SCHÉMA VĚŽE VST	128
9	VYHODNOCENÍ NÁVRHU PODEPŘENÍ	129
10	ZÁVĚR	132
11	SEZNAM OBRÁZKŮ	134
12	SEZNAM GRAFŮ	138
13	SEZNAM TABULEK	142
14	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	144

1 Úvod

Cílem Diplomové práce je stanovení zatížitelnosti mostu X525 ve stávajícím stavu a návrh podepření nevyhovujících částí. Most X525 Bystrá je nadjezd, který se nachází cca v km 1,000 nad dálnicí D10 a spojuje obce Horní Počernice a Satalice.

Stávající stav bude popsán a bude stanovena únosnost nosné konstrukce na základě provedených mimořádných prohlídek a diagnostického průzkumu. Následně bude proveden přepočít zatížitelnosti jednotlivých polí na základě jejich skutečného stavu. V případě nevyhovujících hodnot zatížitelnosti budou provedena opatření pro zajištění bezpečnosti provozu a požadované zatížitelnosti mostu. A to jak dopravním opatřením, tak podepřením mostu X525 v částech se sníženou únosností.

Pro stanovení únosností při určité zatížitelnosti (normální, výhradní a výjimečné) bude provedena analýza předpínací výztuže v čase, s vlivem od dotvarování. Následně bude posouzen mezní stav použitelnosti v jednotlivých nosnících a spárách prefabrikovaných nosníků.

Poté dojde k navržení skruže podepření na základě reakcí od zatížení dopravou včetně založení. Přílohu této práce je také výkresová dokumentace podepření mostu X525.

1.1 Cíle práce

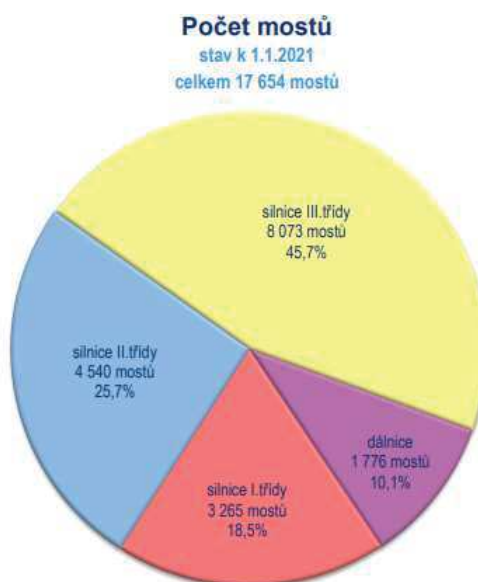
- Rešeršní část – stav mostu v ČR, zatížitelnost, únosnosti mostů, podpírání mostů
- Ukázka podpírání mostů na realizovaných podepřeních mostů v ČR
- Praktická část – Most X525 Bystrá
 - Zhodnocení provedených prohlídek a diagnostiky mostu
 - Stanovení zatížitelnosti mostu ve stávajícím stavu
 - Časově závislý model, včetně předpětí pro výpočet vnitřních sil od předpětí včetně dotvarování
 - Návrh opatření pro zvětšení zatížitelnosti
 - Úprava uspořádání provozu na mostě dopravními opatřeními
 - Podepření mostu X525
 - Zhodnocení podepření z hlediska zatížitelnosti
 - Návrh podpěrné skruže
 - Posouzení podpěrné skruže
 - Schéma podepření

2 Kontrola stávajících mostních objektů v ČR

2.1 Stavebně technický stav mostů v ČR

V České republice je 17654 silničních mostů. Tyto mosty se hodnotí a třídí do 7 kategorií stavu mostu, na základě prováděných mostních prohlídek oprávněnou osobou určenou ministerstvem dopravy na základě složené zkoušky a odborné způsobilosti provádět mostní prohlídky. [1]

Z celkového počtu 17 645 silničních mostů se mosty dělí mezi jednotlivé správce. Správcem mostů na dálnicích a silnicích prvních třídy je Ředitelství silnic a dálnic, ve správě mají 5041 mostních objektů. Silnice I. a II. tříd zpravují krajská správa a údržba silnic v daných krajích, ve správě mají 12613 mostních objektů. Na grafu a tabulce je vidět rozdělení mostů dle tříd pozemních komunikací. Tyto data jsou aktualizované v přehledu ŘSD o silniční a dálniční síť ČR ke dni 01.01.2021.[1]



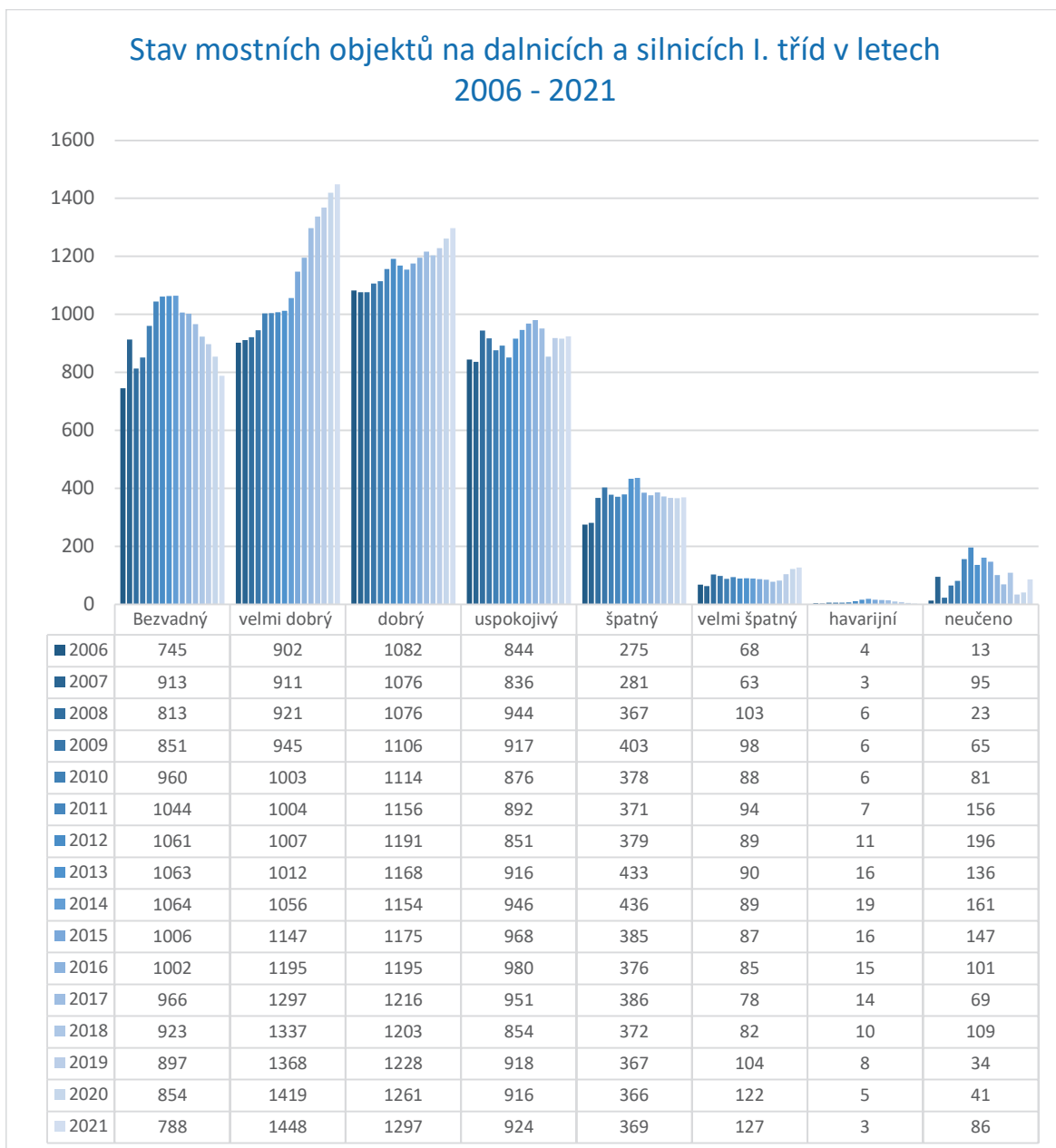
Obrázek 1 Počet silničních mostů v ČR

Životnost mostních konstrukcí se odhaduje na dobu 100 let. Na tuto dobu se mostní konstrukce také navrhují, avšak je třeba si uvědomit, že dnes jsou na konstrukce kladeny velmi odlišné nároky než na konstrukce z předešlých let. Stavebně technický stav konstrukcí je ovlivňován několika faktory, které mají za následek snížení kvality a degradaci mostních konstrukcí. Staří konstrukce, která je namáhaná neustále zvětšující se dopravou a tím i působením dynamicky opakujícího se zatížení ve větší míře než bylo před lety předpokládáno, na konstrukce také během let působí atmosférické a chemické vlivy. Dalším faktorem je také dnes zvýšená kvalita výstavby, dodržování technologické kázně a použití kvalitnějších materiálů, příkladem je změna používání izolačního systému, odvodnění mostu, a dalších materiálů, které v horizontu 20 let byly vyvinuty pro využívání v mostním stavitelství. Posledním a nesmírně důležitým faktorem je nedostatečná údržba a neprovedené opravy drobných vad, které může následně za zhoršení stavu mostní konstrukce. [2]

Na špatný stav mostů je upozorňováno již desítky let, to vedlo až k podání petice mostařských specialistů v roce 2005 s názvem „Věc veřejná – zhoršující se stav mostních objektů na území ČR“. V této petici je upozorňováno o stále se zhoršujícím stavu mostních

objektů, které slouží k veřejné dopravě v České republice. S upozorněním, že finanční prostředky vynakládané na opravu a údržbu mostů postarších dat (vystavěny před rokem 1989) jsou dlouhodobě nedostatečné a stav mostů se neustále zhoršuje. Tuto petici, po podpisu 337 mostařských odborníků, předali petičnímu výboru Poslanecké sněmovny Parlamentu ČR. [2]

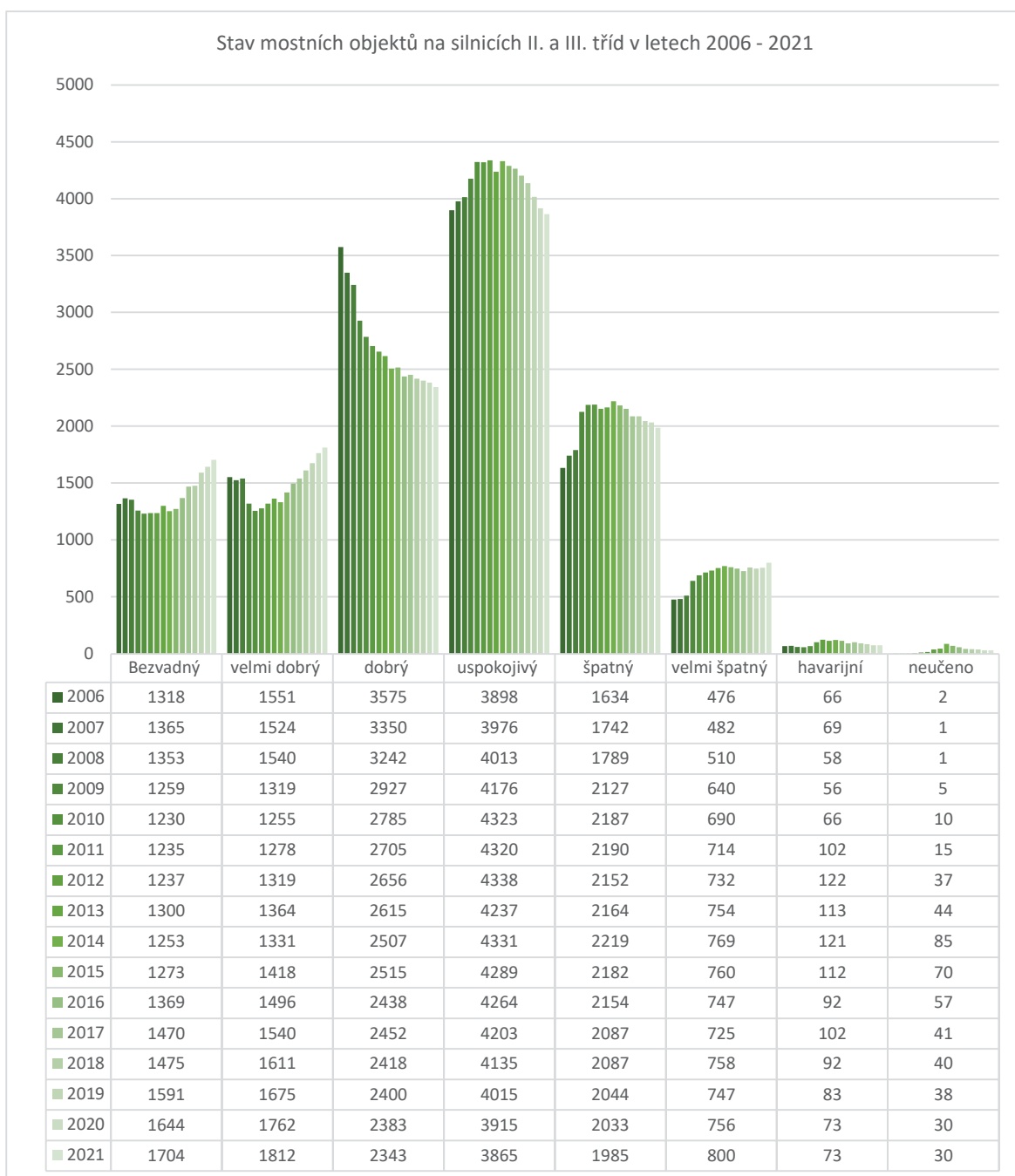
Vývoj stavu mostů na dálnicích a silnicích I. třídy od roku 2006 až do roku 2021 dle přehledu z informačního systému o silniční a dálniční síti ČR k 01.01.2021:



Graf 1 Stav mostních objektů na dálnicích a silnicích I. tříd v letech 2006-2021

Pokud dojde k součtu mostů v roce 2006 = 3933 mostních objektů a následně v roce 2021 = 5042, tak zjistíme že výstavbou dálnic jsme získali 1109 nových mostů, které jsou samozřejmě zařazovány do nejlepších kategorií I. a II. Za to, když se podíváme na kategorie V. až VII. tak zjistíme že se počet mostů ve špatném stavu takřka zdvojnásobil. [1]

Vývoj stavu mostů na silnicích II. a III. třídy od roku 2006 až do roku 2021 dle přehledu z informačního systému o silniční a dálniční síti ČR k 01.01.2021:

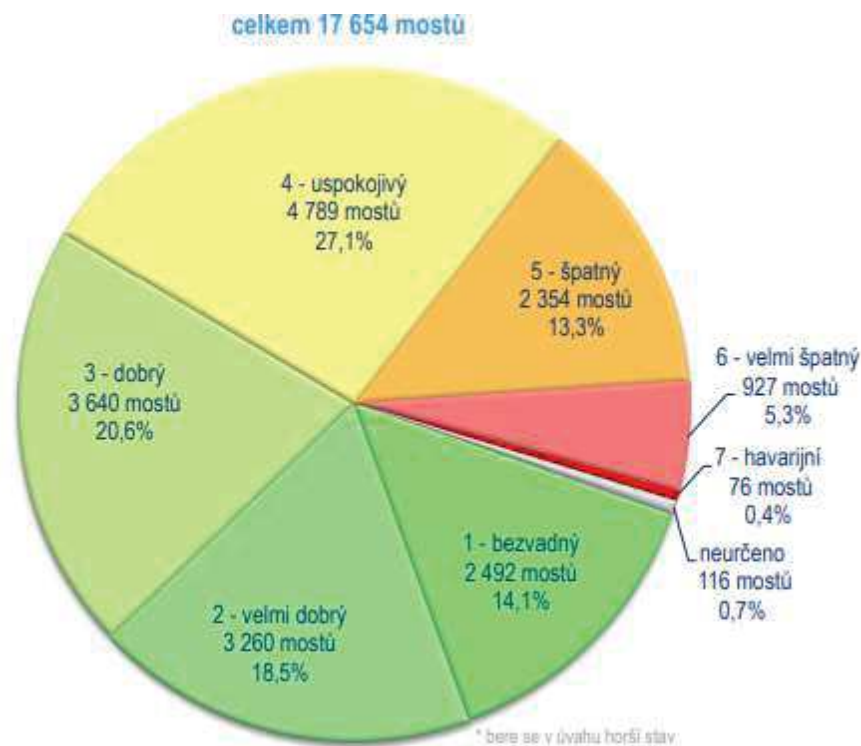


Graf 2 Stav mostních objektů na silnicích II. a III. tříd v letech 2006-2021

Na silnicích II. a III. Tříd nedochází k tak velkému nárůstu nových mostních objektu, jelikož síť těchto silnic je velmi rozsáhlá. Když provedeme součet roku 2006= 12520 mostů a roku 2021= 12612 mostů, tím zjistíme, že nových mostů na těchto silnicích je 92. Když se podíváme na kategorie V až VII. tak vidíme nárůst mostů ve špatném stavu cca o 30 % oproti roku 2006. [1]

Na grafech č. 1 a č. 2 je vidět, že na dálnicích a silnicích I. tříd je momentálně v roce 2021 ve špatném až havarijním stavu 499 mostních objektů a na silnicích II. a III. tříd je to 2858 mostních objektů. To je přibližně 20 % mostních objektů, které vykazují závažnější vady a ovlivňují zatížitelnost mostních objektů. [1]

Stav mostů dle přehledu z informačního systému o silniční a dálniční síti ČR k 01.01.2021. je dle rozdělení do klasifikačních stupňů následující:



Obrázek 2 Počet mostů dle stavu nosné konstrukce nebo spodní stavby

- I. kategorie 14,1 %
- II. kategorie 18,5 %
- III. kategorie 20,6 %
- IV. kategorie 27,1 %
- V. kategorie 13,3 %
- VI. Kategorie 5,3 %
- VII. Kategorie 0,4 %
- Neurčeno 0,7 %

Stav mostů se hodnotí dle stavu nosné konstrukce nebo spodní stavby v procentuálním zhodnocení, je vždy brán horší stav části mostního objektu. Ten se hodnotí na základě mostních prohlídek a diagnostik, tato problematika bude shrnuta v dalších kapitolách práce. [1] [3]

2.2 Prohlídky mostů

Klasifikace mostů do daných stupňů se provádí na základě mostních prohlídek. Ty se provádí za účelem zjištění stavebně technického stavu mostních konstrukcí, trvalých i zatímních. Pravidla pro provádění mostních prohlídek jsou uvedeny v ČSN 73 6221 Prohlídky mostů pozemních komunikací. Zde si uvedeme stručný výtažek z této normy. [3]

Všeobecně se kontrolují vlivy, které mají za následek tendenci degradaci konstrukce. Tyto mohou být například: zatékání do nosné konstrukce, prosakování vody, nebo zatékání po opěrách, povrchová a hloubková degradace betonu a s tím také spojená koroze výztuže, stav ložisek a mostních závěrů, stav odvodňovacího systému a další. [3]

Na mostech se provádějí různé druhy mostních prohlídek:

- Běžné
- Hlavní
- Mimořádné
- Kontrolní

2.2.1 Běžné mostní prohlídky

Běžnou prohlídku zajišťuje správce mostu a to tak:

- Nejméně jedenkrát ročně u mostu s klasifikačním stupněm stavu I-III
- Nejméně dvakrát ročně u mostu s klasifikačním stupněm stavu IV-VII

Tyto intervaly se dále mohou přiměřeně zkracovat v závislosti na stavu mostu, doporučení předchozích prohlídek apod.

Při běžné prohlídce se prohlízejí všechny přístupné části mostu (dostupné bez demontáže nebo odstranění jiné části mostu). Při prohlídce je nutné sledovat bezpečnost a použitelnost mostu, a to především stav:

- spodní stavby (viditelné sedání a deformace podpěr, deformace a vydutí zdiva křídel);
- nosné konstrukce (i z hlediska nepřipustného kmitání mostu);
- dutin mostu včetně stavu případných volných kabelů;
- funkčnost ložisek a mostních dilatačních závěrů;
- povrchu vozovky a chodníků, popř. odrazných proužků a dalších součástí mostního svršku;
- funkci odvodňovacího systému;
- záchytného zařízení na a pod mostem, protihlukových stěn, dopravního značení a dalších součástí vybavení mostu;
- cizího zařízení na mostě;
- území pod mostem.

Výsledkem běžné prohlídky pak jsou návrhy opatření, které slouží jako podklady pro další běžné prohlídky. Popřípadě návrh na provedení mimořádné prohlídky. [3]

2.2.2 Hlavní mostní prohlídky

Hlavní prohlídka mostu se vykonává v následujících termínech:

- U trvalých mostů betonových, ocelových, ocelobetonových, kamenných a cihelných:
 - Při klasifikačním stupni stavu I. – III. v intervalech nejdéle 6 let
 - Při klasifikačním stupni stavu IV. v intervalech nejdéle 4 let
 - Při klasifikačním stupni stavu V. – VII. v intervalech nejdéle 2 let
- U mostů dřevěných a zatímních v intervalu nejdéle 2 roky
- U mostů tramvajových a mostů metra v intervalech nejdéle 3 roky

Uvedené nejdelší intervaly se na základě závěru hlavní prohlídky přiměřeně zkrátí v případech:

- Zhorší-li se stav mostu na stupeň IV – VII
- Dojde-li při provozu k opětovnému poškození již opravené části

Za dodržování těchto intervalů zodpovídá správce mostu.

Při hlavních prohlídkách se prověřují všechny části mostu z hlediska jejich spolehlivosti (únosnosti, životnosti, použitelnosti a zachování bezpečného provozu). Většina prováděných prohlídek mostů je prováděna převážně, jako vizuální, a tudíž maximální akceptovatelná degradace je většinou definována na základě vizuálního hodnocení. To je dáno definicemi stupňů stavu konstrukce a hodnocení se provádí podle těchto stupňů. Tyto stavební stavy musí brát v úvahu různé druhy stavebních materiálů a různé typy konstrukčních prvků (mostovka, pilíře, opěry apod.). To znamená, že stavy konstrukce musí být hodnoceny rozdílně pro jednotlivé stavební materiály a pro jednotlivé konstrukční prvky. [3]

Výsledkem hlavní prohlídky je vždy protokol, ve kterém je jednoznačně popsán stav mostu tak, aby podle ní bylo možné naplánovat běžné údržbové práce, navrhnout další diagnostické šetření, které by se podrobně zabývalo konkrétním nedostatkem, nebo navrhnout nutná okamžitá opatření (uzavření mostu apod.) [3]

Speciální druhem hlavní mostní prohlídky je:

2.2.3 První hlavní mostní prohlídka (1. HMP)

Při 1. HMP se posuzuje most, zda je připraven před uvedením do provozu a hodnotí se bezpečnost v provozu, kvalita a úplnost provedených prací na mostě, dále také soulad provedených prací s projektovou dokumentací. Dále se zajišťují všechny údaje o zatížitelnosti mostu. Součástí 1. HMP je povolení k provozu na mostě a při zjištěných vadách a nedodělcích se stanoví způsob a termín jejich odstranění. [3]

V případě provádění zatěžovací zkoušky mostu, se tato zkouška provádí až po povolení k provádění této zatěžovací zkoušky na základě provedené hlavní mostní prohlídky. [3]

2.2.4 Mimořádné mostní prohlídky

Mimořádná prohlídka mostu se vykonává v následujících situacích:

- po živelných pohromách, nebo dopravní nehodě na mostu (pod mostem), kdy došlo k poškození konstrukce
- po zjištění pohybu svážného území v bezprostředním okolí mostu
- při příznacích nebezpečného oslabení, nadměrné deformaci, nebo trhlinách objevených v období mezi hlavními prohlídkami
- po objevení nebezpečných jevů za jízdy vozidel (nadzvedávání ložisek, kmitání konstrukce apod.)
- před a po mimořádných přepravách nadměrného nákladu
- před uplynutím záruční doby na stavební práce

Mimořádnou prohlídkou se stanovuje skutečný momentální stav mostu a porovnává se se stavem z poslední prohlídky tak, aby bylo možno identifikovat nově vzniklé poruchy. Pokud situace nebo stav mostu vyžaduje, provede se podrobnější vyšetření částí mostu (doplňující diagnostický průzkum). [3]

2.2.5 Kontrolní mostní prohlídky

Kontrolní prohlídka mostu se vykonává v následujících situacích:

- Kontrolní prohlídku provádí příslušný silniční správní úřad, a to zpravidla v intervalech 4 let, avšak nejdéle v intervalu 6 let. Prohlídka je součástí výkonu státního odborného dozoru. Kontrolní prohlídkou nesmí být pověřen správce mostu.

Při této kontrolní prohlídce se provádí kontrola provedení běžných a hlavních prohlídek mostu, včetně plnění navržených opatření. Kontroluje se dodržování stanovených termínů, kvalita a rozsah prohlídek. [3]

2.3 **Hodnocení stavu mostních konstrukcí**

Na základě mostních prohlídek se vyhodnocuje stav mostu z hlediska životnosti a jeho degradace, na základě je možné určit nutnost provedení opravy či případné rekonstrukce mostu. Hodnocení stavu mostu je rozděleno do tří různých oddílů s vlastním stupněm klasifikace: [3]

- **Spolehlivost konstrukce (stav mostu)** – závada se hodnotí z hlediska vlivu zatížitelnosti mostu. Hodnocení se provádí samostatně pro nosnou konstrukci a spodní stavbu.
- **Bezpečnost provozu na mostě (použitelnost)** – vlastnost mostního objektu plnit svou funkci (bezpečná způsobilost).
- **Naléhavost odstranění závady** – v prohlídce se uvádí při návrhu opatření k odstranění vad.

2.3.1 Spolehlivost konstrukce

Klasifikace spolehlivosti mostů podle zjištěných závad, se dělí na 7 kategorií, kde se hodnotí konstrukce od stavu I. jako Bezvadný do stavu 7 Havarijní. Mosty se hodnotí na základě vad a poruch dané konstrukce a dle toho se následně zařadí do klasifikačního stupně. Zatřídění mostů dle klasifikačního stupně je znázorněné v tabulce níže: [3]

Klasifikační stupeň	Stav konstrukce	Vady a poruchy konstrukce	Součinitel stavu konstrukce α
I.	Bezvadný	Bez jakýchkoliv v zjevných nebo známých skrytých vad	1,0
II.	Velmi dobrý	Pouze vzhledové vady, které neovlivní zatížitelnost (např. prohnutí, ale ostatečně pevné zábradlí, nerovnosti v římsě, stékající povrchové nečistoty, skvrnitost omítky beze stop po vzlínající nebo prosakující vlhkosti, trhlinky v ozdobné omítce, poškozené architektonické prvky mostu apod.)	1,0
III.	Dobrý	Větší vady, které ale neovlivňují zatížitelnost (např. poškozené zábradlí, odprýsknutá ochranná omítky, porušený kryt vozovky, uchycená vegetace v malé míře, poškozené římsy, poškozená povrchová úprava konstrukcí z lehkých slitin nebo jejich zoxidovaný povrch, neobnovené nátěry s prvními stopami rezavění ocelové konstrukce, sednutí zemního tělesa oproti nosné konstrukci)	1,0
IV.	Uspokojivý	Vady a poruchy, nemající okamžitý nepříznivý vliv na zatížitelnost, které však mohou zatížitelnost v budoucnu ovlivnit (např. silnější povrchová rezavění nosné konstrukce, prosakování vody, obnažená výztuž, zakořeněná vegetace, místně vydrolená spárová malta, trhliny v nosné konstrukci 2), postřehnutelná trvalá deformace trvalá deformace nosné konstrukce nebo podpěr bez viditelných trhlin, porušená funkce posuvných ložisek porušená ochranná kyslíčnicková vrstva v nepřístupných místech hliníkových konstrukcí, nadměrné kmitání nosné konstrukce apod.)	0,8
V.	Špatný	Vady a poruchy, ovlivňující sice zatížitelnost, ale odstranitelné ještě bez větších zásahů (např. zrezavění zrnitého charakteru bez většího oslabení napadnutých průřezů, povrchová hniloba dřevěných konstrukcí 1), povrchové trhliny a praskliny železobetonových konstrukcí šířky do 1mm a hloubky do 25mm, trhliny předpjatých konstrukcí šířky do 0,2mm, uchycená plíseň, postřehnutelná deformace klenby bez trhlin, značně vydrolená spárová malta na většině míst, prasklé spáry, uvolněné kameny, trhliny a praskliny 2), uvolněné nýtové, šroubové a jiné spoje, vychýlená nebo vyšinutá ložiska nebo úložné prahy, viditelná deformace gumových příp. neoprenových ložisek, podpěry podemleté do hloubky nejvýše rovné třetině tloušťky podpěry, větší odchylky v líci spár montovaných podpěr apod.)	0,6
VI.	Velmi špatný	Vady a poruchy, ovlivňující zatížitelnost a odstranitelné pouze velkou opravou zahrnující důležité části konstrukce (např. oslabení průřezu rží nebo hnilobou 1) nejvýše o 30%, ale bez děr nebo ručně dosažitelného rozrušení zbytku, trhliny a praskliny 2), vypadlé kameny, zborčené, nakloněné nebo pokleslé podpěry s ještě dostatečnou soudržností, pobořená čela klenob, zřícené průčelní zdi, značná trvalá deformace klenby přes čtvrtinu tloušťky, odtržené lapené spoje konstrukcí z lehkých slitin, trhliny předpjatých konstrukcí šířky větší než 0,2 mm apod.)	0,4
VII.	Havarijní	vady a poruchy ovlivňující zatížitelnost takovou měrou, že vyžadují okamžitou nápravu pro odvrácení, hrozící katastrofy, popř. uzavření mostu (např. naprostá zchátralost průřezů rží nebo hnilobou (oslabení průřezů o více než 30%), pobořené části nosné konstrukce nebo podpěr, nadměrné průhyby, chvění nebo vlnění mostu apod.)	0,2

Tabulka 1 Klasifikační stupeň stavu mostu [3]

2.3.2 Bezpečnost provozu na mostním objektu (použitelnost)

Hodnocení závad u svršku a vybavení mostu nemá zpravidla přímý vliv na nosné části mostu a snížení zatížitelnosti mostu, proto je definováno hodnocení vzhledem k použitelnosti mostu zejména z hlediska bezpečnosti provozu na mostním objektu. [3]

Použitelnost je klasifikovaná stupněm použitelnosti mostu, ten se dělí na 5 stupňů závad na základě použitelnosti mostu. 1. stupeň použitelný až 5. stupeň nepoužitelný. Mosty se hodnotí na základě stavu nenosných prvků mostních objektů. Zatřídění dle klasifikačního stupně použitelnosti je znázorněné v tabulce níže: [3]

Klasifikační stupeň	Stav konstrukce	Vady a poruchy konstrukce
1	Použitelný	Závady nemající vliv na použitelnost mostního objektu např.: – Lokální trhliny ve vozovce, drobné nečistoty a uchycená drobná vegetace u obrubníků, začínající povrchová degradace vozovky a chodníku – Lokální povrchová koroze zábradlí a svodidel
2	Podmíněně použitelný	Závady, které mohou mít v budoucnu vliv na použitelnost např.: – trhliny v krytu vozovky a chodníků, začínající lokální výtluky v krytu vozovky (maximálně na tloušťku jedné vrstvy vozovky) – lokální trhliny v římsách – začínající povrchová koroze sloupků svodidel nebo zábradlí – lokálně poškozené uchycení převáděných cizích zařízení
3	Použitelný s výhradou	Závady, které mají vliv na použitelnost, ale nevyžadují okamžité omezení provozu např.: – lokální výtluky ve vozovce (při hloubce větší než tloušťka jedné vrstvy vozovky), příčné nerovnosti, nebo vyjeté koleje (hloubka do 50 mm), lokální hromadění vody na vozovce – římsy porušené trhlinami, slabá povrchová degradace betonu – trhliny ve vozovce podél mostních závěrů – rovnoměrná koroze záchytného zařízení (svodidla, zábradlí), protidotykového zařízení nebo dopravního značení – výraznější poškození uchycení převáděných cizích zařízení
4	Omezeně použitelný	Mostní objekt je použitelný pouze pro dočasný omezený provoz, závady vyžadují okamžité provizorní opatření nebo dopravní omezení. Jedná se o závady, jako je např.: – plošné porušení vozovky (výtluky, stojící voda), výrazné příčné nerovnosti, nebo vyjeté koleje (hloubka větší než 50 mm), navýšení vozovky do úrovně obrubníků (možnost vjezdu vozidel na chodníky), snížení nebo zúžení průjezdného prostoru z důvodu provizorních opatření, stojící voda na vozovce; – odpadávání drobných úlomků betonu říms, nosné konstrukce a spodní stavby na veřejně přístupnou komunikaci nebo dráhu pod mostem – výtluky podél mostních závěrů, uvolněné těsnící profily – deformace záchytného zařízení, částečně uvolněné záchytné zařízení – obnažené kabely vysokého a nízkého napětí bez chráničků, povrchová koroze převáděných cizích zařízení.
5	Nepoužitelný	Mostní objekt není použitelný pro bezpečný provoz, je nutné uzavření mostu nebo jeho části. Jedná se o závady, jako je např.: – vozovka porušená v celé ploše mostu, rozpad povrchu a vyčnívající výztuž z betonu chodníků – zřícené zábradlí nebo výrazně deformované svodidlo/zábradelní svodidlo – uvolněné ocelové profily mostních závěrů – uvolněné a volně odpadávající části říms, nosné konstrukce nebo spodní stavby a zábradlí nad komunikací s veřejným provozem nebo dráhu, volně stékající voda z mostního objektu na trolejové vedení pod mostem – značně poškozená protidotyková zařízení – silná koroze převáděných cizích zařízení s možností porušení potrubí, poškozené nechráněné kabely převáděného nízkého napětí a vysokého napětí.

Tabulka 2 Klasifikační stupeň použitelnosti mostu [3]

2.3.3 Naléhavost odstranění závady

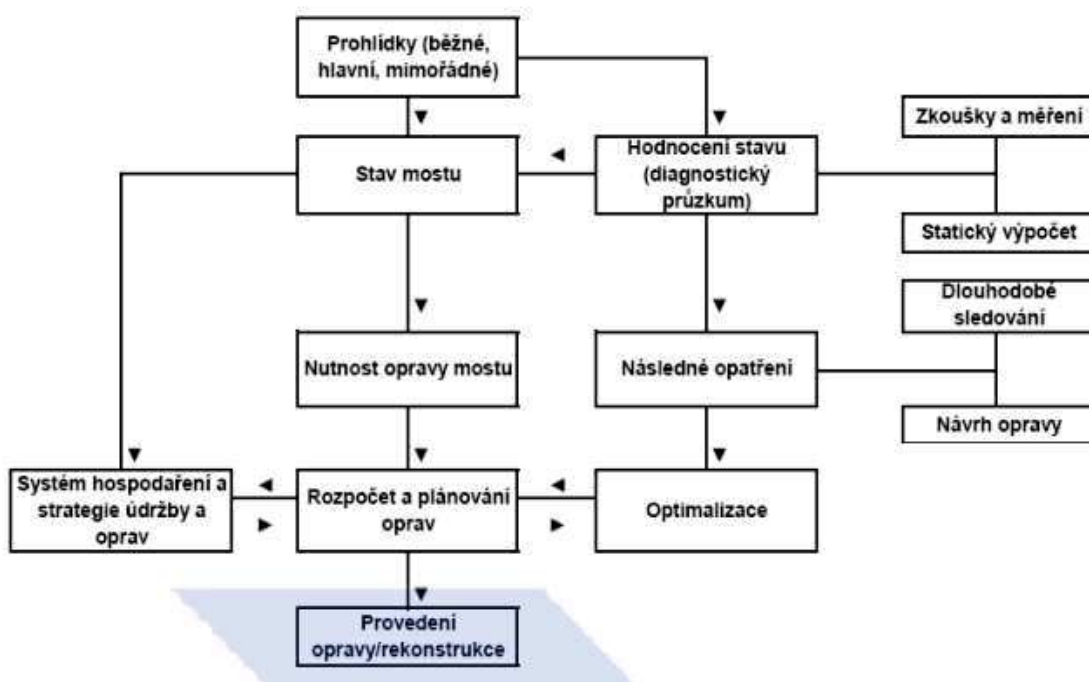
Je doba, do kdy je nutné odstranit závady na mostním objektu, které byly zaznamenány při prohlídce mostu. Po uplynutí této doby se předpokládá, že dojde ke snížení technického stavu mostu, a to jak z pravidla zatížitelnosti, tak použitelnosti mostu. [3]

Technická opatření pro zlepšení stavu konstrukce jsou navržena při prohlídce mostu a jsou rozdělena na opatření okamžitá a opatření dlouhodobá.

Stupně naléhavosti odstranění závady:

- Odstranění možno do 10 let
- Odstranění nutno do 5 let
- Odstranění nutno do 1 roku
- Odstranění do nejbližšího zimního období
- Odstranění nutno provést ihned
- Periodicky
- Odstranění do předání a převzetí dokončené stavby
- Odstranění do doby uvedení do provozu
- Odstranění do kolaudace
- Odstranění do doby ukončení záruční doby

Postup prací při stanovení stavu konstrukce a návrhu příslušných opatření:



Obrázek 3 Schéma postupu prací při hodnocení stavu konstrukce [3]

2.4 Diagnostický průzkum mostu

Cílem diagnostického průzkumu je stanovení příčin vad a poruch, včetně jejich předpokládaného vývoje. Zjištění zbytkové životnosti konstrukce a opatření pro odstranění závad. Diagnostický průzkum mostu zajišťuje správce mostu na základě závěrů prohlídek, a to jak hlavních, tak mimořádných. Závěry získané při diagnostických průzkumech mostu, včetně závěrečné zprávy jsou součástí mostního pasportu viz. ČSN 73 6222 a TP72. [4] [5]

Podle rozsahu průzkumu rozlišujeme diagnostiku průzkumu: [5]

- **Základní** – v případech, kdy zjišťujeme jen stav objektu. Pro upřesnění nebo doplnění výsledku prohlídky
- **Dílčí** – nejčastěji pro získání nebo doplnění podkladů pro výpočet zatížitelnosti
- **Podrobný** – u konstrukcí se zjištěnými závadami, kde se průzkum zpracuje jako podklad pro návrh opravy/rekonstrukce
- **Doplňkový** – jeho požadavky vyplynou až v průběhu opravy/rekonstrukce a slouží k upřesnění návrhu opravy

Rozlišujeme tři základní typy průzkumů:

- Měření ke zjištění mechanických vlastností materiálů nosné konstrukce (beton, ocel, výztuž)



Obrázek 4 Příklad diagnostického vrtu [21]

- Měření ke zjištění stupně oslabení, stupně koroze jednotlivých konstrukčních prvků
- Zkoušky pro zjištění odezvy konstrukce



Obrázek 5 Příklad statické zatěžovací zkoušky mostu [21]

Výběr základních zkušebních metod:

Požadovaná informace	Zkušební metoda
Pro zjištění pevnosti betonu	Měření v povrchové vrstvě betonu: <ul style="list-style-type: none"> – Odpor proti vniknutí – Vytrhávací nebo vylamovací testy – Schmidtův tvrdoměr Měření ve hmotě konstrukce <ul style="list-style-type: none"> – Jádrové vývrty zkoušené laboratorně – Ultrazvuk
Pro zjištění polohy výztuže a tl. krycí vrstvy	<ul style="list-style-type: none"> – Magnetická metoda – Radar – Sondy (destruktivní zkouška)
Koroze betonářské a předpínací výztuže	<ul style="list-style-type: none"> – Půllánková metoda – Měření korozní rychlosti – Sondy (destruktivní zkouška)
Šířka trhliny	<ul style="list-style-type: none"> – Příložné pravítko – Lupa s měřítkem – mikroskop
Zainjektování kabelových kanálků	<ul style="list-style-type: none"> – Endoskop nebo miniaturní kamera – Radiografie – Sondy (destruktivní zkouška)
Účinky mrazu	<ul style="list-style-type: none"> – Zkoušky mrazuvzdornosti – Zkoušky odolnosti proti CHRL – Petrografie

Tabulka 3 Přehled základních zkušebních metod [5]

Zkoušky odezvy konstrukce se dělí na statickou zatěžovací zkoušky a dynamickou odezvu konstrukce, tyto zkoušky jsou prováděny na základě ČSN 73 6209:

- **Statická zatěžovací zkouška** – slouží k ověření chování konstrukce a předpokladů návrhu mostu. Dále ověřuje správnost roznášení zatížení do konstrukce. Provádí se po dokončení všech měření v rámci diagnostického průzkumu v případě doplnění nebo ověření výsledků. Provádějí se zejména v případě pochybností a v případě velké degradace zkoumané konstrukce. [5]
- **Dynamická zatěžovací zkouška** – slouží k stanovení změny stavu konstrukce. Při vyhodnocení se porovnávají hodnoty naměřené s hodnotami zjištěnými výpočtem. [5]

Po provedení diagnostických průzkumů následují statické posouzení konstrukce. Toto posouzení se stanovuje jako výpočet zatížitelnosti stávající konstrukce. [5] [4]

3 Zatížitelnost mostu

Zatížitelnost mostu je největší okamžitá hmotnost každého vozidla, kterému je možno povolit jízdu na mostní objekt za daných podmínek a bere se jako nejnižší zatížitelnost jednotlivých posuzovaných konstrukčních prvků nosné konstrukce a spodní stavby. [4] [6] [7]

Zatížitelnost se nově ověřuje v případech po opravách/rekonstrukcích, které by mohly ovlivnit jež dříve stanovou zatížitelnost (např. rozšíření nebo zesílení mostu, výměna existující části mostu, při změně statického schématu, významné změně stálého zatížení, jako přitížení novými vozovkovými vrstvami, změna vybavení mostu), nebo při zařazení mostu do jiného klasifikačního stupně dle ČSN 73 6221 (základě prohlídky, respektive diagnostického průzkumu). [4] [6] [7]

Při stanovení zatížitelnosti se vytváří teoretický model konstrukce, který by měl obsahovat vlastnosti materiálu zjištěné z projektové dokumentace nebo z diagnostického průzkumu a uvažujeme skutečné statické působení mostu. [4] [6] [7]

Rozlišujeme několik druhů zatížitelnosti dle podmínek přejezdu vozidla na mostě: [4] [6]

- **Zatížitelnost normální (V_n)** – největší okamžitá celková hmotnost jednoho vozidla pohybujících se po mostě bez dopravních omezení, v libovolném počtu za účasti provozu chodců a cyklistů.
- **Zatížitelnost výhradní (V_r)** – největší okamžitá hmotnost vozidla, které smí jet přes most jako **jediné** (tzn. za vyloučení ostatní dopravy ale bez dalších dopravních omezení) a provoz chodců a cyklistů je pouze ve vyhrazených pásech.
- **Zatížitelnost výjimečná (V_e)** – největší okamžitá celková hmotnost vozidla nebo zvláštní soupravy, která smí jet po mostě pouze za vyloučené veškeré dopravy včetně chodců a cyklistů. Také musí dodržet nařízená dopravní opatření (např. přejezd předepsanou rychlostí, dodržení stanové stopy)
- **Zatížitelnost na jednu nápravu (V_{aj})** – největší přípustná hmotnost připadající na jednu jednoduchou nápravu vozidla. Stanový se jako největší hodnota zatížení na nápravu z následujících hodnot:
 - U dvounápravového vozidla jako 3/4 jeho hmotnosti
 - U třinápravového vozidla jako 3/8 jeho hmotnosti
 - U šestinápravového vozidla jako 1/6 jeho hmotnosti
- **Zatížitelnost rovnoměrným zatížením** – největší přípustné zatížení dopravou při zatížení účinné plochy zatěžovacího prostoru mostu v KN/m^2

3.1 Stanovení zatížitelnosti

Při stanovení zatížitelnosti existujících mostů se doporučuje používat **podrobný statický výpočet** při klasifikačním stupni V až VII podle ČSN 73 6221. V odůvodněných případech lze použít **kombinovaný statický výpočet**. Jako informativní podklad pro stanovení zatížitelnosti slouží TP 200 viz. <http://www.pjpk.cz/technicke-podminky-tp/> [4] [7]

- **Podrobným statickým výpočtem (V) –**

Zatížitelnost se provádí podle platných norem pro zatížení a navrhování mostů, respektive existujících konstrukcí.

Jako vstupní veličiny pro výpočet uvažujeme:

- Geometrické parametry, které uvažujeme na základě hodnot zjištěných při diagnostických průzkumech nebo prohlídkou mostu. V případě dochované projektové dokumentace a jestliže nedošlo v průběhu užívání ke změnám různými vliv (stavební úprava, degradace beton a kamene, koroze výztuže atd.)
- Charakteristické zatížení, které bude popsáno v následujících kapitolách.
- Materiálové charakteristiky, získané na základě diagnostiky mostu nebo projektové dokumentace. V případě pochybností o neodpovídajících vlastností materiálů oproti předpokladu v projektové dokumentaci se vždy provádějí diagnostické zkoušky pro zjištění charakteristických vlastností použitých ve výpočtu. [4] [7]

- **Kombinovaným statickým výpočtem (K) –**

Zatížitelnost se provádí podle platných norem pro zatížení a navrhování mostů, respektive existujících konstrukcí s využitím platných předpisů z doby návrhu mostu.

Jako vstupní veličiny pro výpočet uvažujeme:

- Geometrické parametry a vlastnosti materiálů uvažujeme na základě prohlídky mostu, popřípadě z původní dokumentace (pokud nedošlo ke změně těchto charakteristik)
- Charakteristické zatížení, které bude popsáno v následujících kapitolách.
- Předpisy pro zatížení a navrhování mostů platné v době vypracování realizačního projektu mostu. [4] [7]

3.2 Zatížení mostu pro zjištění zatížitelnosti

3.2.1 Normální zatížitelnost

Zatěžovací schéma pro zjištění normální zatížitelnosti vychází z modelu zatížení LM1 definovaného normou ČSN EN 1991-2. Konstrukce se rozdělí na zatěžovací pruhy a následně se tyto pruhy zatíží příslušným zatížením. [4]

- Počet a šířka zatěžovacích pruhů w_1 , se určí na základě šířky mostu mezi zvýšenými obrubami, respektive svodidly (zatěžovacího prostoru w):

- Když $w \leq 5,4$ m tak jeden zatěžovací pruh šířky 3,0 m

- Když $5,4 \text{ m} \leq w \leq 6,0$ m tak dva zatěžovací pruhy šířky 0,5w

- Když $w > 6,0$ m w/3 zaokrouhlené na celé číslo šířky 3,0 m

- Příslušné zatížení v zatěžovacích pruzích
 - Jedno dvounápravové vozidlo v zatěžovacích pruzích č. 1 a č. 2, kde zatížení na každou dvounápravu je:

$$V_{aw} = 100 v_n, tj. 2 \times 50 V_n$$

- Jedna jednoduchá náprava v zatěžovacích pruzích č. 3 a č. 4, kde zatížení na každou jednoduchou nápravu je:

$$V_{ajw} = 1 \times 50 V_n$$

- Rovnoměrné zatížení v zatěžovacích pruzích č. 1 a č. 2:

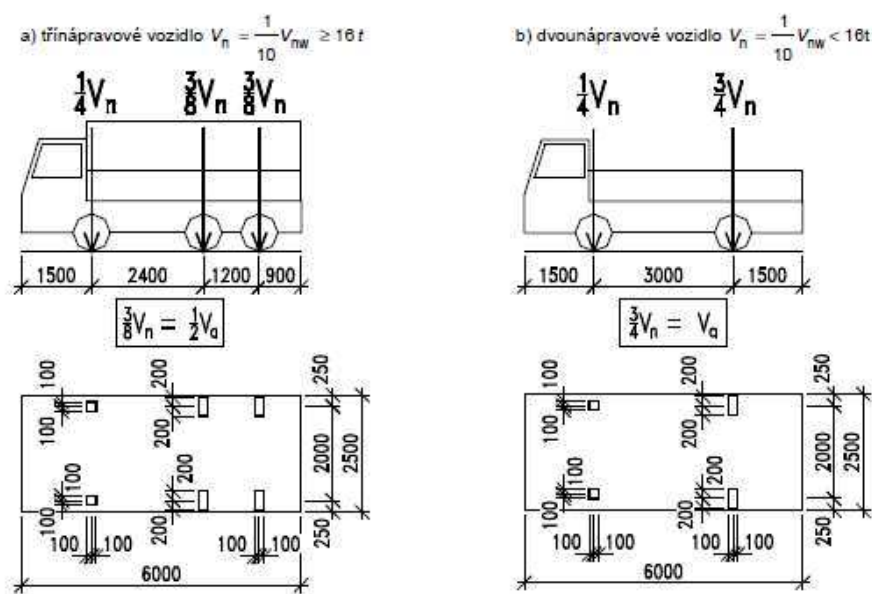
$$2,5 \times V_n$$

- Rovnoměrné zatížení v zatěžovacích pruzích č. 3 a č. 4 a zbývající ploše:

$$V_n$$

Toto zatížení se rozmisťuje v pruzích tak, aby bylo dosaženo maximálního účinku na konstrukci, a tak se zatěžovací pruhy mohou různě přemisťovat za předpokladu, že se nebudou nikdy překrývat. [4]

Normální zatížitelnost V_n se stanoví na základě vlastní tíhy V_a zadní nápravy příslušného vozidla dle obrázku č. 6



Obrázek 6 Schéma zatížení při stanovení normální zatížitelnosti V_n [4]

Při stanovení normální zatížitelnosti vycházíme z jednotkového rovnoměrného zatížení $V_{nw}=1,0 \text{ KN/m}^2$.

Postup stanovení normální zatížitelnosti:

- Konstrukce se zatíží jako na obrázku č. 7 dle příslušných zatížení popsaných výše.
- Určí se rozhodující účinek tohoto zatížení v rozhodujícím místě posuzovaného prvku.
- Podle rozhodujícího mezního stavu se určí odpovídající odolnost prvku. Z toho se stanoví hodnota V_n s přihlédnutím k dynamickým účinkům pohyblivého zatížení případně součinitelům spolehlivosti zatížení.
- Číselná hodnota zatížení na zadní nápravu/dvounápravu je dána vztahem:

$$V_{aw} = 100 \times v_n \text{ (KN) [4]}$$

- Následná tíha vozidla, která odpovídá normální zatížitelnosti, je:

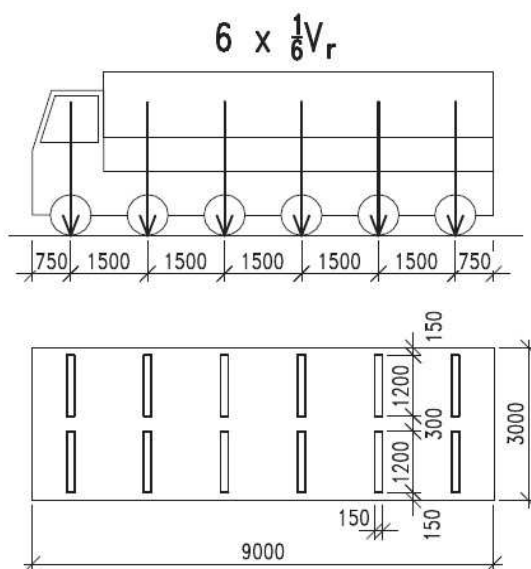
$$V_{nw} = \frac{4}{3} \times V_{aw} \text{ (KN) [4]}$$

- Normální zatížitelnost je:

$$V_n = \frac{1}{10} \times V_{nw} \text{ (t) [4]}$$

3.2.2 Výhradní zatížitelnost

Výhradní zatížitelnost se stanoví jako největší přípustná hmotnost V_r jediného šestinápravového vozidla na základě zatěžovacího schématu na obrázku č. 8 v případě, že stanovená hmotnost V_r je větší než 50 t. V ostatních případech se výhradní zatížitelnost stanoví jako největší přípustná hmotnost dvounápravového vozidla viz. Obrázek č. 6b, avšak pokud je hmotnost vozidla větší než 16 t, stanoví se pak výhradní zatížitelnost jako maximální přípustnou hmotnost V_r třinápravového vozidla dle obrázku č. 6a. [4] [6]



Obrázek 8 Schéma šestinápravového vozidla pro stanovení výhradní zatížitelnosti V_r

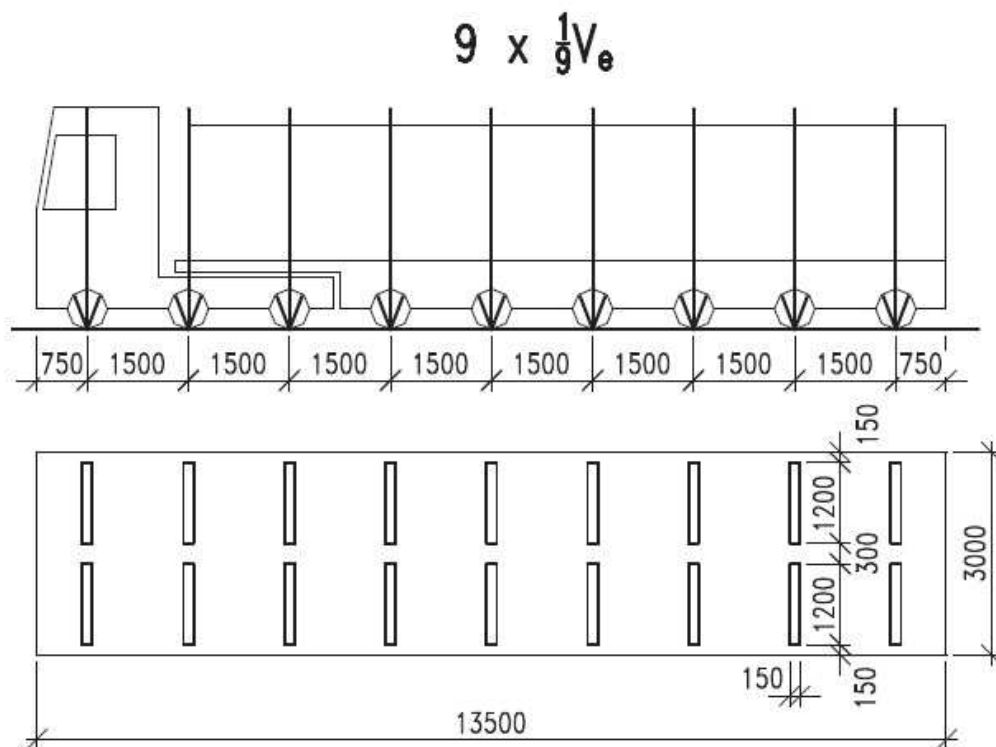
Postup stanovení výhradní zatížitelnosti:

- Konstrukce se zatíží šestinápravovým/dvounápravovým/třinápravovým vozidlem o jednotkové tíže 1 kN.
- Určí se rozhodující účinek tohoto zatížení v rozhodujícím místě posuzovaného prvku.
- Podle rozhodujícího mezního stavu se určí odpovídající odolnost prvku. Z toho se stanoví hodnota V_{rw} (kN) s přihlédnutím k dynamickým účinkům pohyblivého zatížení případně součinitelům spolehlivosti zatížení.
- Výhradní zatížitelnost

$$V_r = \frac{1}{10} \times V_{rw}(t) [4]$$

3.2.3 Výjimečná zatížitelnost

Výjimečná zatížitelnost se stanoví jako největší přípustná hmotnost devítinápravového vozidla viz. obrázek č. 9, které se musí po mostní konstrukci pohybovat v předepsané stopě $\pm 0,5$ m a s předepsanou rychlostí. [4] [6]



Obrázek 9 Schéma zvláštní soupravy pro stanovení výjimečné zatížitelnosti V_e [4]

Postup stanovení výjimečné zatížitelnosti:

- Konstrukce se zatíží devítinápravovým vozidlem o jednotkové tíze 1 kN.
- Určí se rozhodující účinek tohoto zatížení v rozhodujícím místě posuzovaného prvku.
- Podle rozhodujícího mezního stavu se určí odpovídající odolnost prvku. Z toho se stanoví tíha vozidla V_{ew} (kN) odpovídající výjimečné zatížitelnosti V_e (t) s přihlédnutím k dynamickým účinkům pohyblivého zatížení případně součinitelům spolehlivosti zatížení.
- Výjimečná zatížitelnost

$$V_e = \frac{1}{10} \times V_{ew}(t) [4]$$

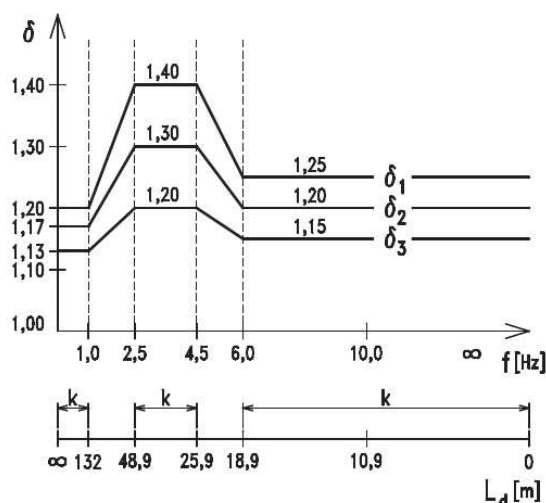
3.3 Dynamické účinky zatížení dopravou

Dynamické účinky zatížení dopravou se při stanovení zatížitelnosti obvykle zohledňuje tak, že se účinek statického zatížení násobí dynamickým součinitelem δ . Pokud se nejedná o neobvyklé a mimořádně významné mosty tak není třeba určovat dynamický účinek zatížení přesněji. Uvažuje se součinitel v závislosti na druhu zatížitelnosti. V případě významných mostů (např. visuté, zavěšené) je třeba uvážit individuální postup stanovení dynamických účinků pomocí výpočtu/zkoušek. [4] [6]

Dynamický součinitel dle druhu zatížitelnosti:

- Normální zatížitelnost
 - Zatížení jedním kolem/ jednou nápravou $\delta=1,40$
 - Zatížení jedním zatěžovacím pruhem a pruhy Δ_i $\delta=\delta_1$
 - Zatížení dvěma zatěžovacími pruhy a pruhy Δ_i $\delta=\delta_2$
 - Zatížení třemi a více zatěžovacími pruhy a pruhy Δ_i $\delta=\delta_3$
- Výhradní zatížitelnost
 - Zatížení jedním kolem/ jednou nápravou $\delta=1,40$
 - Zatížení dvěma, třemi nebo čtyřmi nápravami (celý vůz) $\delta=\delta_1$
- Výhradní zatížitelnost
 - Zatížení jedním kolem/ jednou nápravou $\delta=1,05$
 - Zatížení více nápravami, zatížení celou soupravou $\delta=1,05$
- Ostatní případy zatížení
 - Rovnoměrné zatížení na vozovce (most jako lávka) $\delta=1,10$
 - Rovnoměrné zatížení chodníků $\delta=1,10$

Dynamické součinitele δ_1 , δ_2 , δ_3 se určí dle obrázku č. 10 a na základě vlastní frekvence mostu a náhradní délky L_d .



Obrázek 10 Dynamické součinitele v závislosti na vlastní frekvenci f (Hz) [4]

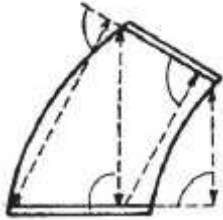
- Stanovení vlastní frekvence

Pokud se vlastní frekvence konstrukce nepočítá přesněji, tak lze vlastní frekvenci odhadnout dle vztahu:

$$f = 90,6 L_d^{-0,923} \text{ (Hz) [4]}$$

- Stanovení náhradní délky:

Náhradní délka se stanovuje na základě druhu/části konstrukce jako vzdálenost na části posuzované konstrukce.

č.	Konstrukce/část konstrukce	Náhradní délka L_d
1	Plech mostovky	Vzdálenost podélných výztuh (při nestejných vzdálenostech se bere střední hodnota)
2	prosté nosníky	Rozpětí
3	Konstrukce o jednom poli, na obou koncích volně uložené nebo vetknuté, kolmé, šikmé, též nepravidelného (zakřiveného) půdorysu (deska, trám, rámy)	Kolmá vzdálenost uložení (střední hodnota všech vzdáleností) 
4	Deskové konstrukce uložené nebo vetknuté po obvodě, též šikmé nebo nepravidelného půdorysu	Střední hodnota všech kolmých vzdáleností uložení nebo vetknutí
5	Oblouky	Polovina rozpětí
6	Vetknuté konzoly	Dvojnásobná délka vyložení
7	Spojité konstrukce obloukové	Rozpětí polí
8	Spojité konstrukce (deskové, trámové, rámové)	Aritmetický průměr rozpětí všech polí
9	Spojité oblouky	Aritmetický průměr polovin rozpětí všech polí
10	Konstrukce zavěšené a visuté	Individuálně provedeme dynamickou analýzu
11	Členěné podpěry, ocelové a betonové sloupy, rámové stojky, průvlaky, klouby ložiska, kotvy, úložné kvádry (lavice), oblasti pod ložisky i mezi úložnými kvádry a zdívem	Průměrná hodnota rozpětí podporovaných mostních polí

Tabulka 4 Stanovení náhradní délky L_d [4]

3.4 Mezní stavy při stanovení zatížitelnosti

3.4.1 Mezní stav únosnosti

Kombinace zatížení pro stanovení zatížitelnosti mostu se stanoví podle ČSN EN 1990 a příslušných norem pro navrhování pro mezní stav únosnosti. Mimořádná kombinace zatížení se v tomto případě neuvažuje. Kde se uvažuje nejméně příznivý stav z kombinace 6.10a, 6.10b:

- 6.10a

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

- 6.10b

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

V těchto kombinacích je $Q_{k,1}$ charakteristická hodnota proměnného zatížení pro neúčinnější sestavu zatížení dopravou stanovená pro příslušnou zatížitelnost V_n , V_r , V_e . Součinitel kombinace pro příslušné zatížitelnosti je $\psi_{0,1} = 0,75$. [4]

3.4.2 Mezní stav únosnosti

Kombinace zatížení pro stanovení zatížitelnosti mostu se stanoví podle ČSN EN 1990 a příslušných norem pro navrhování pro mezní stav únosnosti. Mimořádná kombinace zatížení se v tomto případě neuvažuje. Kde se uvažuje nejméně příznivý stav z kombinace charakteristické, časté, kvazistálé:

- Charakteristická

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

- Častá

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

- Kvazistálá

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

V těchto kombinacích je $Q_{k,1}$ charakteristická hodnota proměnného zatížení pro neúčinnější sestavu zatížení dopravou stanovená pro příslušnou zatížitelnost V_n , V_r , V_e . Součinitel kombinace pro příslušné zatížitelnosti je $\psi_{0,1} = 0,75$. [4]

4 Podpírání mostů

K podepření mostu v havarijním stavu dochází na základě vyhodnocení hlavních a mimořádných podmínek a diagnostických průzkumů. Tyto provedené prohlídky a případná diagnostika konstatuje, že most je v havarijním stavu a jeho zatížitelnost nevyhovuje podmínkám pojižděné komunikace (např. podepření mostu D1-0,35 Hvězdonice v roce 2015, podepření stativ na mostě D5-016 z roku 2019, most X022 Severní předpolí Hlávkova mostu). Podepření mostu je pouze provizorní konstrukce, které se musí pravidelně kontrolovat, případně rektifikovat. Podepřená konstrukce a podepření může být také sledováno pomocí vybraných měření (například tenzometrickým měřením přetvoření konstrukce), na základě těchto měření je možno za použití hydraulických zařízení podpěrnou konstrukci znovu aktivovat. Podepření mostu pak, zůstává do vyřešení dalších zvýšení zatížitelnosti jiným způsobem, a to zejména rekonstrukce dané části mostu nebo nejčastěji výstavbou nového mostu.



Obrázek 11 Podepření mostu D1-035 Hvězdonice [23]

Podepírání mostů se provádí zpravidla inventárními podpěrnými skružemi, které by měly cílit na zvětšení zatížitelnosti na požadovanou hodnotu danou správcem mostu, respektive na zajištění spolehlivosti mostu a bezpečnosti převáděné dopravy. Podepírat můžeme různé konstrukce mostu např. Římsy (příklad Bezpečnosti zajištění říms na mostě D1-030), nosná konstrukce (příklad podepření mostu Hvězdonice z nosníku I67), podepření spodní stavby (příklad podepření stativ pilířů na D5-016).

Pro podpěrné skruže se dnes používají zejména systémové skruže různých typů:

- Těžké ocelové skruže – Podpěrná konstrukce se skládá z ocelových věží, které nesou ocelové nosníky jako podpory.
 - PÍŽMO, PERI – Vysokopevnostní věže VST, STA4
- Lehké podpěrné skruže – ve většině případů se využívají jako prostorové skruže, je možné je použít jako podporové skruže s ocelovými nosníky v případě malého zatížení.
 - PERI, DOKA, ULMA

4.1 Podpěrná skruž PIŽMO

Původně tato skruž byla navržena jako vojenské pilíře pro obnovu železničních mostů. Za minulého režimu byl vytvořeno velké množství zásob ve státních hmotných rezervách, které by po revoluci z velké části rozprodány stavebním firmám. [8]

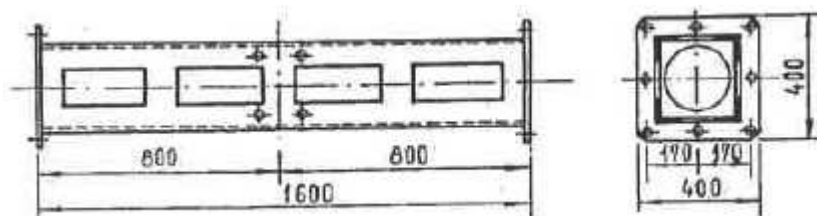


Obrázek 12 Podepření skruž PIŽMO [24]

Podpěrná konstrukce PIŽMO je ocelový, příhradový a rozebíratelný pilíř, ten je velmi snadné přizpůsobit jak zatížení, výšce tak únosnosti základové půdy. Skládá se z několika částí, ty jsou spojované šrouby. Tyto typizované mostní pilíře až do výšky 35,2 m, jejíž návrhy jsou zpracované v předpisu „Mostní pilíř PIŽMO díl II. – určovací tabulky a výkazy materiálu“ není nutno staticky posuzovat. [8]

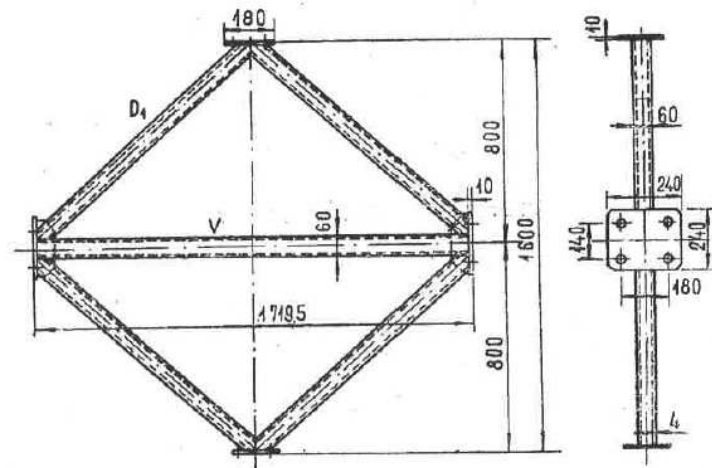
Součásti pilíře PIŽMO:

- Sloupky (S) – jsou základním nosným prvkem pilíře. Mají čtvercový průřez vytvořený ze čtyř úhelníků 80x80x10 mm. Na obou koncích mají přivařenou desku pro spojení sloupků šrouby. Na stěnách mají v pravidelných roztečích otvory pro připojení ztužidel. [8]



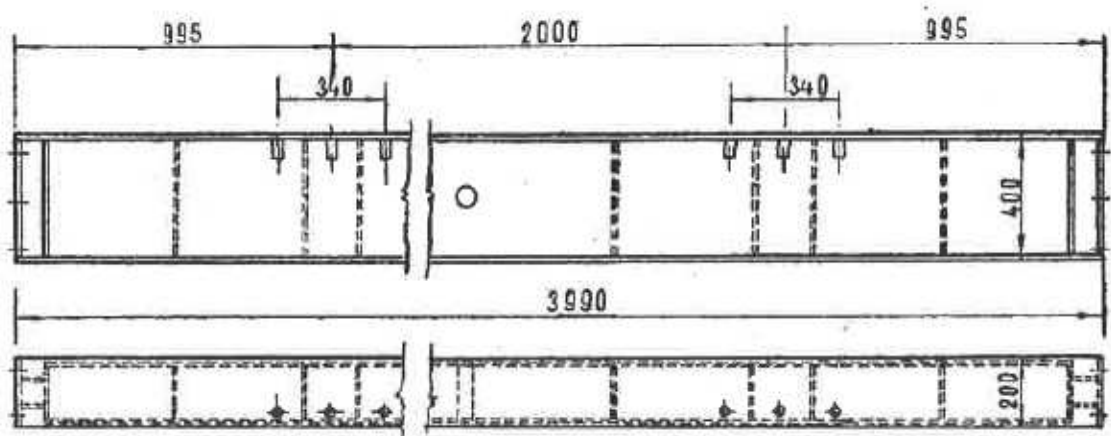
Obrázek 13 Schéma sloupku PIŽMO [8]

- Ztužidla (Z) – spojují navzájem sloupky. Jsou svařena z trubek o $\varnothing 60$ mm a mají na sobě přivařené styčné desky se čtyřmi otvory pro připojení sloupku šroubovým spojem. Ztužidla máme různého typu: [8]
 - Čtvercové ztužidlo
 - Lichoběžníkové a trojúhelníková ztužidla
 - Přímé ztužidlo
 - Příčná ztužidla
 - Vzpěra



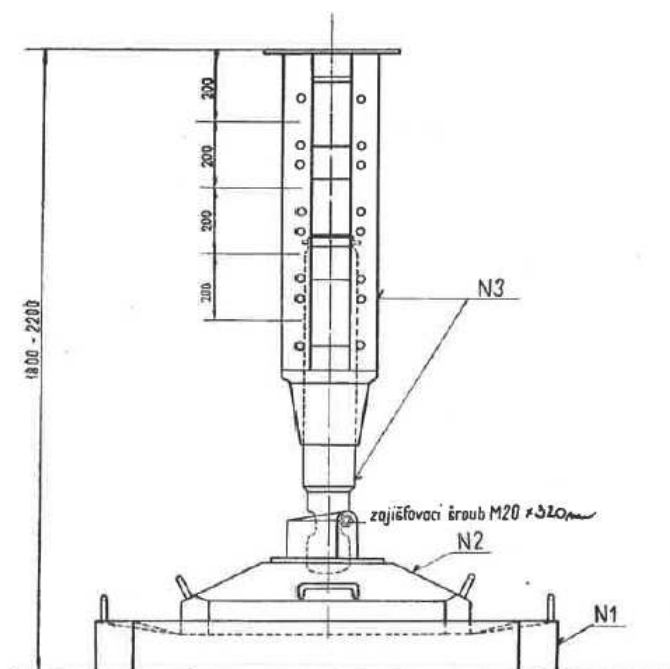
Obrázek 14 Schéma čtvercového ztužidla [8]

- Roštové nosníky (R) – se používají ke zřízení základu pilíře nebo hlavice pilíře. Mají truhlíkové průřez a jsou příčně vyztužené žebry. Jsou různé délky a to od 2,0 m po 6,5 m. [8]



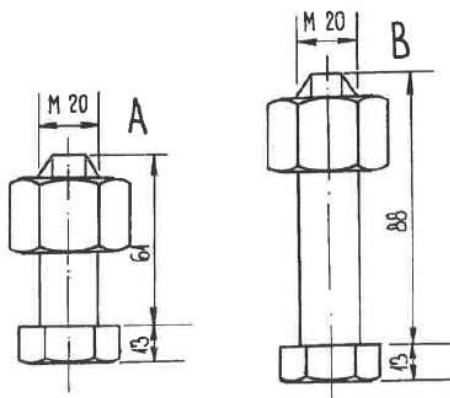
Obrázek 15 Schéma roštového nosníku [8]

- Nánožky (N) – se používají k zakládání pilířů přímo na terénu nebo ve vodě. Navzájem se spojují trojúhelníkovými ztužidly. Nánožky se skládají ze tří různých částí: [8]
 - Nánožková podložka – přenáší tlaky sloupů do základové spáry.
 - Nánožková pata – Umožňuje vychýlení sloupu od svislé osy vzhledem ke sklonu terénu základové spáry.
 - Nánožková noha – Je spojená s nánožkovou patou a umožňuje otáčení a vyrovnání pilíře.



Obrázek 16 Schéma sestavené nánožky [8]

- Spojovací šrouby M20 s maticí – slouží ke spojování součástí pilíře PÍŽMO.



Obrázek 17 Schéma spojovacích šroubů M20 [8]

Konstrukce pilíře:

- **Hlavice** – tvoří dvouvrstvý nebo vícevrstvý rošt z roštových nosníků. Roznáší tlaky na jednotlivé sloupky dříků. Poslední vrstva roštových nosníků v hlavici se ukládá vždy v příčném směru mostu. [8]
- **Dřík** – tvoří konstrukci složenou ze sloupků a ztužidel. Základním nosným prvkem jsou sloupky a jsou navzájem propojeny ztužidly. Umožňuje stupňovat výšku pilíře po 0,4 m. Dřík se může směrem k základu postupně rozšiřovat jak v příčném tak v podélném směru. [8]
- **Patu** – roznáší tlaky sloupů dříků do základové spáry. Patu tvoří:
 - Jednovrstvový rošt z roštových nosníků
 - Soustava nánožek spojených ztužidly
 - Zahloubený základ pilíře sestavený ze zahlubovacích nánožek [8]



Obrázek 18 Podepěrná konstrukce těžké skruže PIŽMO [23]

- **Výhody** – Vysoká únosnost cca 1000 KN/stojka
 - Nízká cena cca 1,5 Kč/kg/měsíc
 - Velmi vysoká variabilita (založení, výška, terén) [9]
- **Nevýhoda** – Vysoká hmotnost – velké náklady na dopravu
 - obtížná montáž a demontáž – použití těžké techniky (jeřáby, manipulátory, kladky, řehtačkový zvedák) [9]

4.2 Podpěrná skruž PERI – VARIOKIT věže VST

Toto těžké podskenžení od společnosti PERI bylo navrženo zejména pro podskenžování mostů a inženýrských konstrukcí. Tento typ těžké skruže lze provádět do výšky až 40 metrů a únosnost jedné věže je až 180 t, maximální únosnost na jednu nohu je 70 t. [10] [11]



Obrázek 19 Těžká skruž s využitím vysokopevnostních věží VST

Tato podpěrná konstrukce se skládá z hlavy a modulu sloupu, který má dané moduly ve kterém jsou vyráběny. Spojení částí věže je za použití čepů se závlačkou. Systém je velice variabilní a je možné vytvořit věže různé šířky a výšky. Založení pro podpěrou věž musí být velmi přesné, rovné a únosné. Na věže je také možné upevnit pracovní plošina pro snadnější manipulace ocelových nosníků na hlavy věží. Pro aktivace skruže je u tohoto typu možno využívání hydraulické zařízení. [10] [11]

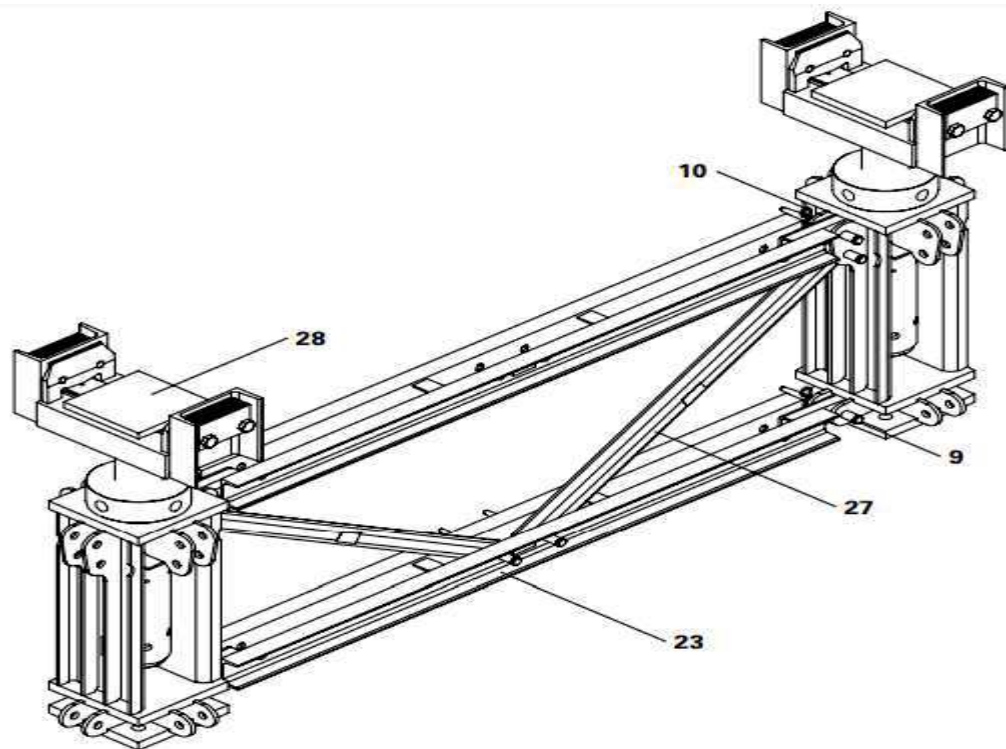
Součásti věže VST:

- Hlavový rám VST – Slouží pro osazení nosníku, osazeného v příčném směru mostu. Hlavu je možno za použití hydraulického lisu rektifikovat za plného zatížení. [11]



Obrázek 20 Ukázka hlavy VST [23]

Popis prvků hlavového rámu VST:

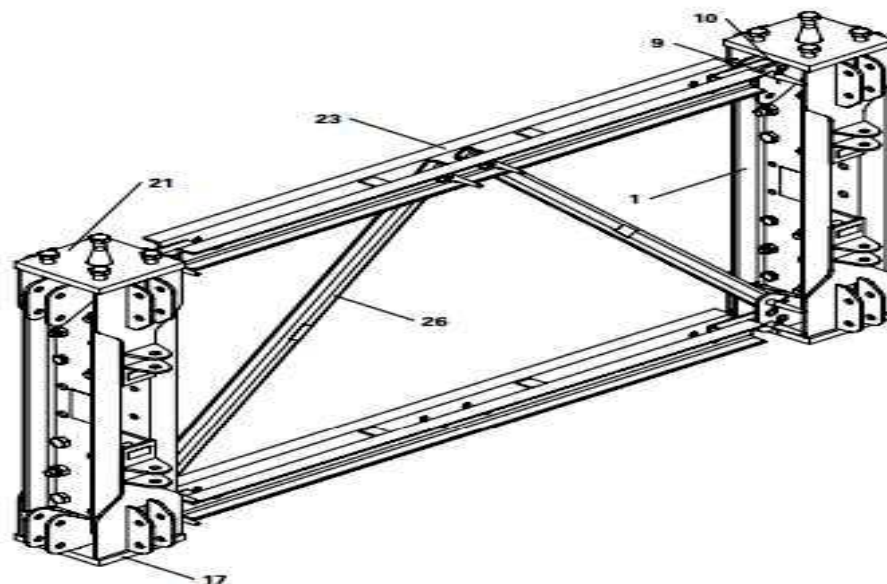


Obrázek 21 Hlavový rám VST [11]

Položka	Název
9	Čep Ø 21 x 120
10	Závlačka 4/1
23	Horizontála VST
27	Diagonála VST
28	Hlava VST 100

Tabulka 5 Výpis prvků hlavového rámu VST [11]

- Sloupový modul VST – Slouží pro roznášení zatížení z hlavového rámu do založení podepření. Tyto moduly jsou děleny dle velikostí o 1,25 m až do 10,25 m. Tyto moduly se dají používat několikrát za sebou, a to až do výšky 40 m. [10] [11]

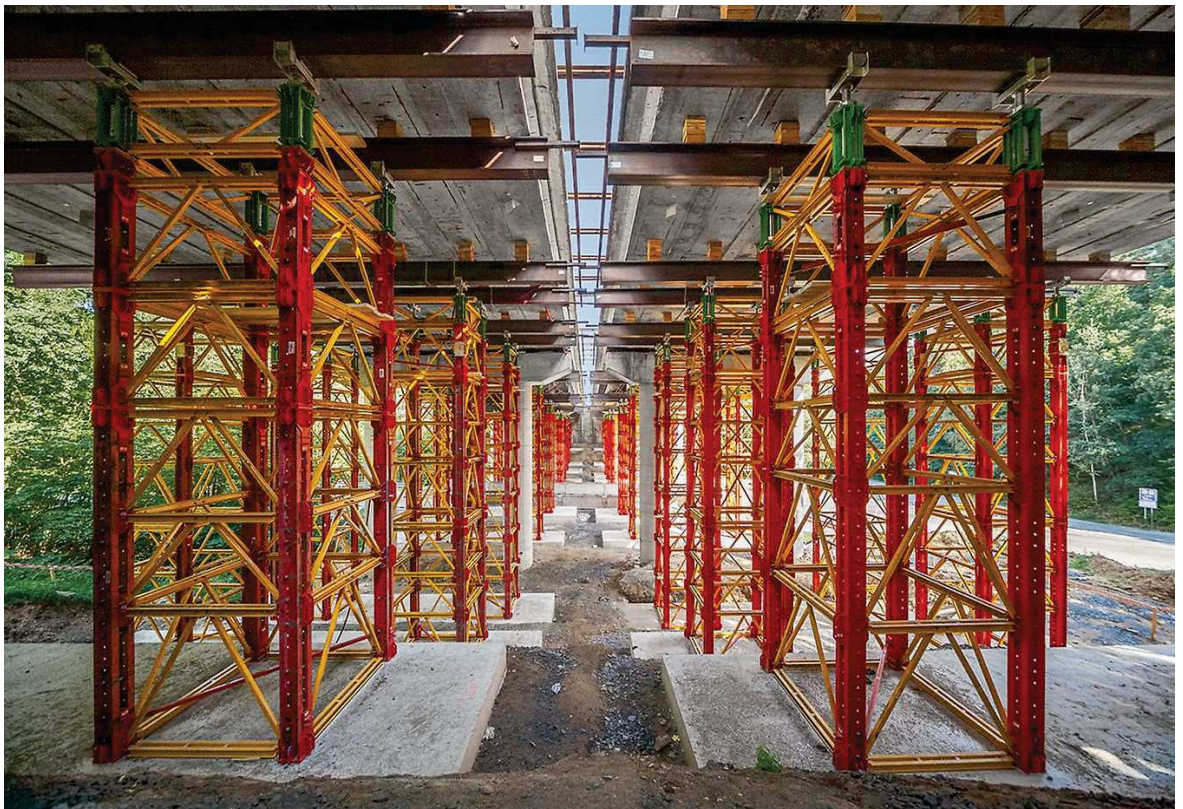


Obrázek 22 Sloupový modul VST [14]

Položka:	Název:
1	Kolejnicový profil RCS 96
9	Čep Ø 21 x 120
10	Závlačka 4/1
16	Matice ISO 7042 M20-B
17	Patka VST
18	Šroub ISO 4014 M20x130-10.9
19	Šroub ISO 4014 M24x130-10.9
20	Matice ISO 7042 M24-B
21	Sloupková spojka VST
23	Horizontála VST
26	Diagonála VST

Tabulka 6 Výpis prvků modulového sloupu VST [11]

- Výhody – Vysoká únosnost cca 700 KN/stojka
 - Vysoká dostupnost – půjčovna PERI
 - Konstrukční návrh od techniků spol. PERI
 - Velmi vysoká variabilita (založení, výška, terén)
 - Možnost zvedání konstrukcí pomocí hydraulických lisů [11]
- Nevýhoda – Vysoká hmotnost – velké náklady na dopravu
 - obtížná montáž a demontáž – použití těžké techniky (jeřáby, manipulátory, kladky, řehťákový zvedák)
 - Vysoká cena cca 3,0 – 5,0 Kč/kg/měsíc [11]



Obrázek 23 Vysokopevnostní věže VST použité k podepření mostu

5 Ukázka podepření mostů v ČR

5.1 Most D1-035 Hvězdovice

Podepření mostu D1-035 řešilo havarijní stav samotného mostu, a to zejména zkorodovanou předpínací výztuž nosníku. K podepření mostu došlo v roce 2015 a bylo navrženo tak, aby umožnilo kdykoliv zahájit rekonstrukci mostu a dopravní opatření nelimitovalo realizaci stavby D1 – úsek 3. [12]



Obrázek 24 Nosník I67 zatékání [23]



Obrázek 25 Nosníku I67 koroze výztuže [23]

Na základě zjištěné zatížitelnosti ke stavu mostu: [12]

$V_n = 13 \text{ t}$

$V_r = 45 \text{ t}$

$V_e = 104 \text{ t}$



Obrázek 26 Most D1-035 před podepřením [23]

Došlo k navržení podepření konstrukce, která zvýšila zatížitelnost: [12]

$V_n = 32 \text{ t}$

$V_r = 80 \text{ t}$

$V_e = 196 \text{ t}$



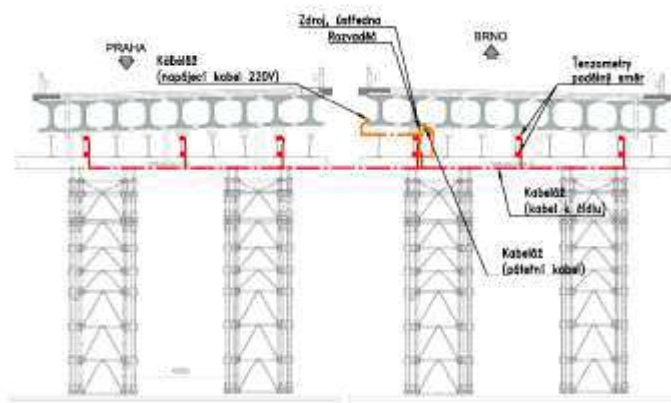
Obrázek 27 Most D1-035 po podepření [23]

Technické řešení podepření:

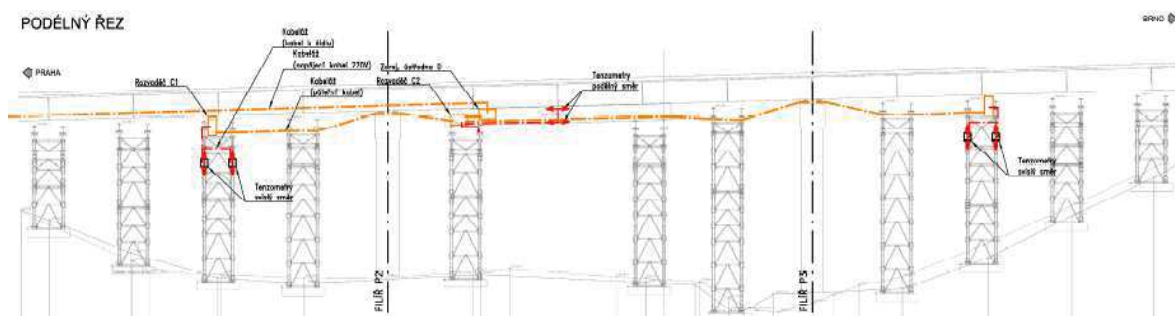
- Zemní práce – dle detailního zaměření stávajícího stavu pod mostem a skladebné výšce věží VST, byla stanovena výška základových spár jednotlivých věží. Základová spára s předepsanou únosností min. $E_{def2} = 40 \text{ Mpa}$. Následně na základové spáře byl proveden zemní polštář se separací pomocí geotextílie se zhutněním tak, aby modul deformace $E_{def2} = 50 \text{ Mpa}$.
- Založení provizorních podpěr – Založení podpěr bylo provedeno na monolitických deskách a různé šířce a tl. 400 mm vyztužené při obou površích z betonu C20/25 XC2.
- Provizorní podpěry – Podpěry jsou navrženy na podepření styčné spáry nosníku I67 (nosníky byly při výstavbě mostu dováženy v délce 6 m a tyto díly byly sepnuty předpínací výztuží a následně spojeny dobetonávkami).
 - Běžné podpory – Věže jsou provedeny z konstrukce PERI vysokopevnostní věže VST s únosností každého sloupku 700 KN. Tyto věže byly osazeny přes náložky přímo na ŽB základ a v horní části jsou podpěr opatřeny dílem pro osazení hydraulického aktivačního zařízení (hydraulický lis). Následně hlavy podpěr jsou tvořeny z dvojice HEB500 osazených do hlav věží VST. Tyto věže jsou typově osazeny po 5 m. [12]
 - Nad silnicí II/109 je provedeno přemostění silnice pro zachování průjezdu pod mostem na silnici II/109. Toto přemostění bude zajištěno nosníky HEB1000, které jsou osazeny na příčné nosníky HEB500. Ty roznášejí zatížení do vysokopevnostních věží VST. [12]

- Aktivace podpor – Ta je provedena pomocí hydraulických lisů. Lisy budou osazeny v dílech věží k tomu uzpůsobených. Tato aktivace je provedena pomocí vyrovnání předpokládaných průhybů mostu. Pro aktivaci bude vnesena do konstrukce předepsaná síla, následně se vyčká minimálně 4 hodiny pro dotlačení podepření, po dotlačení bude provedena reaktivace na základě dotlačení konstrukce, poté se podpory zaaretují. Aktivace bude sledovaná geodetickým zaměřením na zřízených bodech na hlavách provizorních podpěr. [12] [13]
- Toto měření proběhne:
 - Během aktivace a reaktivace
 - 48 hodin po aktivaci
 - Po měsíci po aktivaci
 - Po třech měsících po aktivaci
 - Dále pravidelně po 6 měsících nebo v případě zjištění abnormálního chování

Stejně tak budou probíhat prohlídky mostu v periodách z důvodu nenahraditelnosti této mostní konstrukce, dále se bude provádět monitoring zatížení konstrukce, který bude provádět tenzometrickým měřením. Následně je možno provádět reaktivace podpěrné konstrukce na základě geodetického měření a tenzometrického měření zatížení mostu. [12] [13]



Obrázek 28 Příčný řez s umístěním komponentů měřických zařízení [13]



Obrázek 29 Podélný řez s umístěním komponentů měřických zařízení [13]

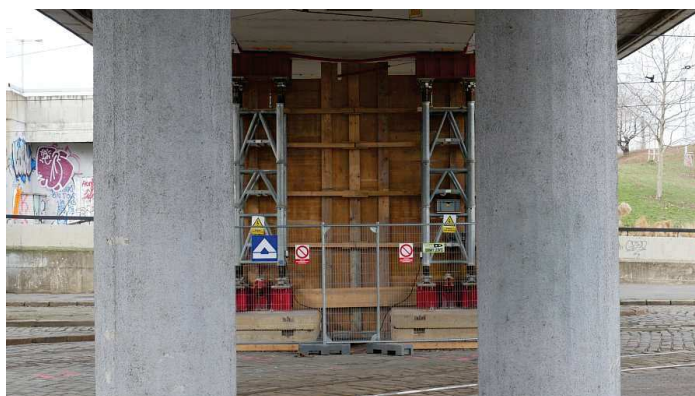
5.2 Podepření mostu X022 Bubenská u metra Vltavská

Provizorní podepření na mostě X022 (Severní předpolí Hlávkova mostu), který je v havarijním stavu. Cílem tohoto podepření je zprovoznit uzavřenou tramvajovou trať ve směru Hlávkův most. Mostní konstrukce v havarijním stavu je tvořena pětipólovou podélně předpjatou spojitou mostní konstrukcí, ze železobetonových prefabrikátů typu VS výšky 1,18m. Z důvodu špatného stavu mostovky a rozevření příčných spár v místě dobetonávky nosné konstrukce v poli č. 2 a č. 4., byla konstrukce zařazena do klasifikačního stupně č. 7. Proto došlo v roce 2019 k podepření této konstrukce v poli č. 2 a č. 4 systémem podpěrných věží ST A4. [14]



Obrázek 30 Podepření mostu X22 pomocí věží s nosníky [14]

Následně bylo provedeno definitivní podepření jak v poli č. 2 a poli č. 4 zajištěné pomocí věží a nosníku HEB650. [14]



Obrázek 31 Příčný směr podepření mostu X22 [14]

Konstrukce je po dobu životnosti sledovaná. Sleduje se jak technický stav, tak síly v podpěrných konstrukcích. Životnost podepření je až 10 let, během těchto let by se mělo rozhodnout o rekonstrukci mostu. [14]

5.3 Podepření stativ D5-016

Podepření stativ mostu D5-016 je navrženo na základě nevyhovujícího stavebně-technického stavu, které omezují zatížitelnost mostu. Nosná konstrukce o třech polích je tvořena 13 nosníky KA-73 délky 12 m v každém poli. Nosná konstrukce je uložena na stativěch, které je potřeba podepřít pro zvýšení zatížitelnosti mostu D5-016. [15]



Obrázek 32 Pohled na stativa mostu D5-016 před podepřením [16]



Obrázek 33 Podepření stativ na mostě D5-016 [16]

Provedení a údržba podepření:

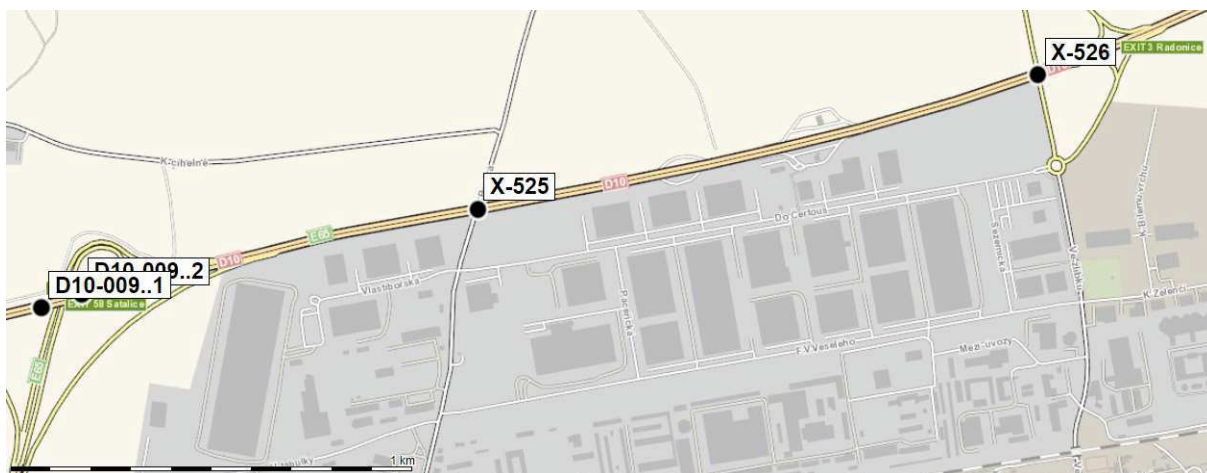
- Výkopové práce pro vytvoření roznášecích prahů pro podepření stativ jsou provedeny do horní úrovně založení stativ mostu. Následně byly provedeny roznášecí prahy s roznášecí plochou minimálně 0,5 m od hrany podpěrných stojek. Tyto prahy budou vytvořeny z betonu C30/37 XF4 s vyztužením kari sítěmi 100x100x8 mm. K aktivaci podpěr dojde po dosažení 80 % pevnosti roznášecích prahů. Následně budou osazeny stojky a vyrovnány do svislé polohy. Požadovaná únosnost na jednu stojku je 350 KN a tyto stojky budou aktivovány na 250 KN. [15]
- Údržba během podepření stativ je prováděna pravidelně s kontrolou její funkčnosti a bezpečnosti. Dále dochází ke kontrole síly ve stojkách a případně jejich reaktivaci, a to s periodou:
 - 2. měsíční perioda – Vizuální kontrola a zjištění závad (dotažení šroubových spojů, kontrola PKO)
 - 6. měsíční perioda – Kontrola měření svislé síly a případná reaktivace. [15]



Obrázek 34 Podepření stativa v pohledu na mostě D5-016 [16]

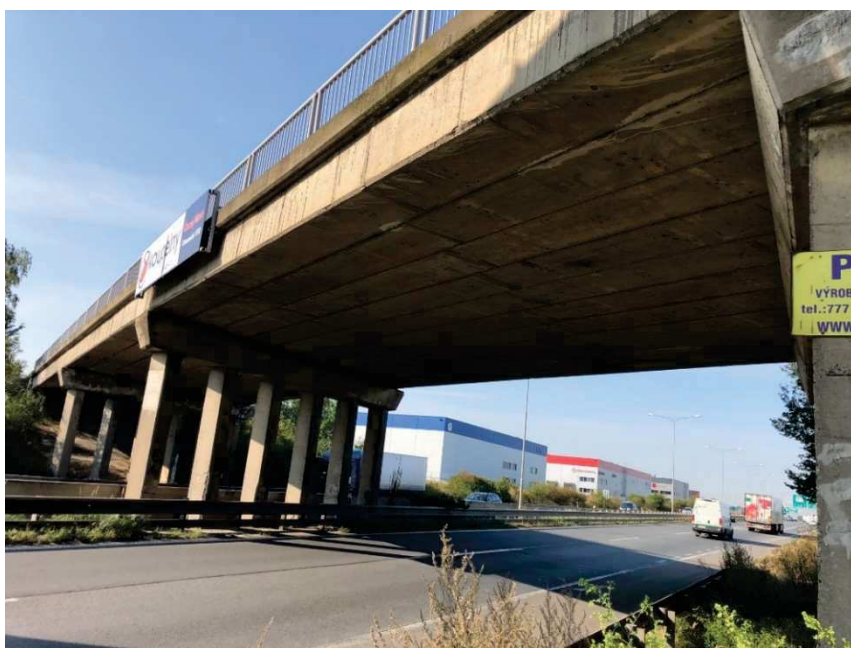
6 Most X525 Bystrá

Most X525 je dlouhodobě ve špatném stavu na základě třech provedených mimořádných prohlídek (v letech 2018 až 2020) včetně diagnostického průzkumu, bylo zjištěno, že nosná konstrukce i spodní stavba jsou ve velmi špatném stavu, klasifikace VI. Toto už konstatovala prohlídka z roku 2018, dále proběhla mimořádná prohlídka v roce 2019 doplněná diagnostickým průzkum a mimořádná prohlídka v roce 2020, které potvrdily dále se zhoršující stav mostu.



Obrázek 35 Pozice mostu X-525 z portálu BMS [17]

Most se nachází v Praze v ulici Bystrá a spojuje Horní Počernice s Radonicemi a Satalicemi přes křižující dálnici D10. Most z roku 1981 o čtyřech stejných polích o rozpětí 18 m nosníky KA-73/18. Nosníky jsou uloženy na ocelolitinových ložiskách, které přenáší zatížení do železobetonových opěr založených na pilotách a prefamolitických pilířů se stativy. [18]



Obrázek 36 Most X-525 Bystrá [18]

6.1 Identifikační údaje o stávajícím mostě:

Inv. Číslo mostu:	X-525
Název mostu:	Bystrá (libošovická)
Umístění mostu:	Praha (městská část Praha 20)
Druh mostu:	Silniční
Druh nosné konstrukce:	4 prostě uložené pole tvořené 11 prefabrikovanými předpjatými nosníky typu KA 73/18
Popis spodní stavby:	Železobetonové podpěry a opěry
Počet nosných konstrukcí:	4
Počet mostních otvorů:	4
Délka nosné konstrukce:	73,59 m
Délka přemostění	70,59 m
Rozpětí polí nosné konstrukce:	17,99 + 18,01 + 18,01 + 17,99
Stavební výška:	1,09 m
Úložná výška:	1,19 m
Výška nad terénem:	6,49 m
Volná výška:	5,30 m
Směrové poměry na mostě:	Přímé
Šířka mezi zvýšeními obrubami:	8,50 m
Šířka mezi zábradlím:	11,00 m
Šířka mostu:	11,56 m
Šikmost mostu:	68,86g (pravá)
Rok výstavby:	1981

Zatížitelnost dle poslední prohlídky bez úpravy mostu

Normální zatížitelnost V_n :	16 t
Výhradní zatížitelnost V_r :	35 t
Výjimečná zatížitelnost V_e :	80 t

6.2 Charakteristika mostu:

Nosná konstrukce se dělí na 4 prostě uložená pole v podélném směru. V příčném směru se nosná konstrukce skládá z celkem 11 předpjatých prefabrikovaných nosníků typu KA-73 délky 18 m, na kterých je provedena vyrovnávající deska tl. 30–130 mm. Konstrukce je uložena pomocí 5 ocelových ložisek na každé straně. [18] [19]

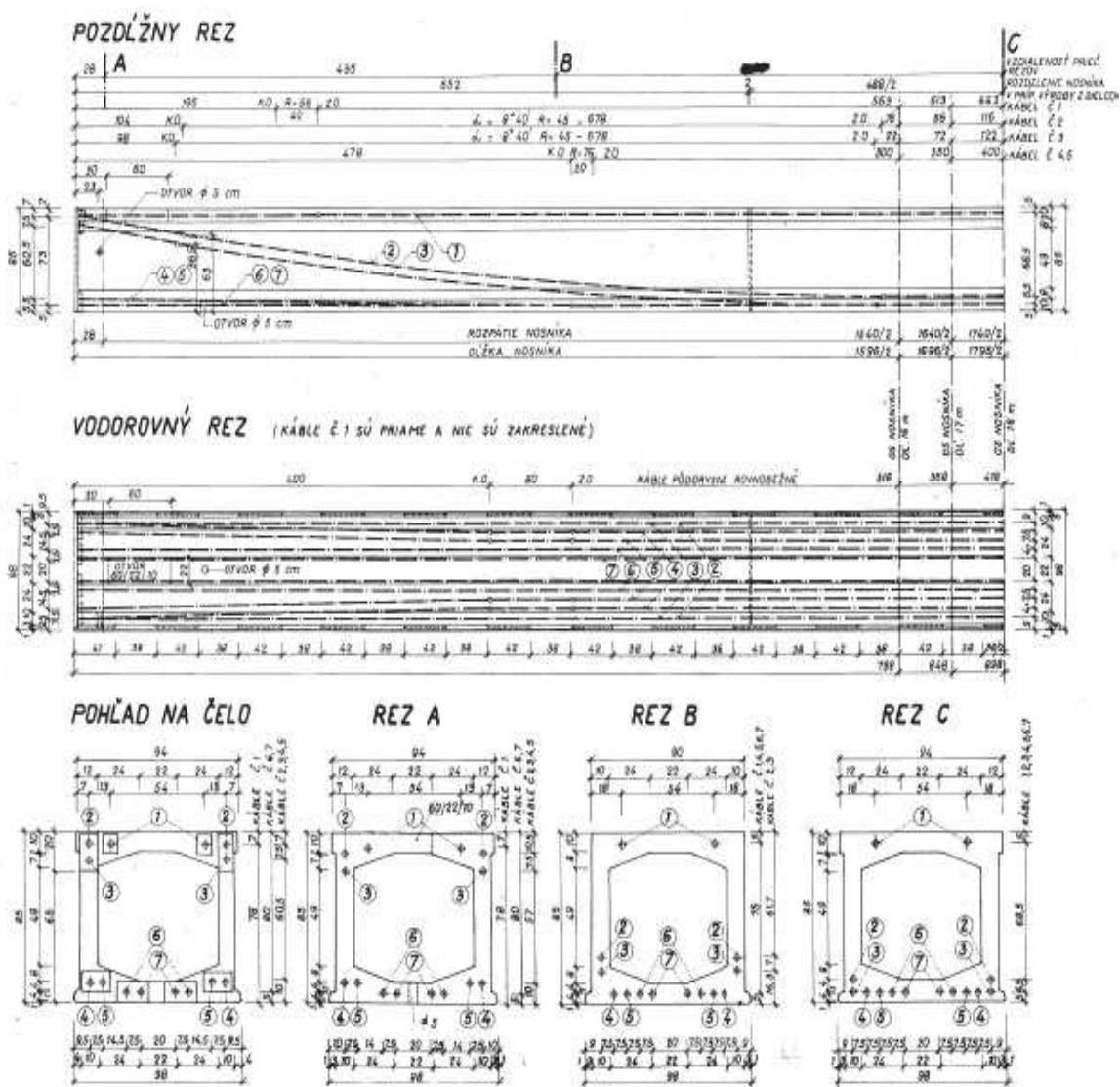
Nad opěrami OP1 a OP5 jsou osazeny mostní závěry GHH A 60, mezi vnitřními poli je umístěn bezdilatační styk táhlo-deska. Římsy jsou tvořeny ŽB monolitickou deskou, která je pokryta živičným povrchem. Na mostě je ocelové zábradlí bez svodidel. [18] [19]

Spodní stavbu tvoří dvě masivní železobetonové opěry, které jsou založené pomocí pilot hlubinných o průměru 1220 mm a délce 10 m. Na každé opěře je 5 ks těchto hlubinných pilot. Pilíře se skládají z 6 železobetonových prefabrikovaných pilířů obdélníkového průřezu 500x700 mm. Těchto 6 pilířů je spojeno prefabrikovanou železobetonovou příčlím o tloušťce 800 mm. [18] [19]



Obrázek 37 Pohled ze strany Horních Počernic na mostovku a příslušenství mostu

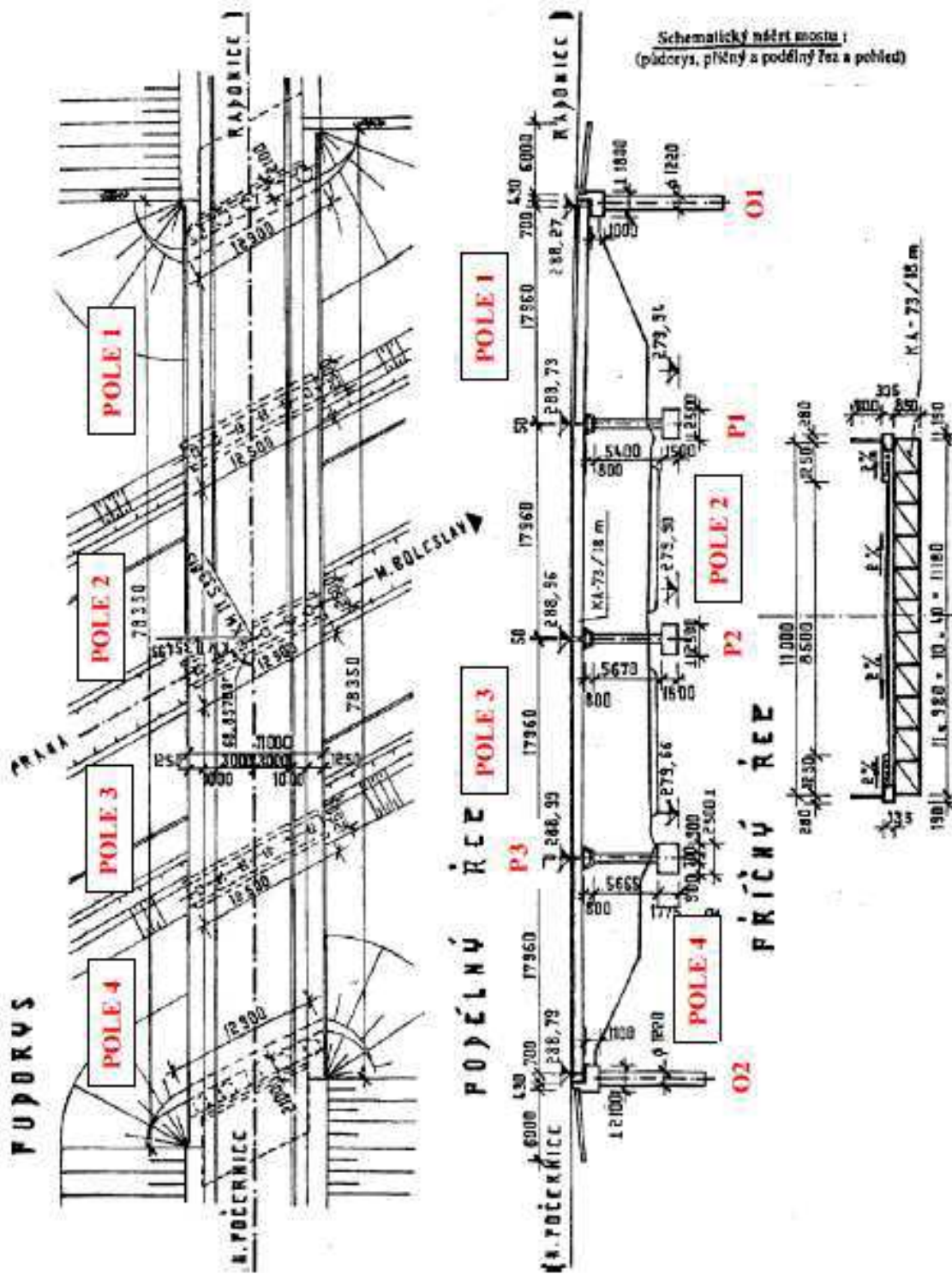
Nosníky KA-73 délky 18 m, tvoří v příčném směru komoru o výšce 850 mm a šířce 980 mm s tloušťkou stěny 100 mm. Nosníky jsou dodatečně předpjaté, předpětí je tvořeno 7 páry předpínacích lan, ty jsou umístěna v kanálku bez ocelové chráničky, a jsou vyplněna injektážní maltou. V dolní části nosníku se nachází 4 páry přímých kabelů s doplněním dvěma páry zvedaných kabelů. Lana jsou tvořena z 12 drátů o průměru 4,5 mm. V horní části nosníku je umístěn další pár lan, tvořen z 6 drátů o průměru 4,5 mm. Předpínací výztuž je doplněna příčnou konstrukční výztuží po 200 mm. [18] [19]



Obrázek 38 Předpětí nosníku KA73/18 [20]

Předpětí kabelů probíhalo ve dvou stupních. V prvním stupni se napnuly kabely 1, 3, 5, 6, 7 na napětí 588 MPa, následně se v druhém stupni dopnuly na 1300 Mpa a včetně napnutí na plné předpětí kabelů 2, 4. [20]

Schéma mostu X-525:



Obrázek 39 Schéma mostu X-525 [18]

Jak již bylo řečeno výše, tak most je ve velmi špatném stavu, a to jak z hlediska spolehlivosti konstrukce, tak z hlediska použitelnosti. Stav mostu na základě mimořádných prohlídek a diagnostiky mostu bude v této práci popsán a následně bude ověřena zatížitelnost mostu X525 Bystrá. [19] [18]

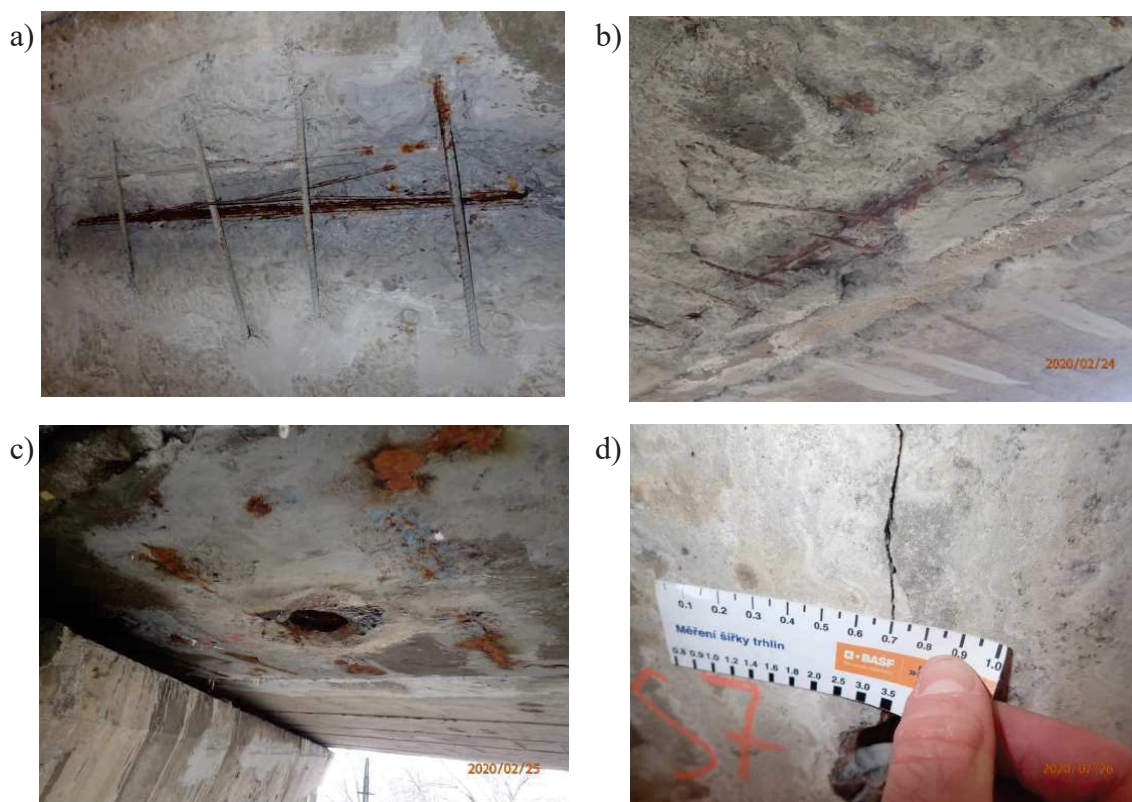
6.3 Stav mostu X-525 Bystrá

- Nosná konstrukce pole č. 1



Obrázek 40 Pohled na nosnou konstrukci v poli č. 1 [18]

V poli č. 1 jsou ve velmi velké míře závady na předpínací výztuži, ta je v některých místech obnažená, místy zcela volná, zkorodovaná až přerušená. V podélném směru v ose předpínací výztuže jsou viditelné trhliny o tl. až 0,7 mm. Na některých místech se prokreslují stopy výztuže s malým krytím. Ve spárách mezi nosníky se vyskytují výluhy pojiva a viditelné zatékání do nosné konstrukce. Dále v místě odvodňovače umístěného u opěry O1 směrem na okruh D0 dochází ke značné degradaci betonu, místo v okolí odvodňovače bylo během prohlídky značně mokré. [18]



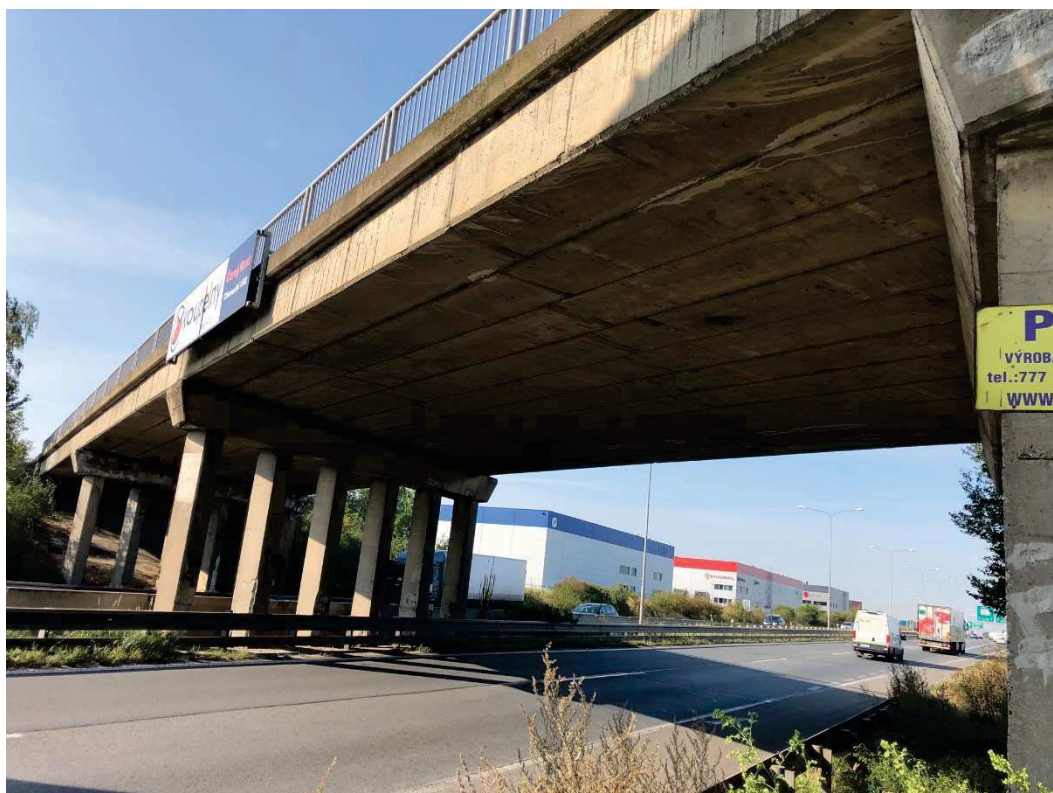
Obrázek 41 a) Degradace předpínací výztuže na nosíku N2, b) degradace a uvolnění výztuže na nosíku N10, c) prosakování vlhkosti a degradace betonu v místě odvodňovače nosíku N2 d) podélná trhlina v ose předpětí nosíku N2 [18]

- Nosná konstrukce pole č. 2 a č. 3



Obrázek 42 Pohled na pole č. 2 a 3 [18]

Pole č. 2 a č. 3, které se nachází nad dálnicí D10 z hlediska rozsahu závad, vypadají z vizuálního hlediska mnoho lépe než pole č. 1 a pole č. 4. To je nejspíše zapříčiněno větší výškou a menším množstvím srážkové vody. Konstrukce v poli č. 2 a č.3 nebylo možno detailněji zkontrolovat z důvodu projížděné dálnice D10.



Obrázek 43 Boční pohled na pole č. 2 [18]

- Nosná konstrukce pole č. 4



Obrázek 44 Pohled na pole č. 4 [18]

Také v poli č. 4 jsou rozsáhlé poškození předpínací výztuže, výztuže je obnažena, zkorodována a místy zcela volná případně přerušena. Místy se prokresluje výztuž z důvodu malého krytí. Ve spárách nosníků jsou viděny výluhy pojiva a zatékání do nosné konstrukce. Dále u opěry č. 2 dochází k masivnímu zatékání.

a)



b)



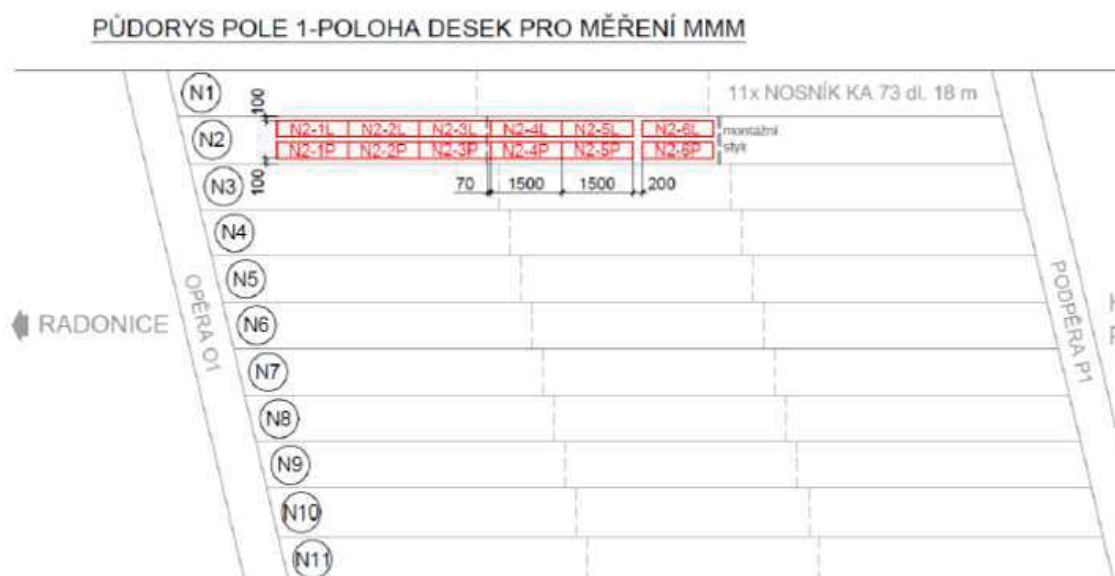
Obrázek 45 a) pohled na opěru č. 2 – zatékání vody přes MDZ, b) obnažená a degradující předpínací výztuž a konstrukční výztuž včetně degradace betonu [18]

6.3.1 Diagnostická zkouška předpínacích lan pomocí metody MMM

- Popis metody

Měření je prováděno pomocí přejíždění vozičku po diagnostikovaném povrchu. Hodnoty jsou znamenány ve vzdálenosti, kterou zvolí osoba provádějící zkoušku. Pro most X525 byla zvolena hodnota 2 mm. [18]

Měření bude prováděno na nosníku KA-73/18, kde na základě předchozích měření bylo zjištěno, že příčná konstrukční výztuž po 200 mm nosníku je zaznamenávána lokálními nárůsty intenzity magnetického pole. Kvalita záznamu je také ovlivněna kvalitou povrchu, při nerovnostech dochází k vychýlení měřících senzorů, a to vytváří změnu intenzity magnetického pole. Vzhledem k velkým nerovnostem na nosnících z důvodu degradace nosníku bylo zvoleno řešení instalace transparentních plexisklových desek, které jsou nalepeny na spodní povrch posuzované konstrukce. Následně byl proveden scan pro zjištění polohy předpínací výztuže a zaznamenání polohy příčné výztuže, aby mohly být určeny dráhy měření. Samotné měření pomocí metody MMM bylo 3x opakováno pro lepší vyhodnocení místa poškození výztuže. [18]

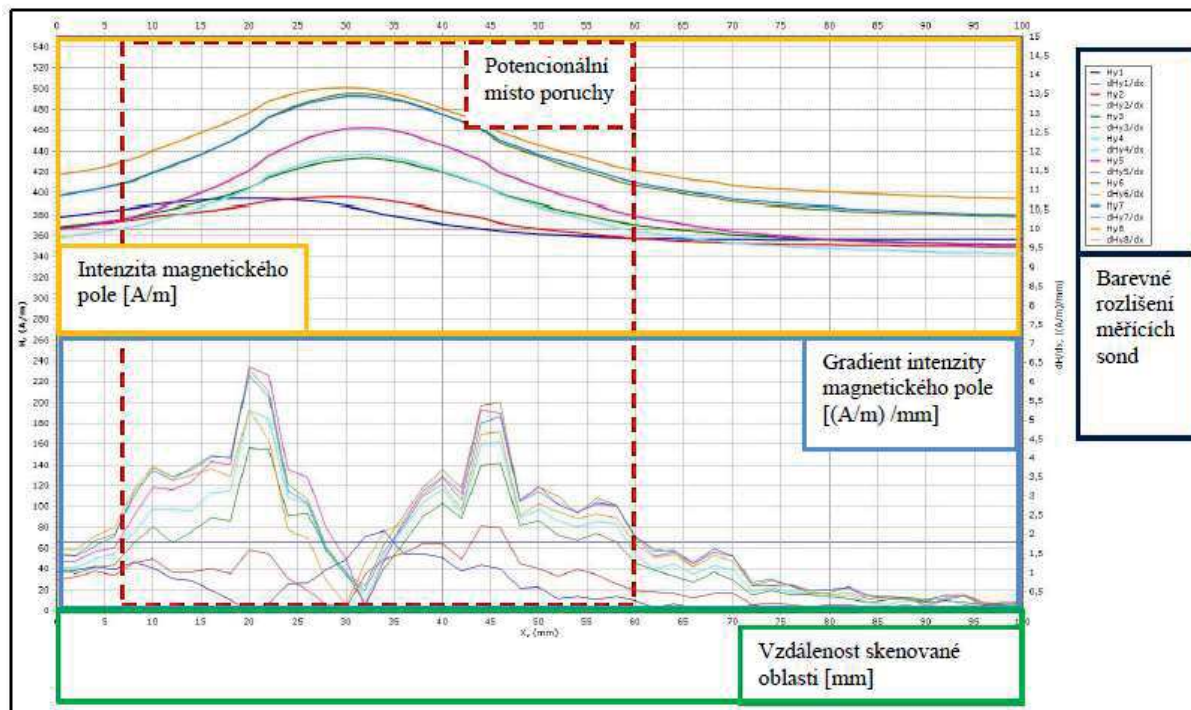


Obrázek 46 Schéma pole č. 1 s označením nosníků a 12 desek na měření MMM na nosníku č. 2 [18]

Na základě vizuální prohlídky byla zjištěna nejzávažnější poškození v poli č. 1 a to na druhých nosnících od kraje mostu z obou stran. Při porovnání nosníků N2 a N10 bylo rozhodnuto, že metoda bude provedena na nosníku N2 v poli č. 1., jelikož tento nosník má větší známky porušení předpínací výztuže. Celkem bylo provedeno 12 měření na různých místech nosníku. [18]

Metoda měření zaznamenává tři veličiny:

- H – intenzitu magnetického pole (A/m)
- dH/dx – gradient intenzity magnetického pole (A/m/mm)
- L_x – měření skenované vzdálenosti (mm)



Obrázek 47 Grafický výstup z měření MMM – magnetogram [18]

- Vyhodnocení měření metody MMM

Měření bylo provedeno na 12 drahách na nosníku v poli jedna. Jednalo se o druhý nosník ve směru Prahy (Pražský okruh) na dálnici D10. Bylo nalezeno několik míst s odhalením změny intenzity magnetického pole, kde dvě desky dráhy byly umístěny v místě odhalené zkorodované výztuže. Změnou intenzity magnetického pole bylo objeveno několik míst na nosníku. V těchto místech byly provedeny sondy, které dále odhalily, zda se jedná o porušenou předpínací výztuž, nebo změnu intenzity způsobila chyba měření nebo nějaký ocelový předmět pod povrchem nosníku. [18]

V místech N2-1P-L, N2-2P-L, N2-2P-P, N2-4L-P byly změny v intenzitě magnetického pole a následně provedené sondy odhalily korozi, špatně zajištěné předpínací kanálky a v sondě N2-4L-P byla dokonce objevena přetržená předpínací výztuž. [18]

6.3.2 Sondy předpínací výztuže

Na základě měření MMM byly provedeny sondy předpínací výztuže, dále se také přidala sonda u odvodňovače v místě masivního zatékání nosníku č 10.



Obrázek 48 a) sonda zkorodované předpínací výztuže, b) sonda předpínací výztuže s odhalením povrchové koroze a nedokonale zainjektovaného kanálku, c) sonda S12 předpínací výztuže bez koroze d) detail sondy S12 a injektáže kanálku [18]

Na základě sondy bylo zjištěno, že na nosníku N2 jsou celkem 3 dráty předpínací výztuže zcela přerušeny. Průměr jednotlivých lan se pohybuje okolo 2,5 – 3,5 mm oproti původním 4,5 mm. Některé kanálky nejsou vůbec vyplněny injektážní maltou a většina lan je zasažena povrchovou korozí. Dále byly zjištěny ve velké míře podélné trhliny v místech předpínacích lan o tl. od 0,1 mm do 0,7 mm. [18]

Sondy na nosníku N10 v oblasti odvodňovače a zatékání neodhalily rozsáhlé porušení předpínací výztuže v místě sondy. Dráty jsou nepřerušené a nosné. [18]

6.3.3 Stanovení pevnosti betonu nedestruktivní zkouškou – Schmidtův tvrdoměr

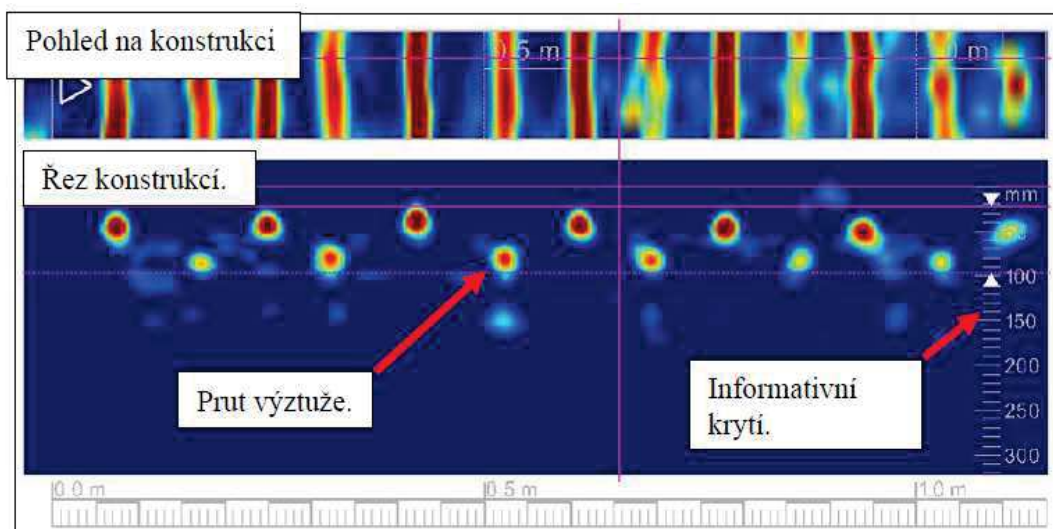
Tato metoda je nedestruktivní a je založena na principu pružného rázu dvou těles. Byla provedena měření v počtu 10 měření na každém nosníku, kde na nejvíce sledovaném nosníku N2 byla tato měření provedená na dvou místech. Z toho byly zpracována výsledná charakteristická pevnost betonu v tlaku: [18]

$$f_{ck,cube} = 48,0 \text{ MPa}$$

6.3.4 Výztužení a krytí výztuže konstrukce

Byla provedena kontrola polohy výztuže a krytí předpínací výztuže. Za použití radaru HILTI PS 1000 scan, ten je schopen za použití odrazu pulzů tl. krycí vrstvy a polohu výztuže. Toto měření bylo provedeno na nosníku N2. [18]

Bylo zjištěno, že předpínací výztuže tvoří 5 kabelů na každé straně ve vzdálenosti 60-80 mm což odpovídá výkresu nosníku KA73/18. Krycí vrstva se pohybuje okolo 30-50 mm. Dále konstrukční výztuž je ve vzdálenosti 150-200 mm, což také odpovídá výkresu nosníku a krycí vrstva je 5-20 mm. To je při dnešních požadavcích na krycí vrstvu jak předpínací, tak konstrukční výztuž značně nevyhovující. [18]



Obrázek 49 Grafický výstup z radaru HILTI PS 1000 [18]

6.3.5 Závěr provedené diagnostiky na mostě X525

Z výsledku prohlídek vyplývá, že některé části nosné konstrukce jsou ve velmi špatném stavu, v podstatě až na konci své životnosti. Zejména nosník č. 2 a nosník č. 10 v poli jedna, který byl podroben nejvíce diagnostickým zkouškám.

Byla nalezena místa se zkorodovanou předpínací výztuží a přerušenu předpínací výztuží. Masivní zatékání do nosné konstrukce a na spodní stavbu v oblasti O5. Nosníky mají místy silně degradovaný beton, a to i ve vnitřních prostorách nosníků. Z důvodu zatékání a provádění zimní údržby za použitím soli, byly také zjištěny až 5x větší hodnoty kontaminace betonu chloridy, limit 0,2 % dle ČSN EN 206-1.

Dále byly zjištěny velmi malé hodnoty krycí vrstvy betonu, a to u předpínací výztuže a konstrukční výztuže.

Z hlediska pevnosti betonu byla na základě měření pomocí Schmidtova tvrdoměru zjištěna pevnost 48 MPa, což odpovídá pevnostní třídě betonu C35/45.

Z tohoto vyhodnocení prohlídek a diagnostiky měření bude proveden přepočet zatížitelnosti. V případně nevyhovujících hodnot, budou provedena opatření pro zvětšení zatížitelnosti na mostě X525 Bystrá (Libošovická).

7 Přepočet zatížitelnosti mostu X525 Bystrá

Na základě zhodnocení mimořádných prohlídek a diagnostiky mostu, bude proveden výpočet zatížitelnosti mostu s přihlédnutím ke stavu jednotlivých nosníků, který byl zhodnocen v kapitole výše na základě diagnostického průzkumu.

Pro výpočet zatížitelnosti byl vytvořen deskostěnový model s integračními pásy v programu SCIA engineer 2020. Pro roznášení nosníků KA73/18 byl zvolen model s přihlédnutím k tuhosti, a převedení nosníků na desku o stejném momentu setrvačnosti, respektive ohybové tuhosti. Tyto desky, které znázorňují nosníky jsou spojeny kloubově po celé délce nosníku.

Pro výpočet zatížitelnosti bylo uvažován dimenzační moment, na který byl nosník navržen statickým výpočtem v roce 1973 a moment od vlastní tíhy nosníku. Tyto hodnoty byly použity z typového podkladu nosníku KA73/18.

Nosník č.	Dimenzační moment M_{dim} (Mpm)	Dimenzační moment M_{dim} (KNm)	Moment od vlastní tíhy ve středu rozpětí M_g (Mpm)	Moment od vlastní tíhy ve středu rozpětí M_g (KNm)
1	131,1	1286,044	35,1	343,821
2	131,1	1286,044	35,1	343,821
3	131,1	1286,044	35,1	343,821
4	131,1	1286,044	35,1	343,821
5	131,1	1286,044	35,1	343,821
6	131,1	1286,044	35,1	343,821
7	131,1	1286,044	35,1	343,821
8	131,1	1286,044	35,1	343,821
9	131,1	1286,044	35,1	343,821
10	131,1	1286,044	35,1	343,821
11	131,1	1286,044	35,1	343,821

Tabulka 7 Přehled dimenzačního momentu a momentu od vlastní tíhy na základě Statického výpočtu nosníku KA73/18 [20]

Deskostěnový model byl zatížen ostatním stálým zatížením, a proměnným zatížením od dopravy a chodců dle zatížení pro výpočet zatížitelnosti normální, výhradní a výjimečné.

V případě nevyhovujících hodnot při běžném provozu na mostě, bude vypočtena zatížitelnost při omezeném provozu s oddělením pruhů svodidlem, případně průjezd vozidel v jednom směru pomocí světelné signalizace. Toto bude mít vliv na normální a vyhradí zatížitelnost. V případě výjimečné zatížitelnosti se vozidlo pohybuje v dané dráze uprostřed mostu s excentricitou 0,5 m.

7.1 Zatížení

7.1.1 Stálé a ostatní stálé zatížení

Uvažovaná zatížení vyrovnávací deskou na nosnících KA73, vozovka skutečné tloušťky, římsy a zábradlí. Při omezení dopravy pro zvýšení zatížitelnosti budeme uvažovat zatížení betonových svodidlem cityblok o hmotnosti 400 kg/m.

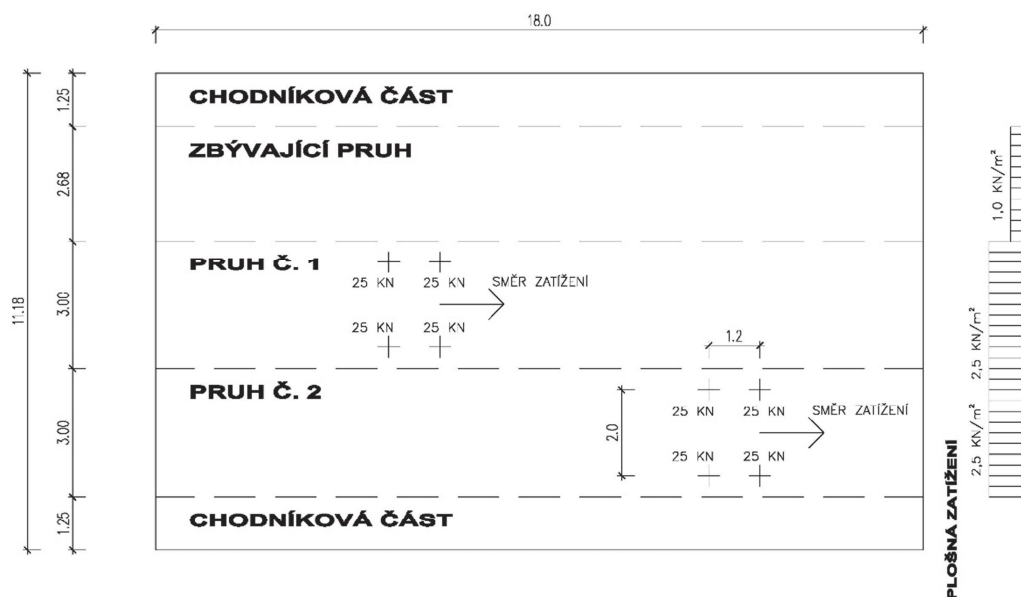
Stále a ostatní stálé zatížení						
ozn.	h m	A m ²	y KN/m ³	q _p KN/m ²	q KN/m	
Nosník	-	0,328	25	-	8,528	
Vyrovnávací deska	Sub.	0,14	-	25	3,5	
	Inf.	0,075	-	25	1,875	
Vozovka + 20%	0,162	-	24	3,888	-	
Římsa	0,25	-	25	6,25	-	
Zábradlí	-	-	-	-	1,000	
Svodidlo cityblok	-	-	-	-	4,000	

Tabulka 8 Stálá a ostatní stálá zatížení

7.1.2 Proměnné zatížení

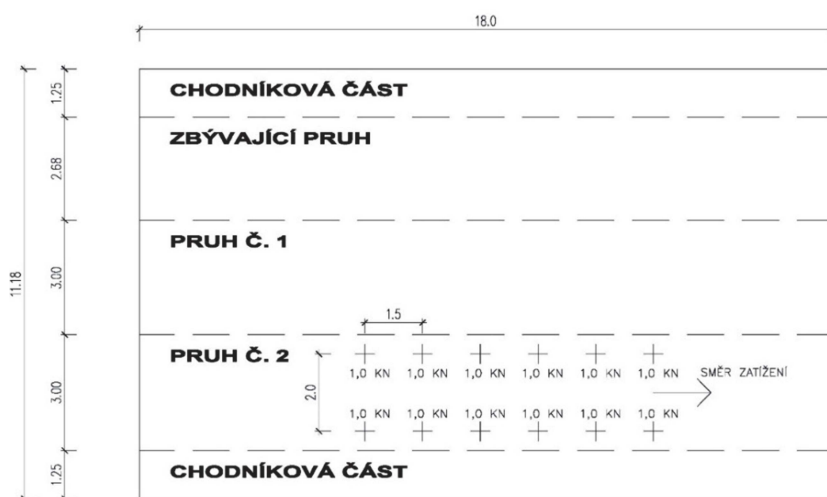
Konstrukce je pro stanovení zatížitelnosti zatížena zatížením dle ČSN 73 6221. Následně se určí maximální účinek tohoto zatížení na konstrukci. Na základě únosnosti M_{rd} a ostatních působících zatížení se stanoví zatížitelnost mostu s vlivem snížení únosnosti.

- Zatížení dopravou - normální zatížitelnost



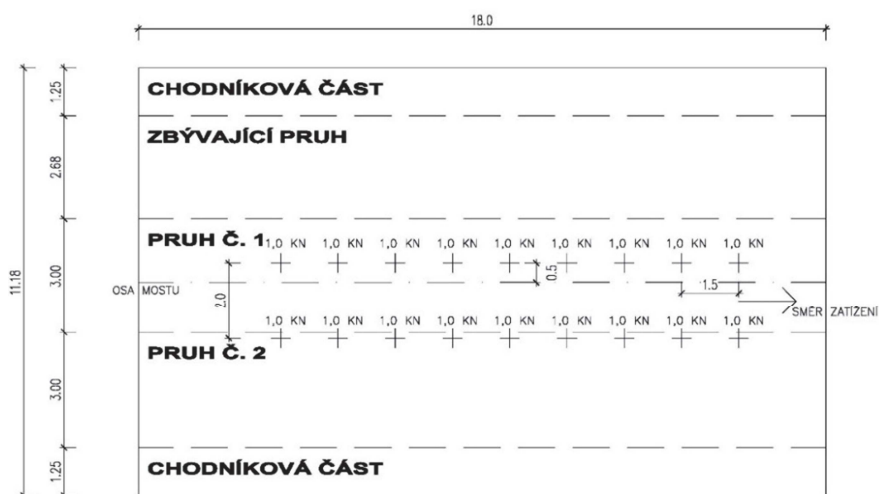
Obrázek 50 Zatěžovací schéma mostu X525 pro stanovení normální zatížitelnosti

- Zatížení dopravou - výhradní zatížitelnost



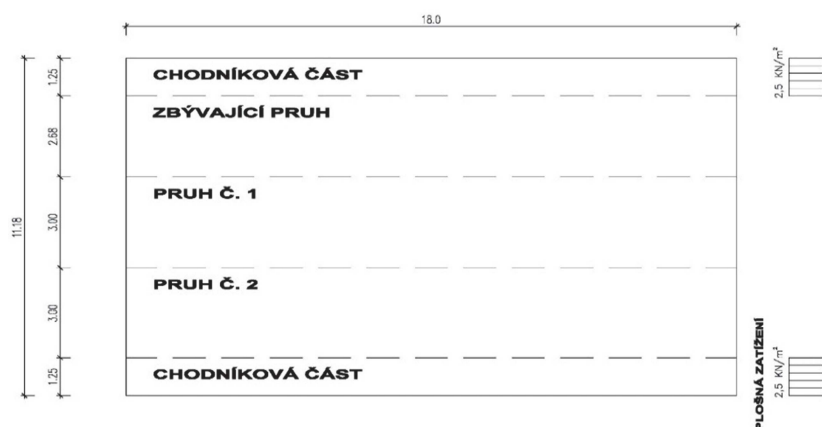
Obrázek 51 Zatěžovací schéma mostu X525 pro stanovení Vyhradní zatížitelnosti

- Zatížení dopravou - výjimečná zatížitelnost



Obrázek 52 Zatěžovací schéma mostu X525 pro stanovení Výjimečné zatížitelnosti

- Zatížení dopravou - chodci



Obrázek 53 Zatěžovací schéma Chodců mostu X525

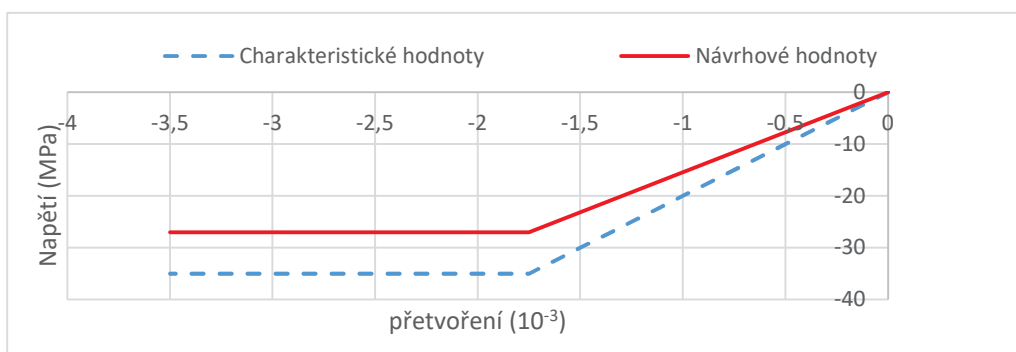
7.2 Materiál

- Beton

Dle provedené diagnostiky mostu, byla stanovena pevnost betonu C35/45 nosníku KA73/18.

CHARAKTERISTIKY BETONU C35/45					
V TLAKU			V TAHU		
f _{ck}	35,0	MPa	f _{ctk}	2,7	MPa
γ _c	1,5	(-)	γ _c	1,5	(-)
α _{cc}	0,9	(-)	α _{cc}	0,9	(-)
f _{cd}	27,0	MPa	f _{ctd}	1,6	MPa
ε _{cc,pl}	-1,75	*10 ⁻³	ε _{ct,pl}	0	*10 ⁻³
ε _{cc,u}	-3,5	*10 ⁻³	ε _{ct,u}	100	*10 ⁻³
E _{ck}	25,714	GPa	E _{cd}	15,429	GPa

Tabulka 9 Vlastnosti betonu C35/45



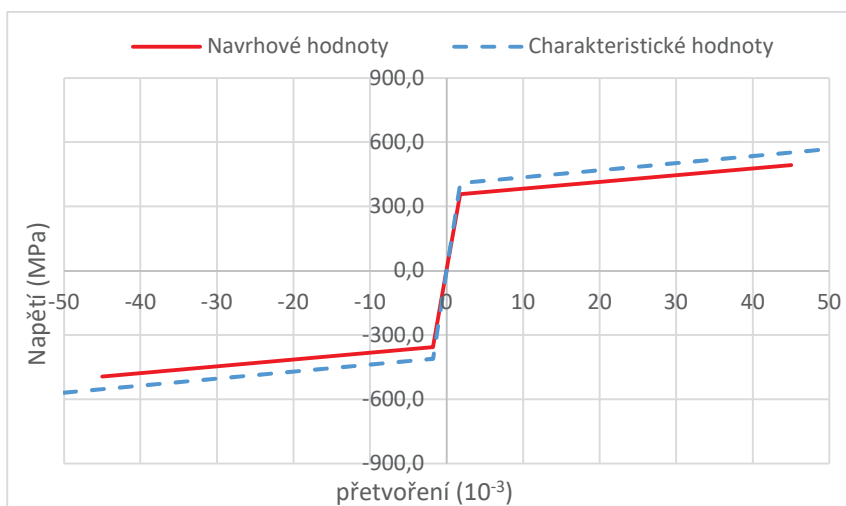
Graf 3 Návrhový pracovní diagram betonu C35/45

- Betonářská výztuž

Betonářskou výztuž budeme uvažovat jako C10 425.

CHARAKTERISTIKY BETONÁŘSKÉ VÝZTUŽE					
V TLAKU			V TAHU		
f _{yk,c}	-410,0	MPa	f _{yk,t}	410,0	MPa
γ _{y,c}	1,15	(-)	γ _{y,t}	1,15	(-)
f _{yd,c}	-356,5	MPa	f _{yd,t}	356,5	MPa
E _s	200	GPa			
ε _{uk,c}	-50	*10 ⁻³	ε _{uk,t}	50	*10 ⁻³
ε _{uk,c} /ε _{ud,c}	0,9	(-)	ε _{uk,t} /ε _{ud,t}	0,9	(-)
k _c	1,08	(-)	k _t	1,08	(-)
ε _{ud,c}	-45	*10 ⁻³	ε _{ud,t}	45	*10 ⁻³
σ _{ud,c}	-494,0	MPa	σ _{ud,t}	494,0	MPa

Tabulka 10 Vlastnosti betonářské výztuže C10 425



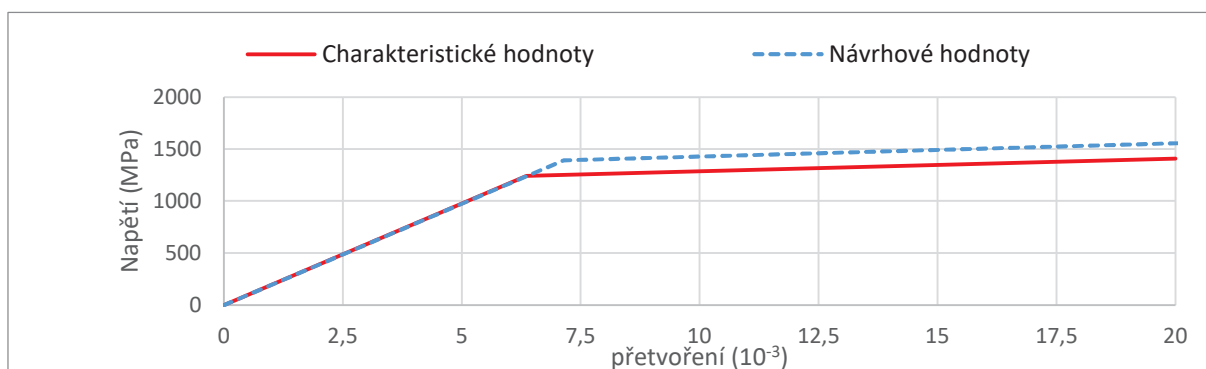
Graf 4 Návrhový pracovní diagram betonářské výztuže 10 425

- Předpínací výztuž

Předpínací výztuž dle podkladů nosníku KA73 přepokládáme jako Y1620C.

CHARAKTERISTIKY PŘEDPÍNAČÍ VÝZTUŽE					
f_{pk}	1620,0	MPa	$f_{p0,2k}$	1425,6	MPa
γ_s	1,15	(-)	γ_s	1,15	(-)
f_{pd}	1408,7	MPa	$f_{p0,2d}$	1239,65	MPa
ϵ_{ud}	20	$\cdot 10^{-3}$	ϵ_{uk}	22,2	$\cdot 10^{-3}$
$\epsilon_{ud}/\epsilon_{uk}$	0,9	(-)	$\sigma_{ud,c}$	1391,8	MPa
E_p	195	GPa			

Tabulka 11 Vlastnosti předpínací výztuže Y1620C



Graf 5 Návrhový pracovní diagram předpínací výztuže Y1620C

7.3 Přepočet zatížitelnosti stávající stav krajní pole

Pro přepočet zatížitelnosti byl vytvořen deskostěnový model s přepočítáním průřezového modulu nosníku jako desku o stejné ohybové tuhosti. Jednotlivé desky jsou spojeny kloubově aby došlo k roznosu zatížení. Z důvodu prostého uložení nosníku na každém poli bylo vymodelováno pro posouzení zatížitelnosti pouze jedno pole mostu X525.



Obrázek 54 Deskostěnový model pole mostu X525 bez podepření

Na základě zhodnocení diagnostické prohlídky mostu a mimořádných mostních prohlídek byly pro výpočet zatížitelnosti sníženy únosnosti nosníků v krajních polích mostu. Nejvíce je snížena únosnost nosníku č. 2 a to na 55 % a nosníku č. 10 na 65 % z důvodu přetržení části lan a odhalené koroze, kde plocha průřezu některých lan je až o 60 % menší. Únosnost krajních nosníků je snížena na 75 % z důvodu většího porušení degradovaného betonu, viditelného zatékání a předpokladu snížené plochy průřezu předpínací výztuže vlivem koroze. Střední nosníky, které jsou dle diagnostiky v nejlepšímu stavu mají únosnost snižovanou na 80 %, tato hodnota byla zvolena z důvodu předpokladu snížené plochy předpínací výztuže vlivem koroze a občasných podélných trhlin v nosnících. Spáry mají únosnost stanovenou na základě vedlejších nosníků, a to s přihlédnutím vždy k méně příznivému stavu nosníku.

Nosník	Dimenzační moment M_{dim} (KNm)	Snížení únosnosti (%)	Dimenzační moment ve středu rozpětí po snížení únosnosti M_{dim}' (KNm)	Nosník	Dimenzační moment M_{dim} (KNm)	Snížení únosnosti (%)	Dimenzační moment ve středu rozpětí po snížení únosnosti M_{dim}' (KNm)
1	1286,044	75	964,863	7	1286,044	80	1029,187
2	1286,044	55	707,566	8	1286,044	80	1029,187
3	1286,044	80	1029,187	9	1286,044	80	1029,187
4	1286,044	80	1029,187	10	1286,044	65	836,214
5	1286,044	80	1029,187	11	1286,044	75	964,863
6	1286,044	80	1029,187				

Tabulka 12 Stanovení dimezačního momentu uprostřed rozpětí s vlivem snížení únosnosti Krajní pole

7.3.1 Most bez omezení provozu

- Stanovení normální zatížitelnosti

- 1) Zjištění únosnosti posuzovaného prvku konstrukce:

$$M_{dim} = 131,14 \text{ Mpm} = 1286,04 \text{ KNm}$$

- 2) Snížení únosnosti v závislosti na stavu nosníku v (%):

$$M'_{dim} = \% \cdot M_{dim}$$

- 3) Zatížení modelu stálým, ostatním stálým a proměnným zatížením a odečtení vnitřních sil

- 4) Zjištění posuzovaného momentu M_q

$$M_q = M_q - M_g - M_{g-g_0} - M_{ch}$$

- 5) Maximální moment od zatížení vozidlem pro normální zatížitelnost M_n

- 6) Stanovení číselné hodnoty zatížení na dvounápravu

$$V_{aw} = \frac{M_q}{M_n \cdot \delta}$$

- Kde δ je dynamický součinitel roven hodnotě 1,25 (-).

- 7) Stanovení zatížitelnosti V_n (t)

$$V_n = \frac{4}{3} \cdot 10 \cdot V_{aw}$$

Nosník	Snížení únosnost	Mdim	Mdim	Mg	Mg	Mg-g0	Mch	δ	Mq	Mn (max)	Vaw	Vn
č.	%	(Mpm)	(KNm)	(Mpm)	(KNm)	(KNm)	(KNm)	(-)	(KNm)	(KNm)	-	(t)
1.	75%	98,4	964,9	35,1	343,9	219,3	19,3	1,25	382,3	114,4	2,67	35,66
2.	55%	72,1	707,6	35,1	343,9	231,3	18,8	1,25	113,5	125,3	0,72	9,66
3.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	232,4	17,2	1,25	435,7	129,5	2,69	35,90
4.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	232,9	16,0	1,25	436,3	132,1	2,64	35,23
5.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	233,3	15,3	1,25	436,7	131,2	2,66	35,50
6.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	233,3	15,1	1,25	436,9	124,4	2,81	37,45
7.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	233,0	15,3	1,25	436,9	131,2	2,66	35,51
8.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	232,4	16,0	1,25	436,8	132,1	2,65	35,28
9.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	231,2	17,2	1,25	436,9	129,5	2,70	36,00
10.	65%	85,2	836,2	35,1	343,9	229,2	18,7	1,25	244,4	125,3	1,56	20,80
11.	75%	98,4	964,9	35,1	343,9	215,6	18,9	1,25	386,5	114,4	2,70	36,04

Tabulka 13 Vypočet normální zatížitelnosti jednotlivých nosníků

- Stanovení výhradní zatížitelnosti

- 1) Zjištění únosnosti posuzovaného prvku konstrukce:

$$M_{dim} = 131,14 \text{ Mpm} = 1286,04 \text{ KNm}$$

- 2) Snížení únosnosti v závislosti na stavu nosníku v (%):

$$M'_{dim} = \% \cdot M_{dim}$$

- 3) Zatížení modelu stálým, ostatním stálým a proměnným zatížením a odečtení vnitřních sil

- 4) Zjištění posuzovaného momentu M_q

$$M_q = M_q - M_g - M_{g-g_0} - M_{ch}$$

- 5) Maximální moment od zatížení vozidlem pro normální zatížitelnost M_n

- 6) Stanovení číselné hodnoty zatížení na dvounápravu

$$V_{rw} = \frac{M_q}{M_r \cdot \delta}$$

- Kde δ je dynamický součinitel roven hodnotě 1,25 (-).

- 7) Stanovení zatížitelnosti V_n (t)

$$V_r = \frac{1}{10} \cdot 12 \cdot V_{rw}$$

Nosník	Snížení únosnost	Mdim	Mdim	Mg	Mg	Mg-g0	Mch	δ	Mq	Mr	Vr	vr
č.	%	(Mpm)	(KNm)	(Mpm)	(KNm)	(KNm)	(KNm)	(-)	(KNm)	(KNm)	KN	t
1.	75%	98,4	964,9	35,1	343,9	219,3	19,3	1,25	382,3	3,9	77,8	93,39
2.	55%	72,1	707,6	35,1	343,9	231,3	18,8	1,25	113,5	4,2	21,8	26,19
3.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	232,4	17,2	1,25	435,7	4,1	85,6	102,76
4.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	232,9	16,0	1,25	436,3	3,8	91,1	109,36
5.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	233,3	15,3	1,25	436,7	3,4	103,1	123,67
6.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	233,3	15,1	1,25	436,9	2,9	120,9	145,12
7.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	233,0	15,3	1,25	436,9	3,4	103,1	123,72
8.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	232,4	16,0	1,25	436,8	3,8	91,2	109,49
9.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	231,2	17,2	1,25	436,9	4,1	85,9	103,05
10.	65%	85,2	836,2	35,1	343,9	229,2	18,7	1,25	244,4	4,2	47,0	56,39
11.	75%	98,4	964,9	35,1	343,9	215,6	18,9	1,25	386,5	3,9	78,7	94,41

Tabulka 14 Vypočet výhradní zatížitelnosti jednotlivých nosníků

- Stanovení výjimečné zatížitelnosti

- 1) Zjištění únosnosti posuzovaného prvku konstrukce:

$$M_{dim} = 131,14 \text{ Mpm} = 1286,04 \text{ KNm}$$

- 2) Snížení únosnosti v závislosti na stavu nosníku v (%):

$$M'_{dim} = \% \cdot M_{dim}$$

- 3) Zatížení modelu stálým, ostatním stálým a proměnným zatížením a odečtení vnitřních sil

- 4) Zjištění posuzovaného momentu M_q

$$M_q = M_q - M_g - M_{g-g_0} - M_{ch}$$

- 5) Maximální moment od zatížení vozidlem pro normální zatížitelnost M_n

- 6) Stanovení číselné hodnoty zatížení na dvounápravu

$$V_{ew} = \frac{M_q}{M_e \cdot \delta}$$

- Kde δ je dynamický součinitel roven hodnotě 1,25 (-).

- 7) Stanovení zatížitelnosti V_n (t)

$$V_r = \frac{1}{10} \cdot 18 \cdot V_{ew}$$

Nosník	Snížení únosnost	Mdim	Mdim	Mg	Mg	Mg-g0	Mch	δ	Mq	Me	Ve	ve
č.	%	(Mpm)	(KNm)	(Mpm)	(KNm)	(KNm)	(KNm)	(-)	(KNm)	(KNm)	KN	t
1.	75%	98,4	964,9	35,1	343,9	219,3	0,00	1,25	401,6	3,2	99,5	179,03
2.	55%	72,1	707,6	35,1	343,9	231,3	0,00	1,25	132,3	3,6	29,8	53,67
3.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	232,4	0,00	1,25	452,9	3,8	95,1	171,17
4.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	232,9	0,00	1,25	452,3	4,2	87,0	156,58
5.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	233,3	0,00	1,25	452,0	4,3	84,1	151,37
6.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	233,3	0,00	1,25	451,9	4,3	84,9	152,77
7.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	233,0	0,00	1,25	452,2	4,1	89,3	160,79
8.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	232,4	0,00	1,25	452,9	3,6	100,4	180,65
9.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	231,2	0,00	1,25	454,0	3,3	110,7	199,33
10.	65%	85,2	836,2	35,1	343,9	229,2	0,00	1,25	263,0	3,0	69,7	125,43
11.	75%	98,4	964,9	35,1	343,9	215,6	0,00	1,25	405,4	2,7	120,6	216,99

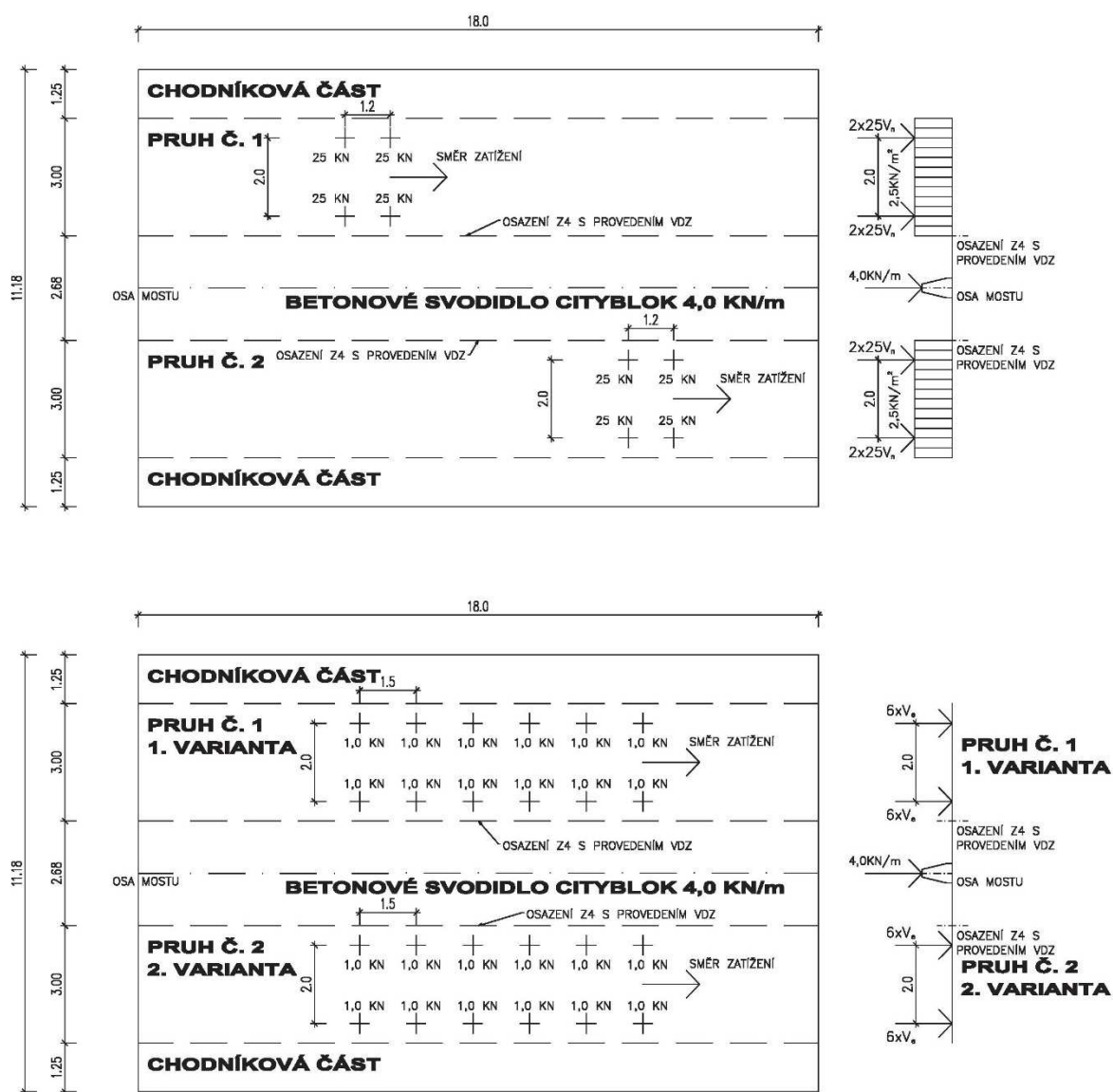
Tabulka 15 Vypočet výjimečné zatížitelnosti jednotlivých nosníků

Po provedení vypočtu zatížitelnosti jednotlivých nosníku mostu X525krajích polí bylo zjištěno, že zatížitelnost 32 t při normálním zatížení nesplňují zejména krajní nosníky pod vozovkovou částí. Nejhuře však vycházejí nosník č. 2 a to se zatížitelností 9,66 t při snížení

únosnosti na 55 % a nosník č. 10, se zatížitelnosti 20,80 t při snížení zatížitelnosti na 65 %. Pro zvýšení zatížitelnosti bude provedeno opatření, osazení svodidla cityblok (400 kg/m) do středu mostu a provedení dvou pruhů co nejvíce ke kraji vozovky, aby od sebe vozidla byla co nejvíce vzdálená. To bude mít vliv na normální zatížitelnost.

7.3.2 Most s osazením svodidla uprostřed mostu

Pro zvýšení zatížitelnosti bylo osazeno betonové svodidlo Cityblok (400 kg/m) a vozidla byla odkloněna na kraje vozovky. Tím by mělo dojít ke zvýšení zatížitelnosti, jelikož vozidla mají mezi sebou větší vzdálenost.



Obrázek 55 Schéma zatížení dopravou při provedení osazení svodidla na střed mostu

Vypočet byl proveden stejným postupem jako v případě mostu bez omezení, se změnou vnitřních sil od ostatního stálého zatížení s vlivem přitížení mostu o svodidlo cityblok a změnou schématu zatížení pro normální zatížitelnost.

- Stanovení normální zatížitelnosti při vozidlech na krajích vozovky

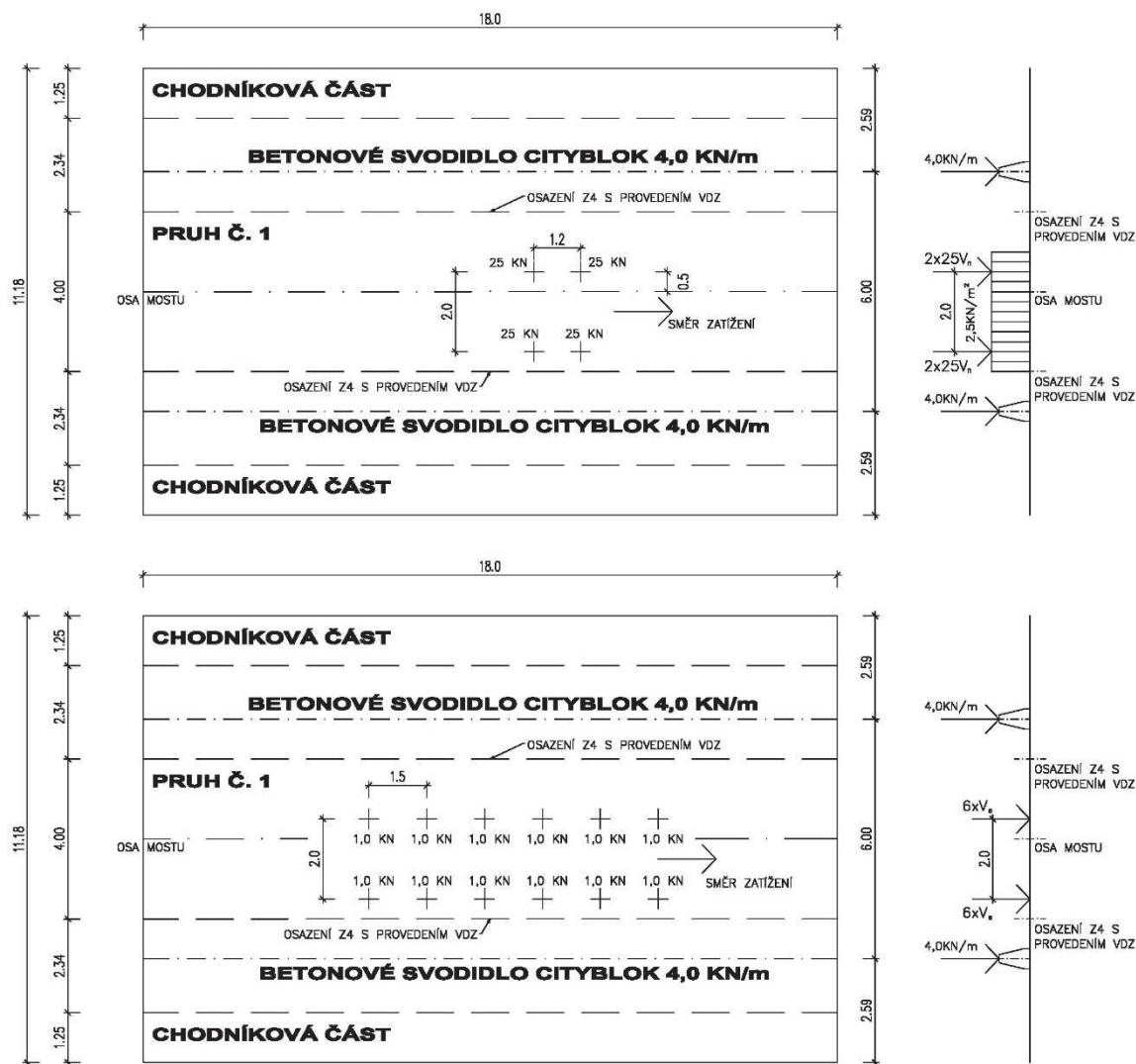
Nosník	Snižení únosnost	Mdim	Mdim	Mg	Mg	Mg-g0	Mch	δ	Mq	Mn	Vaw	Vn
č.	%	(Mpm)	(KNm)	(Mpm)	(KNm)	(KNm)	(KNm)	(-)	(KNm)	(KNm)	-	(t)
1.	75%	98,4	964,9	35,1	343,9	228,7	19,3	1,25	373,0	95,1	3,14	41,82
2.	55%	72,1	707,6	35,1	343,9	241,7	18,8	1,25	103,1	104,9	0,79	10,49
3.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	243,5	17,2	1,25	424,5	107,9	3,15	41,97
4.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	245,1	16,0	1,25	424,1	107,5	3,16	42,08
5.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	246,7	15,3	1,25	423,3	104,7	3,24	43,14
6.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	247,5	15,1	1,25	422,7	101,6	3,33	44,40
7.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	246,4	15,3	1,25	423,5	105,4	3,21	42,85
8.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	244,5	16,0	1,25	424,7	107,3	3,17	42,20
9.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	242,3	17,2	1,25	425,8	107,3	3,17	42,31
10.	65%	85,2	836,2	35,1	343,9	239,5	18,7	1,25	234,1	104,0	1,80	24,01
11.	75%	98,4	964,9	35,1	343,9	224,8	18,9	1,25	377,3	93,7	3,22	42,96

Tabulka 16 Vypočet normální zatížitelnosti jednotlivých nosníků při omezení provozu uprostřed vozovky

Jak je vidět z tabulky č. 15 tak se při osazení betonového svodidla zvětší moment od ostatního stálého zatížení, ale zmenší se moment od vozidla pro stanovení normální zatížitelnosti. Z důvodu přetížení nosníku se zatížitelnost nosníku č. 2 zvětšila velmi málo a to, na 10,49 t, naopak zatížitelnost ostatních nosníků se zvětšila o 5-15 % v závislosti na rozdělení zatížení. Jelikož toto opatření, nevedlo k rapidnímu zvětšení zatížitelnosti, bude provedeno osazení světelné signalizace, a vozidla budou jezdit pouze ve středu vozovky, toto opatření bude mít vliv na normální a výhradní zatížitelnost. Vozidla se pohybují v ose mostu s excentricitou 0,5 m, jako je to u výjimečného vozidla v případě bez omezení na mostě.

7.3.3 *Most s řízením dopravy světelnou signalizací*

Pro zvýšení zatížitelnosti byla provedena dopravní opatření osazení světelné signalizace a provozu mostu pouze v jednom jízdním pruhu šířky 4 m, který je vymezený betonovými svodidly cityblok 4KN/m a vodorovným dopravním značením včetně značek Z4 (viz. Obrázek 56). Vozidla se pohybují ve středu vozovky s excentricitou 0,5 m. Toto opatření by mělo zvýšit normální a výhradní zatížitelnost. Vypočet byl proveden stejným způsobem jako v předešlých případech se změnou pozice zatížení vozidel pro stanovení normální a výhradní zatížitelnosti. Změna pozice vozidel do středu mostu by měla mít vliv na zvýšení zatížitelnosti mostu X525.



Obrázek 56 Schéma zatížení dopravou při provedení světelné signalizace a vytvoření 1 pruhu na mostě

- Stanovení normální zatížitelnosti nosníku při provozu řízený světelnou signalizací

Nosník	Snižení únosnost	Mdim	Mdim	Mg	Mg	Mg-g0	Mch	δ	Mq	Mn	Vaw	Vn
č.	%	(Mpm)	(KNm)	(Mpm)	(KNm)	(KNm)	(KNm)	(-)	(KNm)	(KNm)	-	(t)
1.	75%	98,4	964,9	35,1	343,9	247,4	19,3	1,25	354,2	44,8	6,33	84,38
2.	55%	72,1	707,6	35,1	343,9	256,5	18,8	1,25	88,3	49,6	1,42	18,97
3.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	256,0	17,2	1,25	412,0	54,8	6,02	80,24
4.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	256,0	16,0	1,25	413,2	62,7	5,28	70,36
5.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	255,4	15,3	1,25	414,6	66,6	4,98	66,45
6.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	255,0	15,1	1,25	415,2	66,0	5,03	67,12
7.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	225,3	15,3	1,25	444,6	61,3	5,80	77,33
8.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	255,8	16,0	1,25	413,4	52,1	6,35	84,72
9.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	255,8	17,2	1,25	412,3	45,7	7,22	96,20
10.	65%	85,2	836,2	35,1	343,9	256,2	18,7	1,25	217,4	41,4	4,20	56,00
11.	75%	98,4	964,9	35,1	343,9	247,1	18,9	1,25	355,0	36,8	7,71	102,86

Tabulka 17 Vypočet normální zatížitelnosti jednotlivých nosníků při omezení provozu světelnou signalizací

- Stanovení výhradní zatížitelnosti nosníku při provozu řízený světelnou signalizací

Nosník	Snižení únosnost	Mdim	Mdim	Mg	Mg	Mg-g0	Mch	δ	Mq	Mr	Vr	vr
č.	%	(Mpm)	(KNm)	(Mpm)	(KNm)	(KNm)	(KNm)	(-)	(KNm)	(KNm)	-	(t)
1.	75%	98,4	964,9	35,1	343,9	247,4	25,3	1,25	348,2	2,6	108,0	129,56
2.	55%	72,1	707,6	35,1	343,9	256,5	24,2	1,25	82,9	2,9	23,3	27,92
3.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	256,0	22,9	1,25	406,3	3,1	105,2	126,24
4.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	256,0	21,9	1,25	407,3	3,4	95,8	115,01
5.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	255,4	21,4	1,25	408,5	3,6	91,8	110,16
6.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	255,0	21,2	1,25	409,1	3,5	92,7	111,26
7.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	225,3	21,4	1,25	438,6	3,3	106,0	127,21
8.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	255,8	21,9	1,25	407,5	2,9	111,3	133,53
9.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	255,8	22,8	1,25	406,6	2,6	123,7	148,41
10.	65%	85,2	836,2	35,1	343,9	256,2	24,2	1,25	211,9	2,4	70,6	84,77
11.	75%	98,4	964,9	35,1	343,9	247,1	25,3	1,25	348,5	2,1	130,3	156,36

Tabulka 18 Vypočet normální zatížitelnosti jednotlivých nosníků při omezení provozu světelnou signalizací

Při provedení světelné signalizace a omezení provozu na jeden jízdní pruh, se normální zatížitelnost zvětšila 1,5 až 2,5x vzhledem k roznášení zatížení. Avšak nosníky č. 2 stále nespĺňují hodnotu normální zatížitelnosti požadovanou správce a to 26 t ani v případě výhradní zatížitelnosti.

7.4 Ověření zatížitelnosti středních polí nad dálnicí D10

Pro ověření zatížitelnosti středních polí, byl vytvořen deskostěnový model stejně jako u krajního pole. Ve středních polích nad dálnicí uvažujeme na základě diagnostického průzkumu lepší hodnoty únosnosti, než v krajních polích a to:

Nosník	Dimenzační moment M_{dim} (KNm)	Snížení únosnosti (%)	Dimenzační moment ve středu rozpětí po snížení únosnosti M_{dim}' (KNm)	Nosník	Dimenzační moment M_{dim} (KNm)	Snížení únosnosti (%)	Dimenzační moment ve středu rozpětí po snížení únosnosti M_{dim}' (KNm)
1	1286,044	75	964,863	7	1286,044	80	1029,187
2	1286,044	80	1029,187	8	1286,044	80	1029,187
3	1286,044	80	1029,187	9	1286,044	80	1029,187
4	1286,044	80	1029,187	10	1286,044	80	1029,187
5	1286,044	80	1029,187	11	1286,044	75	964,863
6	1286,044	80	1029,187				

Tabulka 19 Stanovení dimezačního momentu uprostřed rozpětí s vlivem snížení únosnosti - Střední pole

7.4.1 Most bez omezení provozu

- Stanovení normální zatížitelnosti

Nosník	Snížení únosnost	Mdim	Mdim	Mg	Mg	Mg-g0	Mch	δ	Mq	Mn (max)	Vaw	Vn
		(Mpm)	(KNm)	(Mpm)	(KNm)	(KNm)	(KNm)	(-)	(KNm)	(KNm)	-	(t)
1.	75%	98,4	964,9	35,1	343,9	219,3	19,3	1,25	382,3	114,4	2,67	35,66
2.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	231,3	18,8	1,25	435,1	125,3	2,78	37,03
3.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	232,4	17,2	1,25	435,7	129,5	2,69	35,90
4.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	232,9	16,0	1,25	436,3	132,1	2,64	35,23
5.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	233,3	15,3	1,25	436,7	131,2	2,66	35,50
6.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	233,3	15,1	1,25	436,9	124,4	2,81	37,45
7.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	233,0	15,3	1,25	436,9	131,2	2,66	35,51
8.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	232,4	16,0	1,25	436,8	132,1	2,65	35,28
9.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	231,2	17,2	1,25	436,9	129,5	2,70	36,00
10.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	229,2	18,7	1,25	437,3	125,3	2,79	37,22
11.	75%	98,4	964,9	35,1	343,9	215,6	18,9	1,25	386,5	114,4	2,70	36,04

Tabulka 20 Vypočet normální zatížitelnosti ve středním poli

- Stanovení výhradní zatížitelnosti

Nosník	Snížení únosnost	Mdim	Mdim	Mg	Mg	Mg-g0	Mch	δ	Mq	Mr	Vr	vr
č.	%	(Mpm)	(KNm)	(Mpm)	(KNm)	(KNm)	(KNm)	(-)	(KNm)	(KNm)	KN	t
1.	75%	98,4	964,9	35,1	343,9	219,3	19,3	1,25	382,3	3,9	77,8	93,39
2.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	231,3	18,8	1,25	435,1	4,2	83,7	100,41
3.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	232,4	17,2	1,25	435,7	4,1	85,6	102,76
4.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	232,9	16,0	1,25	436,3	3,8	91,1	109,36
5.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	233,3	15,3	1,25	436,7	3,4	103,1	123,67
6.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	233,3	15,1	1,25	436,9	2,9	120,9	145,12
7.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	233,0	15,3	1,25	436,9	3,4	103,1	123,72
8.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	232,4	16,0	1,25	436,8	3,8	91,2	109,49
9.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	231,2	17,2	1,25	436,9	4,1	85,9	103,05
10.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	229,2	18,7	1,25	437,3	4,2	84,1	100,92
11.	75%	98,4	964,9	35,1	343,9	215,6	18,9	1,25	386,5	3,9	78,7	94,41

Tabulka 21 Výpočet výhradní zatížitelnosti ve středním poli

- Stanovení výjimečné zatížitelnosti

Nosník	Snížení únosnost	Mdim	Mdim	Mg	Mg	Mg-g0	Mch	δ	Mq	Me	Ve	ve
č.	%	(Mpm)	(KNm)	(Mpm)	(KNm)	(KNm)	(KNm)	(-)	(KNm)	(KNm)	KN	t
1.	75%	98,4	964,9	35,1	343,9	219,3	0,00	1,25	401,6	3,2	99,5	179,03
2.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	231,3	0,00	1,25	453,9	3,6	102,3	184,13
3.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	232,4	0,00	1,25	452,9	3,8	95,1	171,17
4.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	232,9	0,00	1,25	452,3	4,2	87,0	156,58
5.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	233,3	0,00	1,25	452,0	4,3	84,1	151,37
6.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	233,3	0,00	1,25	451,9	4,3	84,9	152,77
7.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	233,0	0,00	1,25	452,2	4,1	89,3	160,79
8.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	232,4	0,00	1,25	452,9	3,6	100,4	180,65
9.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	231,2	0,00	1,25	454,0	3,3	110,7	199,33
10.	80%	104,9	1029,2	35,1	343,9	229,2	0,00	1,25	456,0	3,0	120,8	217,44
11.	75%	98,4	964,9	35,1	343,9	215,6	0,00	1,25	405,4	2,7	120,6	216,99

Tabulka 22 Výpočet výjimečné zatížitelnosti ve středním poli

Na základě ověření zatížitelnosti středních polí při snížení únosnosti dle tabulky č. 19, jsou střední pole vyhovující bez podepření pole mostu. V případě uvažování snížení únosnosti krajních nosníků na 75 % a středních nosníků na 80 %.

Střední pole mostu X525	Normální zatížitelnost (t)	Výhradní zatížitelnost (t)	Výjimečná zatížitelnost (t)
Dle přepočtu –bez omezení	35	94	151

Tabulka 23 Přehled zatížitelnosti středních polí mostu X525

7.5 Zhodnocení zatížitelnosti mostu X525

Most X525 – omezení	Normální zatížitelnost (t)	Výhradní zatížitelnost (t)	Výjimečná zatížitelnost (t)
Dle mimořádné mostní prohlídky	16	35	80
Bez omezení	9	26	53
Osazení bet. Svodidla střed mostu – doprava po krajích vozovky	10	26	53
Světelná signalizace – vymezení středního pruhu uprostřed vozovky s excentricitou vozidel 0,5 m	18	27	53

Tabulka 24 Zatížitelnosti mostu X525 po přepočtu zatížitelnosti

Z důvodu nevyhovující zatížitelnosti pouze krajních polí bude provedeno podepření pouze krajních polí mostu X525.

V případě podepření konstrukce požaduje správce mostu uvažovat dopravu na mostě X525 bez omezení, a to s dosáhnutím normální zatížitelnosti 32 t, z důvodu autobusové dopravy mezi obcemi.

Na základě provedení přepočtu zatížitelnosti krajního pole mostu X525 bez podepření, případného zesílení apod. můžeme deklarovat, že hodnoty zatížitelnosti jsou velmi nízké, a to zejména u nosníku č. 2 a č. 10, které mají nejhorší stavebně provozní stav. Proto bude potřeba provést návrh podepření nosné konstrukce.

Nejdříve bude provedeno podepření nosníku č. 2 a č. 10 za předpokladu plné dopravy na mostě, které vyplývá z požadavku správce mostu. Je třeba konstrukci podepřít tak, abychom při zatížení pro stanovení normální zatížitelnosti dostali hodnoty větší než 26 t.

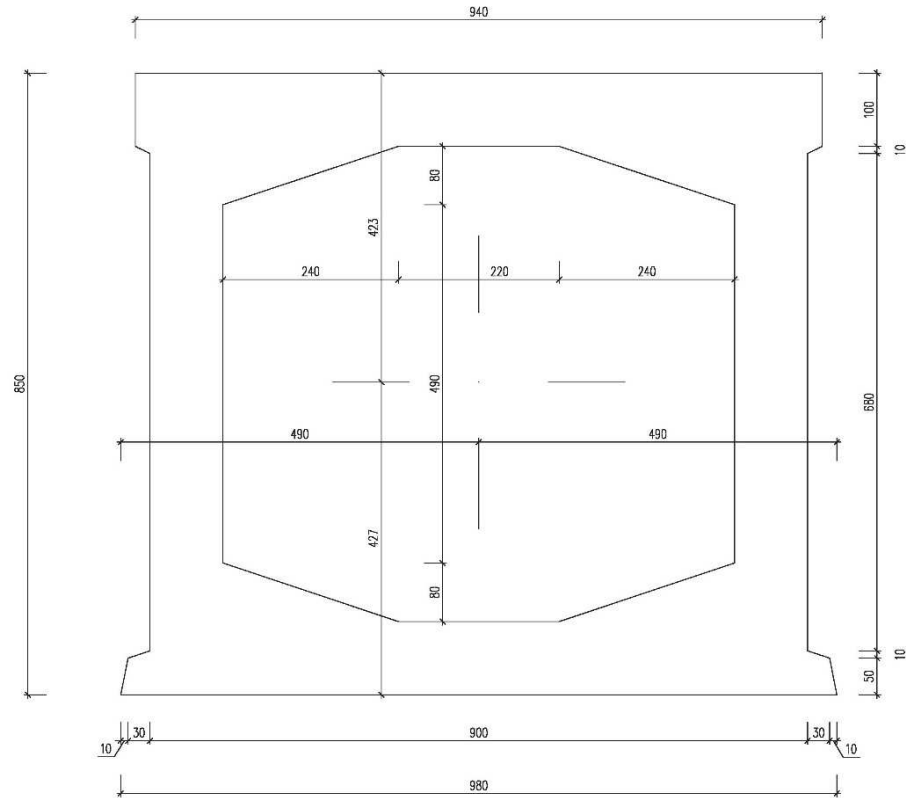
Podepření bude provedeno v polovině rozpětí, a bude sledováno, jaký to bude mít vliv na všechny nosníky konstrukce. Při podepření bude sledovaný každý nosník samostatně, a to z hlediska napětí, aby napětí nedosáhlo napětí v tahu v časté kombinaci, které by nosník nebyl schopen přenést. Dále budou posuzovány také spáry mezi nosníky, kde budeme uvažovat jako maximální napětí -1,0 MPa při časté kombinaci.

Pro stanovení napětí v konstrukci bude provedena analýza předpětí v čase s vlivem dotvarování konstrukce a budou stanovené ztráty na konci životnosti konstrukce a to 35 let. Předpětí bude ověřeno na základě statického výpočtu nosníku KA73/18.

7.6 Analýza odolnosti nosníku KA73/18

7.6.1 Průřezové charakteristiky Nosníku KA73/18

Průřezové charakteristiky nosníku KA73/18 byly spočteny ručním výpočtem a ověřeny softwarem SCIA Engineer 20.



Obrázek 57 Nosník KA73/18b [20]

Č	OZN	Tvar	b	h	z_{Ti}	Poč.	$n \cdot A_i$	$n \cdot I_i \cdot 10^5$	$n \cdot A_i \cdot z_{Ti}$	e_i	$n \cdot A_i \cdot e_i^2$	ΣI
-	-	-	[m]	[m]	[m]	n[ks]	[m ²]	[m ⁴]	[m ³]	[m]	[m ⁴]	[m ⁴]
1	Průřez	□	0,900	0,850	0,425	1,0	0,765	4605,938	0,325	-0,002	0,000	0,046
2		□	0,020	0,100	0,800	2,0	0,004	0,333	0,003	0,373	0,001	0,001
3		Δ	0,020	0,010	0,807	2,0	0,000	0,000	0,000	0,379	0,000	0,000
4		□	0,030	0,050	0,250	2,0	0,003	0,063	0,001	-0,177	0,000	0,000
5		Δ	0,030	0,010	0,253	2,0	0,000	0,000	0,000	-0,174	0,000	0,000
6		Δ	0,010	0,050	0,167	2,0	0,001	0,007	0,000	-0,261	0,000	0,000
7	Otvor	□	0,220	0,080	0,710	1,0	0,018	0,939	0,012	0,283	0,001	0,001
8		Δ	0,240	0,080	0,697	2,0	0,019	0,683	0,013	0,269	0,001	0,001
9		□	0,700	0,490	0,425	1,0	0,343	686,286	0,146	-0,002	0,000	0,007
10		Δ	0,240	0,080	0,153	2,0	0,019	0,683	0,003	-0,274	0,001	0,001
11		□	0,220	0,080	0,140	1,0	0,018	0,939	0,002	-0,287	0,001	0,001
NOSNÍK KA73/18							0,3564		0,1523			0,0342

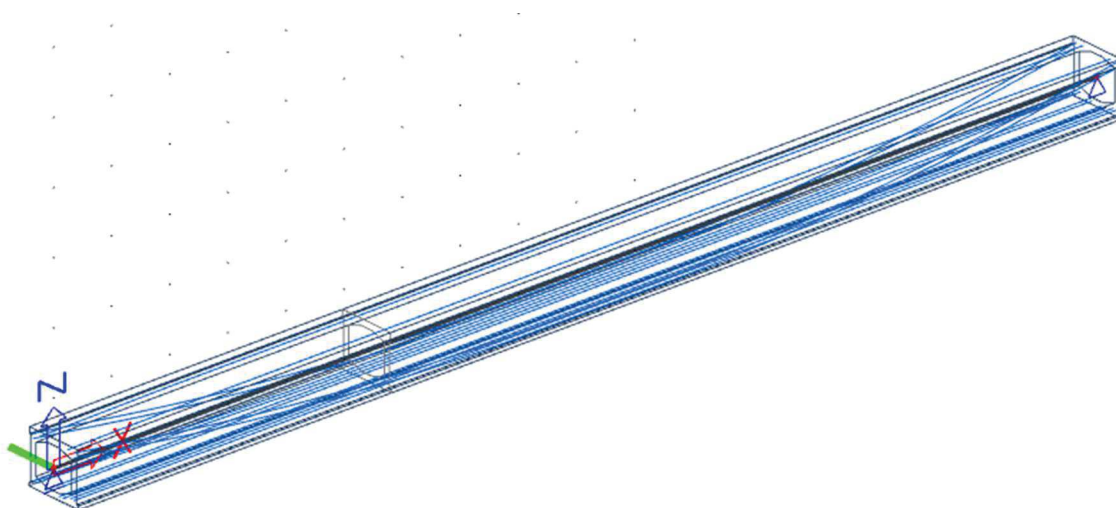
Tabulka 25 Výpočet průřezových charakteristik

- $Z = 0,4274 \text{ m}$ Ztová-souřadnice těžiště
- $A = 0,3564 \text{ m}^2$ Plocha průřezu nosníku
- $I_y = 0,0342 \text{ m}^4$ Průřezový moment setrvačnosti
- $e_h = -0,423 \text{ m}$ Excentricita ke horním vláknům
- $e_d = 0,427 \text{ m}$ Excentricita ke dolním vláknům
- $W_{yh} = -0,0809 \text{ m}^3$ Průřezový modul při horních vláknech
- $W_{yd} = +0,0800 \text{ m}^3$ Průřezový modul při dolních vláknech

Dle prospektu nosníku KA73/18 bude proveden model prostého nosníku s vlivem předpětí. Předpětí bude namodelováno a proveden výpočet TDA s časovou osou. Model bude proveden v programu SCIA Enginner 20. Následně bude výpočet předpínacích sil ověřen dle dimenzačního momentu dle prospektu KA73/18.

- Časová osa pro výpočet TDA
 - Betonáž nosníku KA73/18 0 dnů
 - Vnesení předpětí 1. fáze 2 dny
 - Vnesení předpětí 2. fáze 28 dní
 - Vnesení zatížení ostatní stále 60 dní
 - Konec životnosti při posouzení zatížitelnosti 35 let = 12775 dní

7.6.2 Popis předpětí



Obrázek 58 Prutový model KA73/18 včetně předpětí

Nosník KA73/18 je předepnut 7 páry kabelů. Z toho kabel č. 1 je tvořen 6 lany o průměru $4,5 \text{ mm}^2$. A zbytek lan 2 – 7 jsou tvořeny 12 lany o průměru $4,5 \text{ mm}^2$. Průběžné kabely jsou kabely č. 1 a 4 – 7 a kabely 2 – 3 jsou zvedané. Předpínací výztuž je použita Y1620C. Kabelové kanálky jsou tvořeny ocelovými bezešvými trubkami o průměru 32 mm.

Nosníky jsou předepnuty ve dvou stupních a to v 1 fázi jsou napnuty kabely č. 1, 3, 5, 6, 7. Tyto kabely jsou napnuty jednostranně na $\frac{1}{2}$ předpínací síly a to ve 2 dnech od betonáže nosníku. Při ukončení první fáze předpětí nesmí být kabely uříznuty, budou dopnuty v druhé fázi předpětí. [20]

Číslo kabelu	Počet lan (ks)	Pořadí napínání	Předpínací napětí (MPa)	Napínací síla (KN)
1	6	2.	588,4	56,149
3	12	5.	588,4	122,297
5	12	1.	588,4	122,297
6	12	3.	588,4	122,297
7	12	4.	588,4	122,297

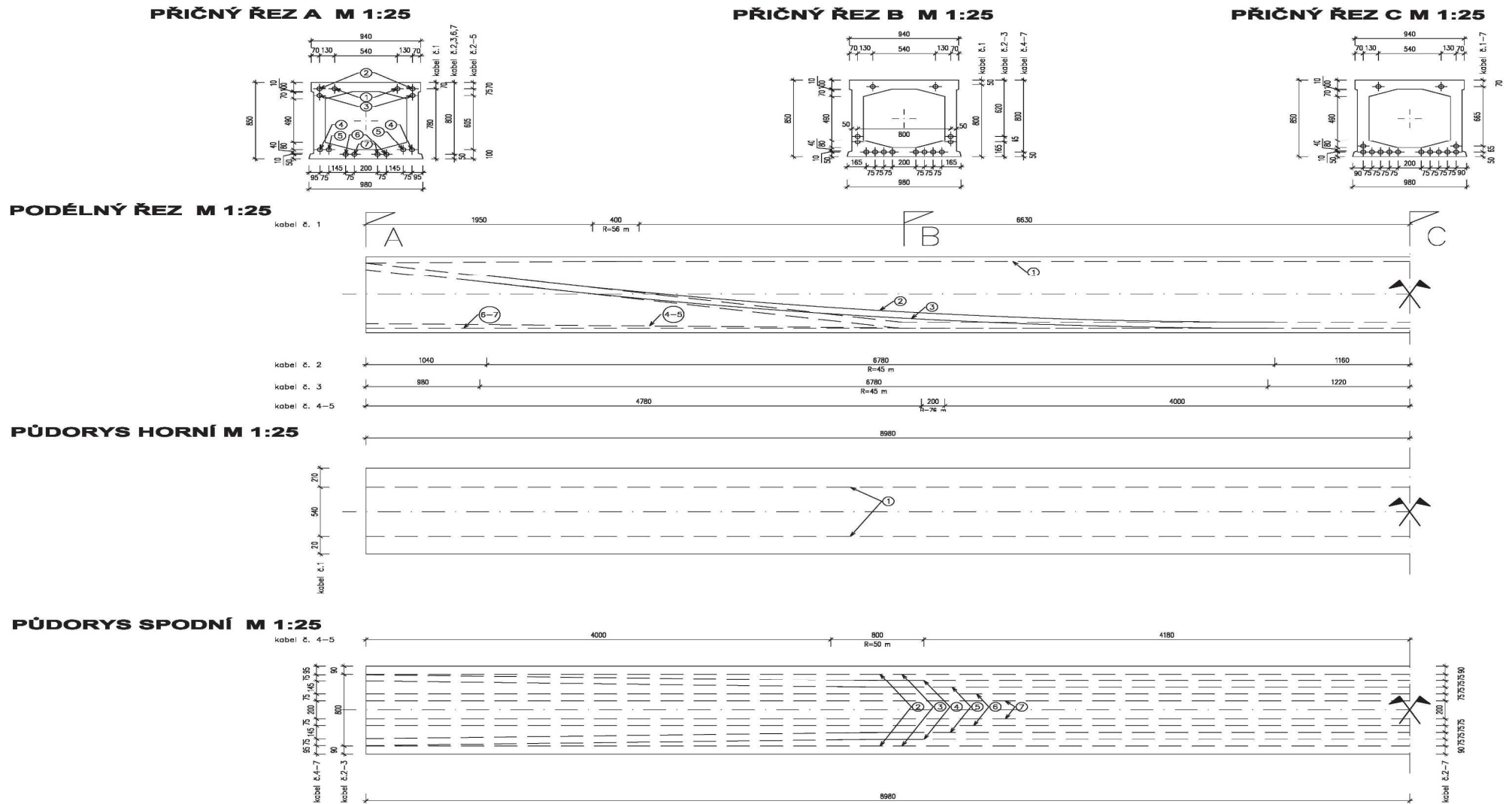
Tabulka 26 Předpětí 1. fáze [20]

V druhé fázi jsou napnuty kabely č. 2 a 4 na plnou předpínací sílu a kabely napnuté v první fázi jsou dopnuty na plnou předpínací sílu. Kabely jsou napnuty na 1177 MPa toto napětí se podrží 2 minuty. Následně se předpínací napětí odlehčí na 784 MPa. Poté se kabely dopnou na napětí 1300 MPa kde se podrží 5 minut a zakotví se. [20]

Číslo kabelu	Počet lan (ks)	Pořadí napínání	Předpínací napětí (MPa)	Napínací síla (KN)
1	6	2.	1177 / 1300	112,316 / 124,053
2	12	6.	1177 / 1300	224,632 / 248,107
3	12	5.	1177 / 1300	224,632 / 248,107
4	12	7.	1177 / 1300	224,632 / 248,107
5	12	1.	1177 / 1300	224,632 / 248,107
6	12	3.	1177 / 1300	224,632 / 248,107
7	12	4.	1177 / 1300	224,632 / 248,107

Tabulka 27 Předpětí 2. fáze [20]

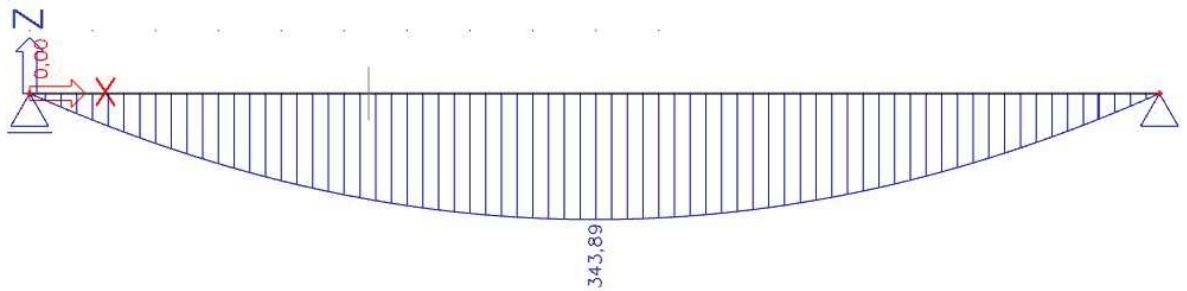
7.6.3 *Schéma předpětí*



Obrázek 60 Schéma předpětí nosníku KA73/18 [20]

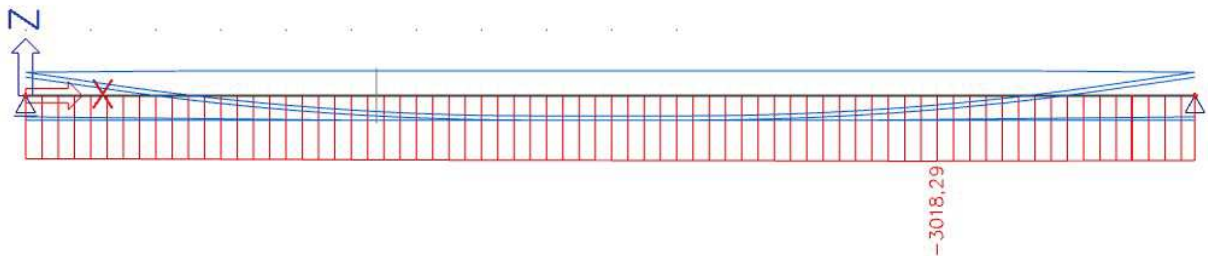
7.6.4 Vnitřní Síly od předpětí

- Moment od vlastní tíhy nosníku



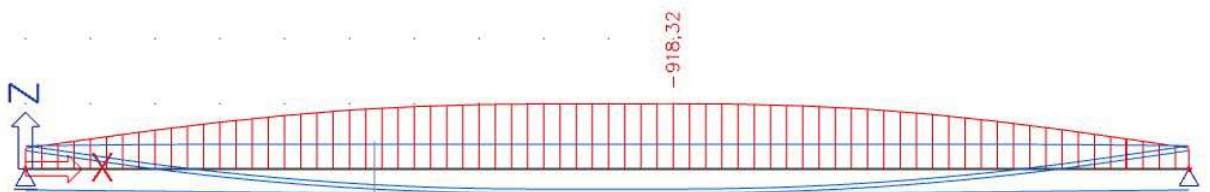
Obrázek 61 Moment od vlastní tíhy M_g nosníku KA73/18

- Normálová síla od předpětí



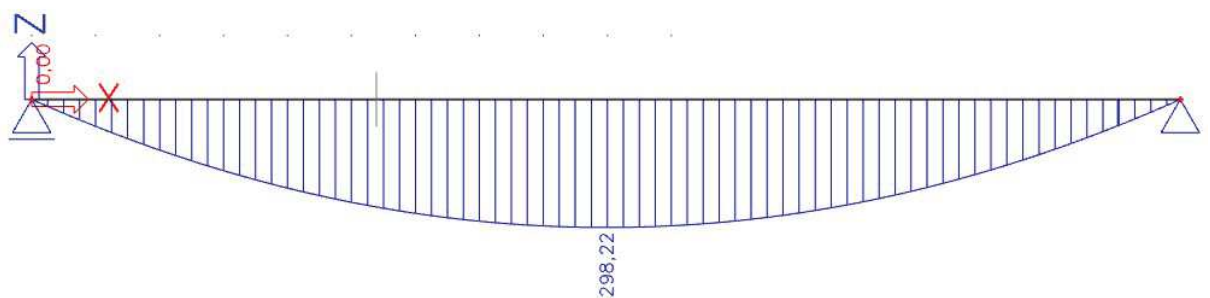
Obrázek 62 Normálová síla od předpětí N_p

- Moment od předpětí



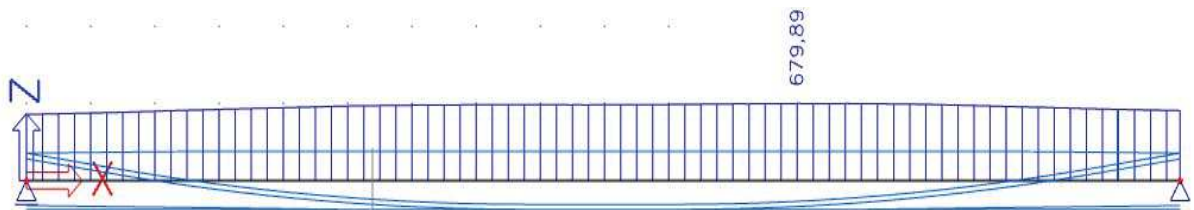
Obrázek 63 Moment od předpětí M_p

- Moment od ostatního stálého zatížení střední nosník



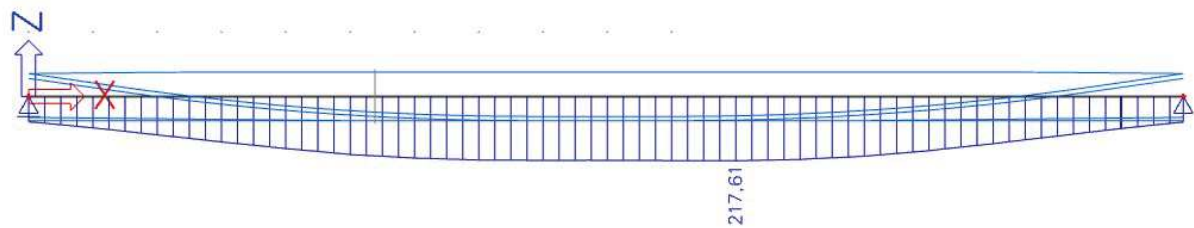
Obrázek 64 Moment od ostatního stálého zatížení M_{g-g0}

- Normálová síla od dotvarování v čase



Obrázek 65 Normálová síla od dotvarování na konci životnosti nosníku $T= 35$ let

- Moment od dotvarování v čase



Obrázek 66 Ohybový moment od dotvarování na konci životnosti nosníku $T= 35$ let

Ztráty od dotvarování v čase $T=35$ let jsou spočteny na 23 %

7.6.5 Posouzení napětí (kontrola modelu včetně předpětí) uprostřed rozpětí

Pro posouzení bude použit moment od dopravy, který vychází z návrhu nosníku KA73/18 dle prospektu. Tento moment vychází z dimenzačního momentu uprostřed rozpětí

- Dimezační moment nosníku KA73/18..... $M_{dim}=1296,044$ KNm
- Moment od vlastní tíhy nosníku KA73/18..... $M_g= 343,821$ KNm
- Moment od ostatního stálého zatížení $M_{g-g0}= 378,426$ KNm

$$M_{dop} = M_{dim} - M_g - M_{g-g0}$$

$$M_{dop} = 1296,044 - 343,821 - 378,426$$

$$M_{dop} = 573,797 \text{ KNm}$$

➤ Posouzení napětí v čase předpětí T= 28 dní ve středu rozpětí

- Moment od vlastní tíhy nosníku KA73/18..... $M_g = 343,821 \text{ KNm}$
- Ohybový moment od předpětí $M_p = -917,33 \text{ KNm}$
- Normálová síla od předpětí $N_p = -2988,91 \text{ KNm}$

$$\sigma_h = \frac{N}{A} + \frac{\sum M}{W_h}$$

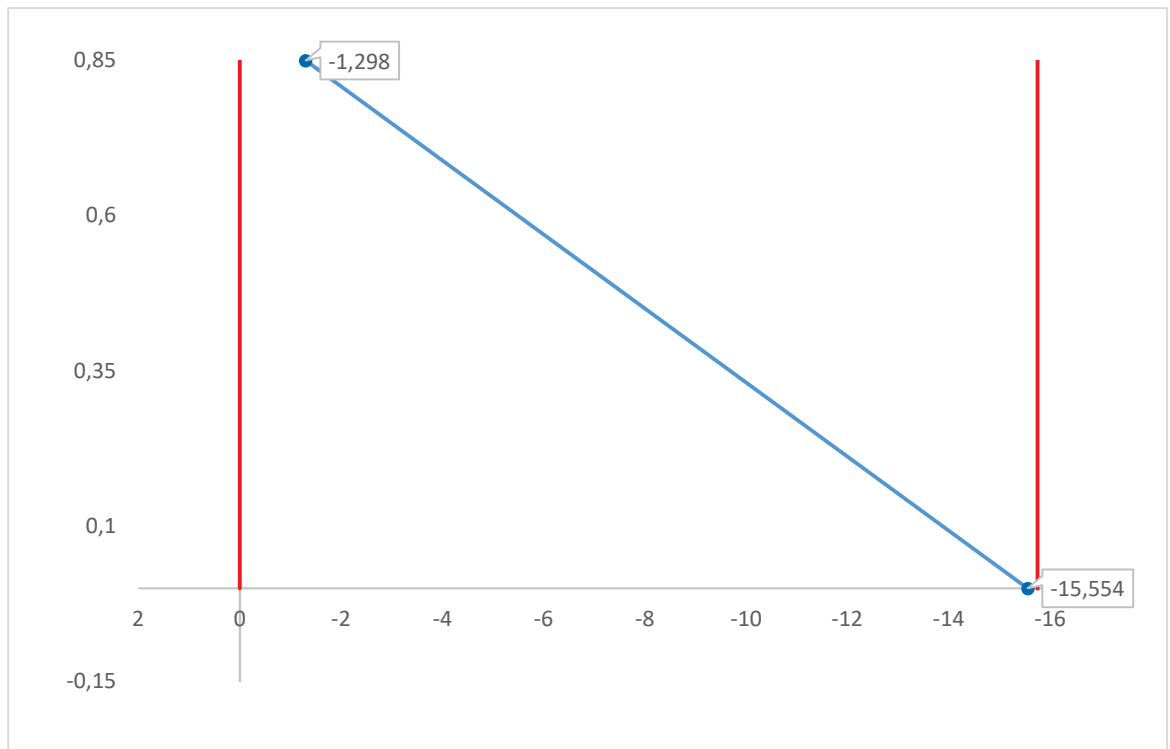
$$\sigma_h = \frac{-2988,91}{0,3564} + \frac{343,89 - 917,33}{-0,0809}$$

$$\sigma_h = -1,298 \text{ MPa} < 0,000 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d = \frac{N}{A} + \frac{\sum M}{W_d}$$

$$\sigma_h = \frac{-2988,91}{0,3564} + \frac{343,89 - 917,33}{0,08}$$

$$\sigma_h = -15,554 \text{ MPa} > -15,75 \text{ MPa Vyhovuje}$$



Graf 6 Ověření napětí návrhu předpětí v čase T= 28 dní

➤ Posouzení napětí v čase předpětí T= 35 let ve středu rozpětí

- Moment od vlastní tíhy nosníku KA73/18..... $M_g = 343,821 \text{ KNm}$
- Ohybový moment od předpětí $M_p = -917,33 \text{ KNm}$
- Normálová síla od předpětí $N_p = -2988,91 \text{ KNm}$
- Moment od ostatního stálého zatížení $M_{g-g0} = 298,22 \text{ KNm}$
- Moment od dotvarování v čase T=35 let $M_{dot} = 215,55 \text{ KNm}$
- Normálová síla od dotvarování v čase T=35 let $N_p = 667,5 \text{ KNm}$
- Moment od dopravy $N_p = 573,797 \text{ KNm}$

$$\sigma_h = \frac{N}{A} + \frac{\sum M}{W_h}$$

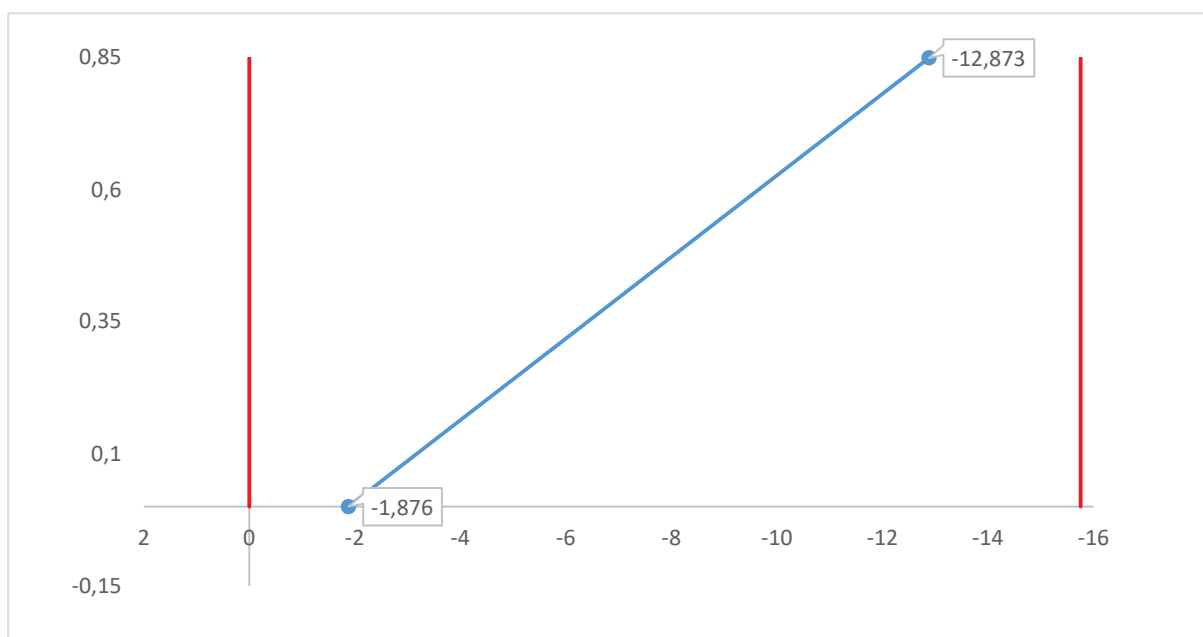
$$\sigma_h = \frac{-2988,91 + 667,5}{0,3564} + \frac{343,89 - 917,33 + 298,22 + 215,55 + 573,797}{-0,0809}$$

$$\sigma_h = -12,873 \text{ MPa} > -15,75 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d = \frac{N}{A} + \frac{\sum M}{W_d}$$

$$\sigma_h = \frac{-2988,91 + 667,5}{0,3564} + \frac{343,89 - 917,33 + 298,22 + 215,55 + 573,797 * 0,75}{0,08}$$

$$\sigma_h = -1,876 \text{ MPa} < 0,000 \text{ MPa Vyhovuje}$$



Graf 7 Ověření napětí návrhu předpětí v čase T= 35 let

8 Návrh podepření Krajních polí mostu X525

8.1 Podepření nosníku č. 2 a č. 10 ve středu rozpětí

Z důvodu nevyhovující zatížitelnosti mostu X525, došlo k podepření. Z důvodu havarijního stavu nosníku č. 2 a č. 10 podepřeme tyto nosníky uprostřed rozpětí tak, abychom zmenšili účinky od nahodilých krátkodobých zatížení, avšak toto podepření nemělo vliv na stála zatížení mostu X525.

Pro posouzení nosníků bude proveden deskostěnový model jednoho pole s podepřením nosníků č. 2 a 10. Následně bude vyhodnocováno napětí ve všech nosnících a spárách mezi nosníky.

- Omezení napětí v nosnících:
 - Omezení napětí v charakteristické kombinaci zatížení

$$\sigma_{\max \text{char.}} \leq f_{ctk}$$

$$\sigma_{\max \text{char.}} \leq 2,70 \text{ MPa}$$

- Omezení napětí v časté kombinaci zatížení

$$\sigma_{\max \text{častá}} \leq 0,00 \text{ MPa}$$

- Omezení napětí ve spárách:
 - Omezení napětí v časté kombinaci zatížení

$$\sigma_{\max \text{častá}} \leq -1,00 \text{ MPa}$$



Obrázek 67 Deskostěnový model pole mostu X525 podepření v 1/2 nosníku č. 2 a 10

8.1.1 Posouzení nosníku a spár v mezní stavu použitelnosti

- Posouzení mezního stavu použitelnosti Charakteristické kombinace

Nejprve byla provedena na deskostěnovém modelu včetně podepření v 1/2 nosníku č.2 a 10 analýza vnitřních sil od proměnného zatížení dopravou včetně chodců. Zatížení dopravou je na základě dosažení normální zatížitelnosti 26 t. Povodní síly 25 KN jsou tedy násobeny koeficientem 1,95x pro dosažení normální zatížitelnosti 26 t.

V případě vyhovujícího stavu podepření bude proveden dopočet zatížitelnosti výhradní a výjimečné. Posuzovat budeme mezní stav použitelnosti, a to jak v charakteristické, tak časté kombinaci u nosníků. U spár mezi nosníky bude posuzován mezní stav použitelnosti na charakteristickou kombinaci zatížení. Omezení těchto stavů viz. výše.

- Byly stanoveny kombinace na základě vztahů:

- Charakteristická

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

$$M_{char} = M_g + M_{g-g0} + M_p + M_{dop.} + 0,4 \cdot M_{ch.}$$

- Častá

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

$$M_{častá} = M_g + M_{g-g0} + M_p + 0,75 \cdot M_{dop.} + 0,4 \cdot M_{ch.}$$

- Posouzení mezního stavu použitelnosti
 - Charakteristické kombinace - nosník

$$\frac{N_p}{A} + \frac{M_{char}}{W_{d/h}} \leq 2,70 \text{ MPa}$$

- Častá kombinace - nosník

$$\frac{N_p}{A} + \frac{M_{char}}{W_{d/h}} \leq 0,00 \text{ MPa}$$

- Častá kombinace - spára mezi nosníky

$$\frac{N_p}{A} + \frac{M_{častá.}}{W_{d/h}} \leq -1,00 \text{ MPa}$$

Posouzení mezního stavu u použitelnosti při podepření nosníků č. 2 a 10 v 1/2

Pro posouzení mezního stavu použitelnosti byla provedena analýza všech nosníků a spár mezi nosníky. Ty byly posouzeny na mezní stav použitelnosti s omezením viz. výše. V tabulce č. 28 jsou spočteny kritické průřezy jednotlivých nosníků. Kritické průřezy budou znázorněny detailně, a to spára mezi 1-2 nosníkem, nosník č. 2 a spára mezi 2-3 nosníkem.

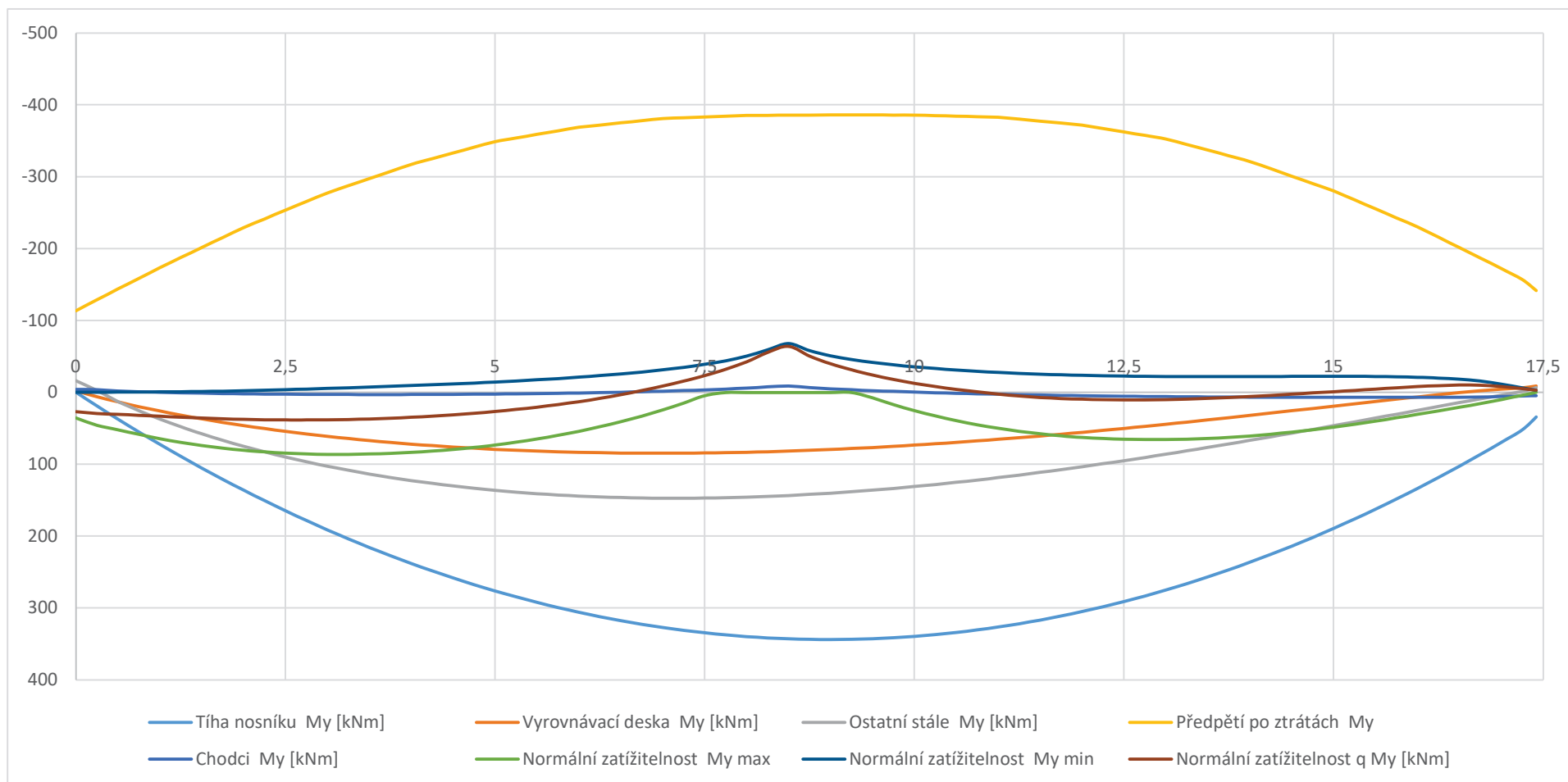
Nosník	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
M _{char} Max	80,564	262,375	108,810	121,488	129,328	121,022	119,962	97,276	102,468	175,055	101,857
M _{char} MIN	-189,168	-140,144	-224,244	-226,650	-209,748	-227,396	-219,490	-239,270	-236,018	-160,445	-168,948
M _{častá} MAX	-22,276	235,110	78,366	90,496	99,058	94,394	93,544	72,112	-73,504	153,427	74,491
M _{častá} MIN	-188,736	-137,090	-212,412	-213,474	-199,914	-212,630	-207,748	-221,372	-222,614	-159,225	-169,056
σ _{char} . MAX horní	-3,170	-2,113	-3,079	-3,101	-3,094	-2,850	-2,979	-2,941	-2,846	-2,430	-2,879
σ _{char} . MAX dolní	-4,159	-0,274	-3,813	-3,664	-3,585	-3,696	-3,710	-3,998	-3,345	-2,062	-3,656
σ _{char} . MIN horní	-2,981	-1,945	-2,569	-2,547	-2,756	-2,416	-2,509	-2,264	-2,304	-2,259	-2,794
σ _{char} . MIN dolní	-5,228	-1,428	-5,026	-4,898	-4,765	-4,702	-4,707	-5,094	-5,117	-3,140	-4,699
σ _{častá} . MAX horní	-3,054	-2,123	-3,094	-3,125	-3,115	-2,924	-3,007	-2,993	-2,876	-2,403	-2,854
σ _{častá} . MAX dolní	-5,460	-0,618	-4,199	-4,062	-3,966	-4,030	-4,041	-4,310	-4,302	-2,327	-3,992
σ _{častá} . MIN horní	-2,994	-1,982	-2,716	-2,710	-2,877	-2,599	-2,654	-2,485	-2,470	-2,274	-2,795
σ _{častá} . MIN dolní	-5,306	-1,437	-5,078	-4,948	-4,831	-4,783	-4,786	-5,065	-5,144	-3,088	-4,722
spára		1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 8	8 - 9	9 - 10	10 - 11
M _{char} Max		246,082	266,761	112,034	124,380	123,826	126,422	126,420	110,018	200,056	164,865
M _{char} MIN		-124,025	-1149,711	-234,710	-226,106	-204,500	-204,856	-213,524	-224,762	-147,629	-156,731
M _{častá} MAX		220,787	238,574	81,556	94,030	95,856	97,702	95,916	80,758	172,403	144,605
M _{častá} MIN		-125,327	-142,991	-221,228	-213,692	198,628	-196,234	-201,236	-211,034	-166,517	-156,163
σ _{char} . MAX horní		-2,175	-2,182	-2,989	-3,130	-3,217	-3,202	-3,197	-3,114	-2,563	-2,536
σ _{char} . MAX dolní		-0,477	-0,222	-3,773	-3,630	-3,655	-3,631	-3,632	-3,843	-1,744	-2,189
σ _{char} . MIN horní		-2,139	-1,822	-2,440	-2,547	-2,814	-2,809	-2,582	-2,443	-2,084	-2,403
σ _{char} . MIN dolní		-1,546	-1,391	-4,988	-4,855	-4,738	-4,727	-4,836	-5,006	-2,902	-3,194
σ _{častá} . MAX horní		-2,150	-2,175	-3,018	-3,138	-3,221	-3,210	-3,191	-3,116	-2,537	-2,510
σ _{častá} . MAX dolní		-0,796	-0,575	-4,159	-4,022	-4,008	-3,990	-4,012	-4,205	-2,087	-2,437
σ _{častá} . MIN horní		-2,123	-1,905	-2,607	-2,700	-2,911	-2,916	-2,734	-2,613	-2,184	-2,410
σ _{častá} . MIN dolní		-1,560	-1,406	-5,044	-4,912	-4,814	-4,804	-4,891	-5,038	-2,917	-3,144

Tabulka 28 Vyhodnocení napětí v mezním stavu použitelnosti při podepření v 1/2 nosník č. 2 a 10

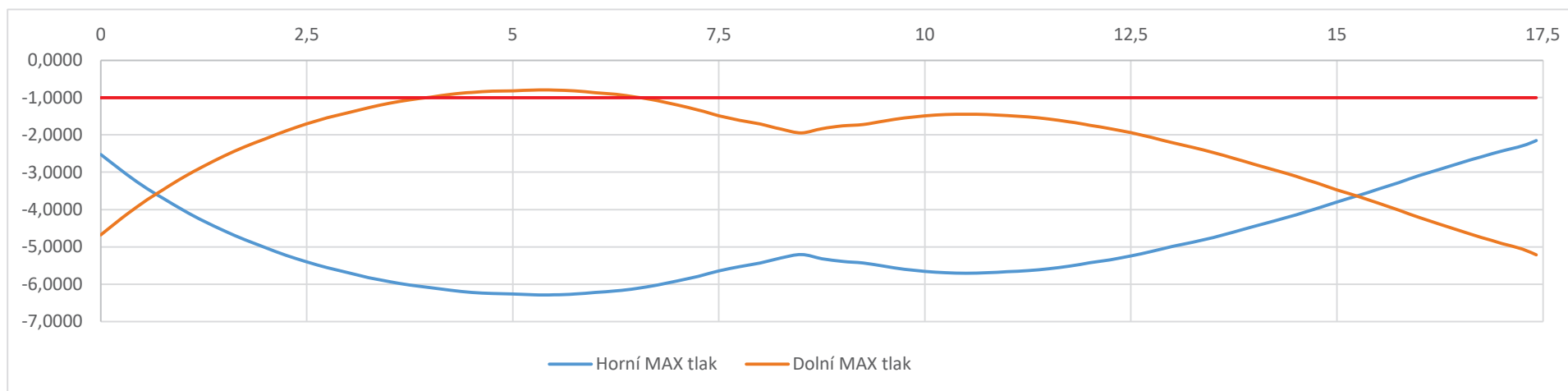
Z tabulky č. 28 je zřejmé, že nosník č. 2 je nejvíce zatížený a zároveň je v nejhorsím stavu, kde zatížitelnost je snížena na 55 %, ale i tak má rezervu cca 0,5 MPa při časté kombinaci zatížení. Ve spáře 1-2 a 2-3, kde uvažujeme rezervu napětí alespoň -1,0 Mpa při časté kombinaci zatížení, jsou spáry u nevyhovujícího nosníku č. 2 nevyhovující. Hodnoty dosahují hodnot od -0,2 až -0,5 MPa.

Proto bude přidáno podepření v 1/4 a ve 3/4 nosníku a bude znovu ověřena únosnost všech nosníků a spár mezi nosníky.

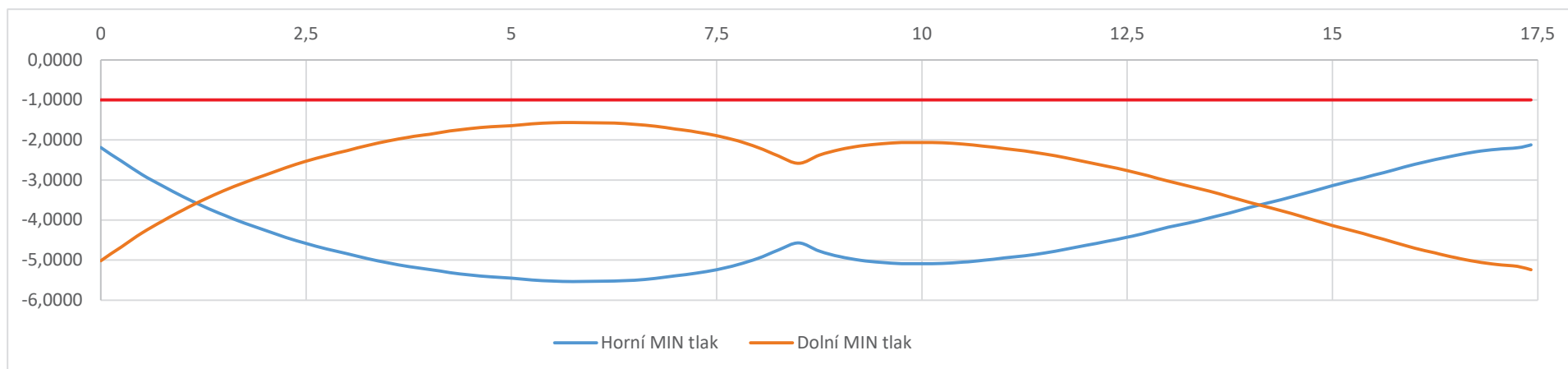
8.1.2 Spára mezi nosníkem č.1 a 2 únosnost 55 %



Graf 8 Průběh ohybových momentů ve spáře 1-2 při podepření v 1/2 nosník č. 2 a 10

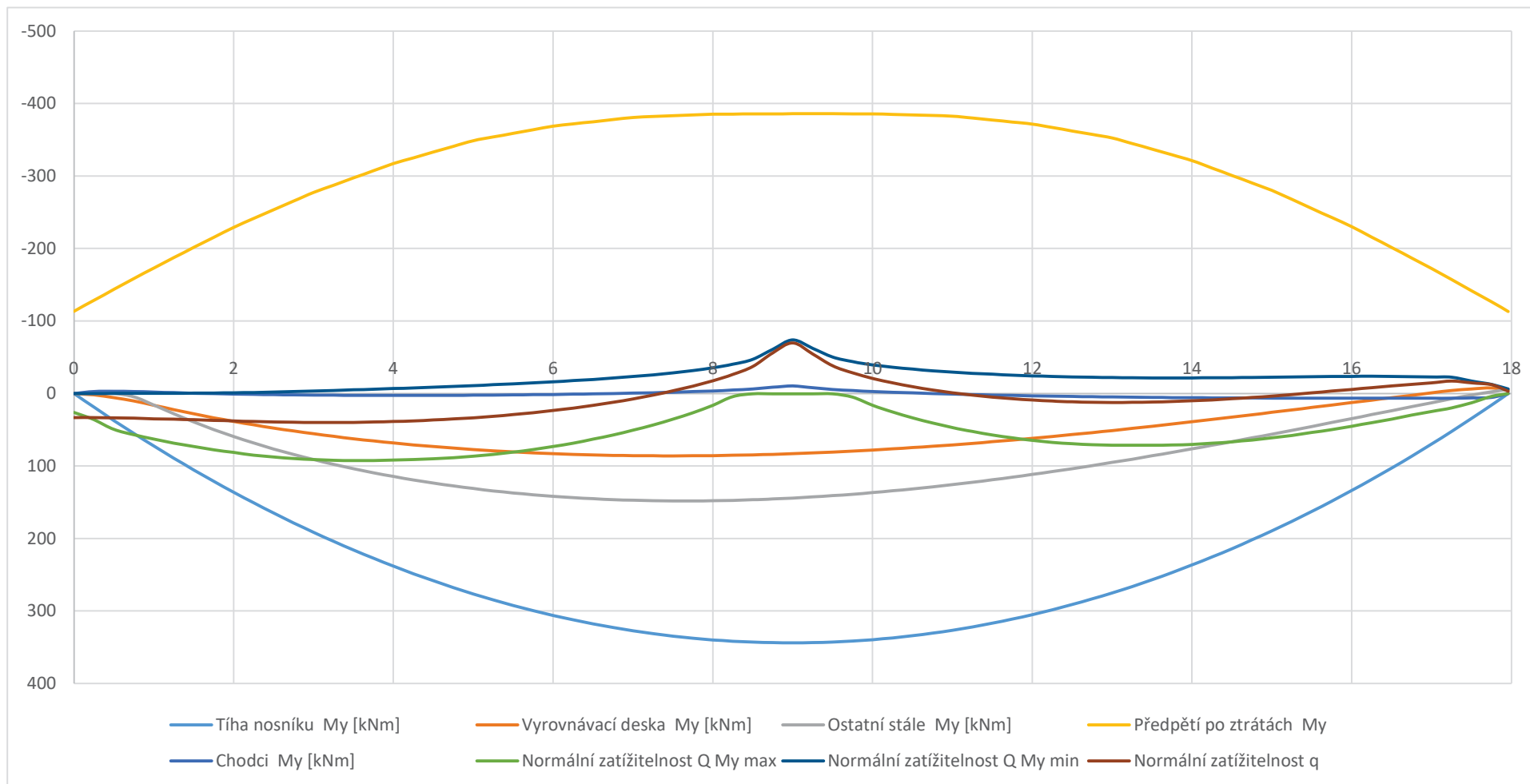


Graf 9 Průběh napětí při časté kombinaci Mmax zatížení spára č. 1-2 při podepření v 1/2 nosník č. 2 a 10

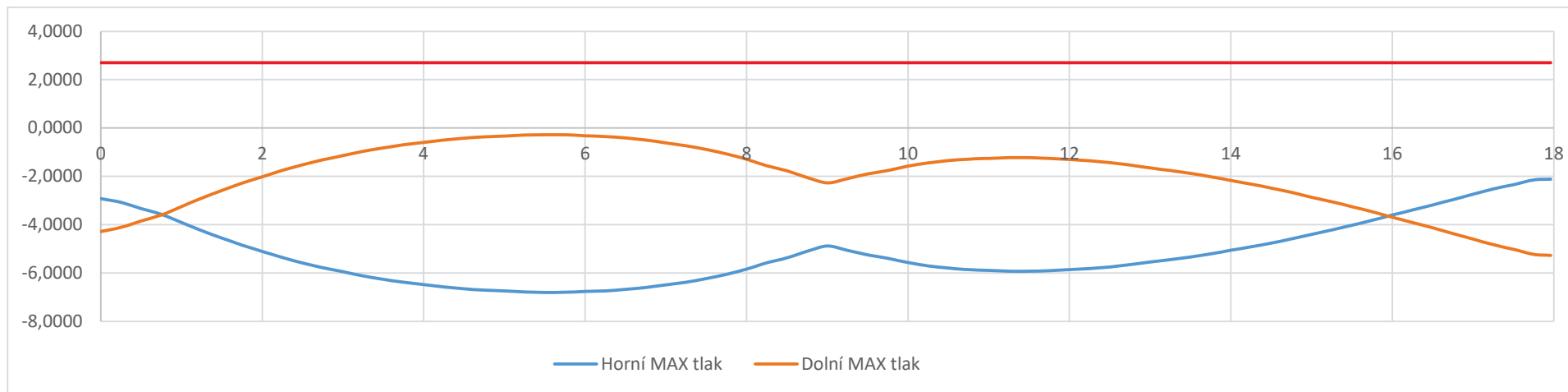


Graf 10 Průběh napětí při časté kombinaci Mmin zatížení spára č. 1-2 při podepření v 1/2 nosník č. 2 a 10

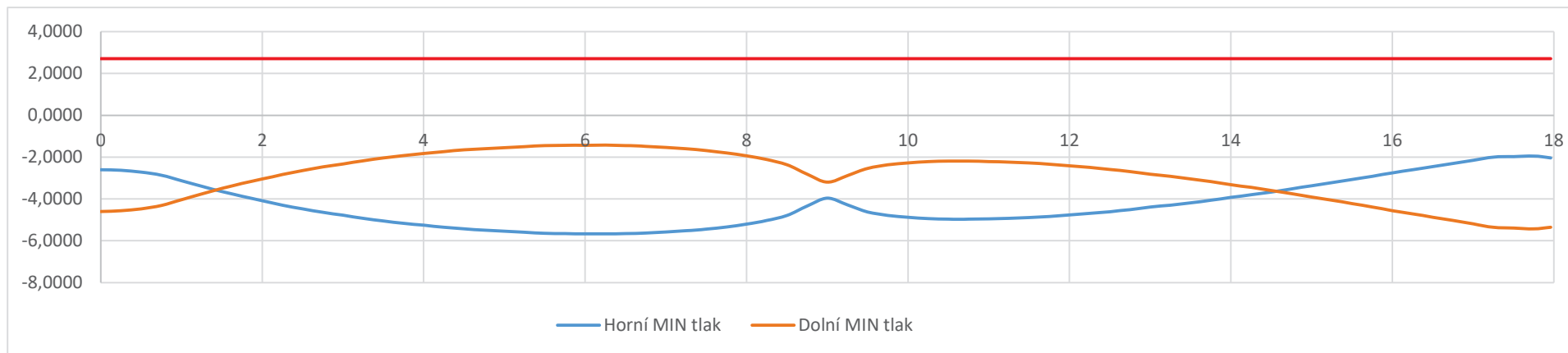
8.1.3 Nosník č. 2 snížení únosnosti 55 %



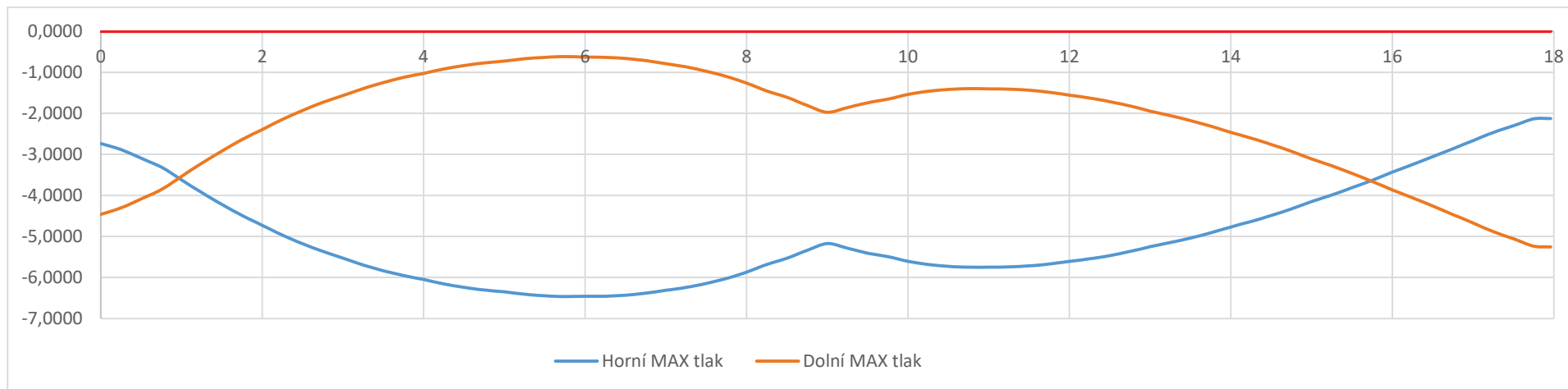
Graf 11 Průběh ohybových momentů nosník č. 2 při podepření v 1/2 nosník č. 2 a 10



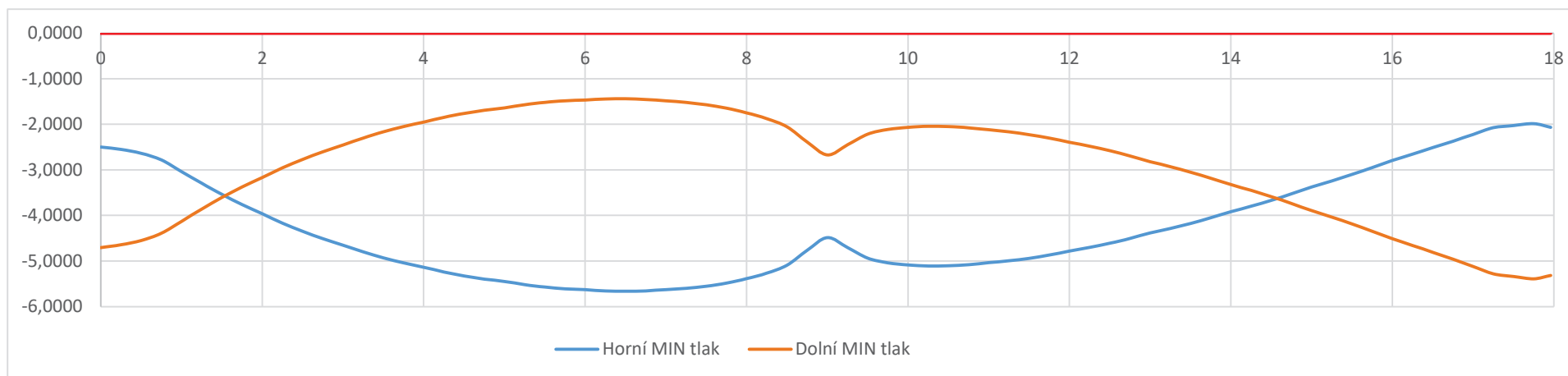
Graf 12 Průběh napětí při charakteristické kombinaci M_{max} nosník č. 2 při podepření v $\frac{1}{2}$ nosník č. 2 a 10



Graf 13 Průběh napětí při charakteristické kombinaci M_{min} nosník č. 2 při podepření v $\frac{1}{2}$ nosník č. 2 a 10

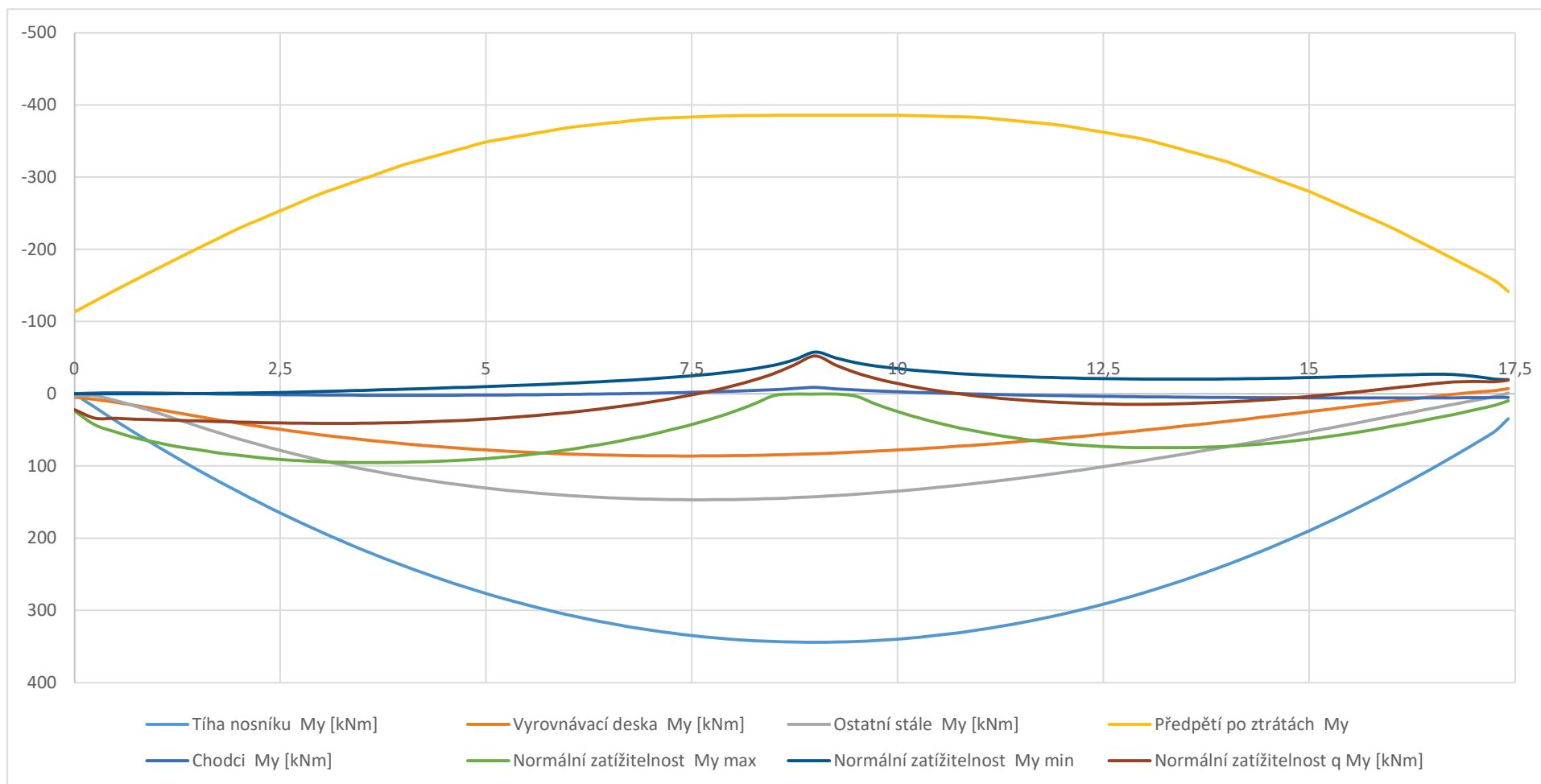


Graf 14 Průběh napětí při časté kombinaci Mmax nosník č. 2 při podepření v 1/2 nosník č. 2 a 10

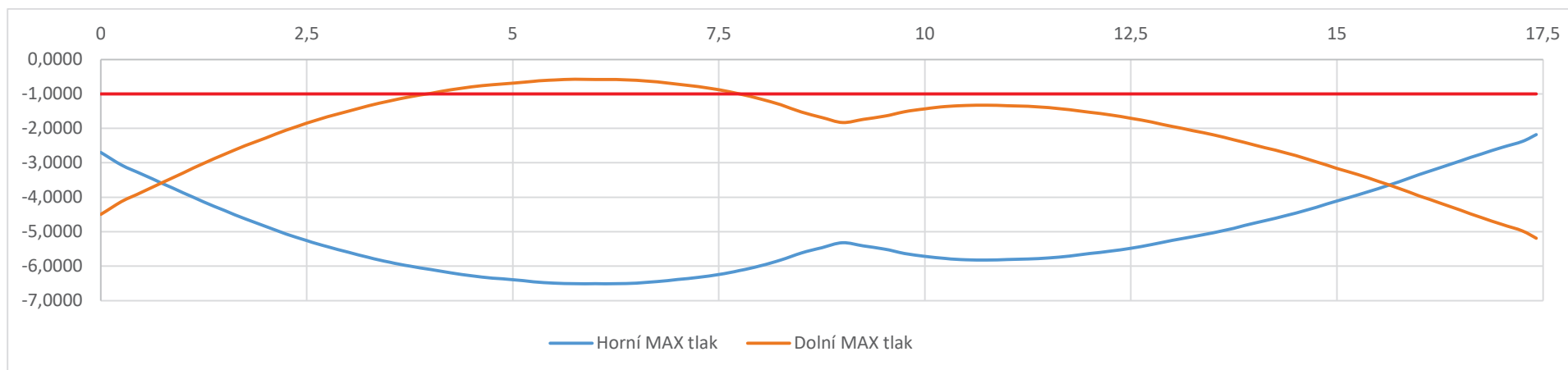


Graf 15 Průběh napětí při časté kombinaci Mmin nosník č. 2 při podepření v 1/2 nosník č. 2 a 10

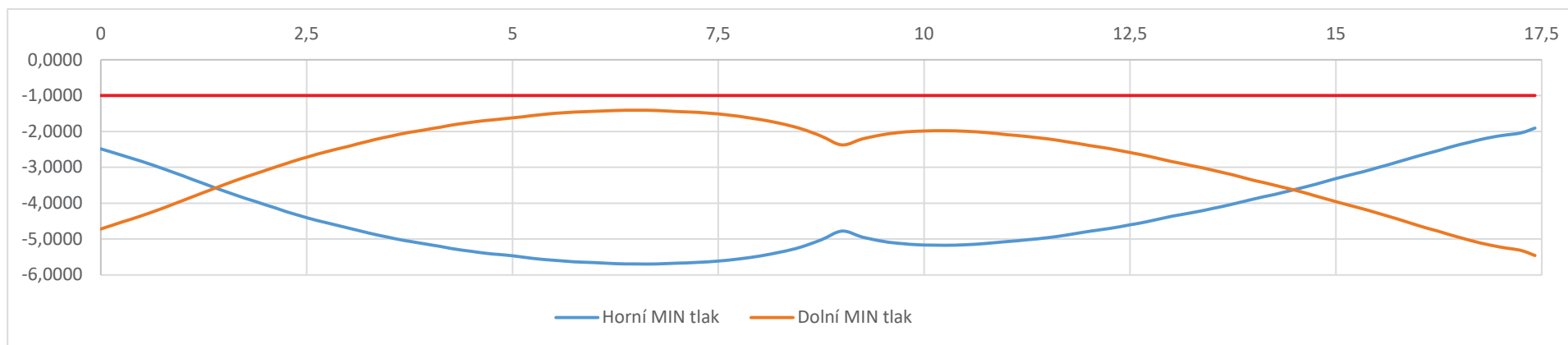
8.1.4 Spára mezi nosníkem č. 2 a č. 3 únosnost 55 %



Graf 16 Průběh ohybových momentů ve spáře 2-3 při podepření v 1/2 nosník č. 2 a 10



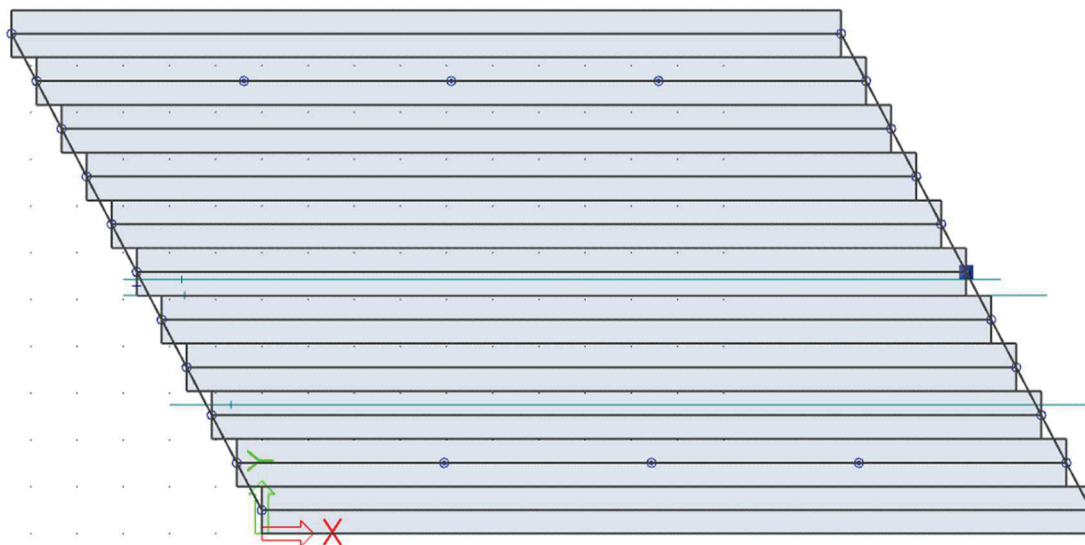
Graf 17 Průběh napětí při časté kombinaci Mmax zatížení spára č. 2-3 při podepření v 1/2 nosník č. 2 a 10



Graf 18 Průběh napětí při časté kombinaci Mmin zatížení spára č. 2-3 při podepření v 1/2 nosník č. 2 a 10

8.2 Podepření nosníku č. 2 a č. 10 v $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ a $\frac{3}{4}$ rozpětí

Bylo provedeno podepření nosníku č. 2 a 10 v $\frac{1}{4}$, v $\frac{1}{2}$ a v $\frac{3}{4}$ rozpětí.



Obrázek 68 Deskostěnový model pole mostu X525 s podepřením v $\frac{1}{4}$ + $\frac{1}{2}$ + $\frac{3}{4}$

Následně byla provedena analýza všech nosníků a spár. Hodnoty napětí byly porovnány s limity, které jsou stanoveny v kapitole 8.1. V tabulce č. 29 jsou spočteny kritické průřezy jednotlivých nosníků. Kritické průřezy budou znázorněny detailně, a to spára mezi 1-2 nosníkem, nosník č. 2 a spára mezi 2-3 nosníkem s největším snížením únosnosti a to na 55%.

Nosník	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$M_{char} Max$	19,344	219,798	21,164	33,700	40,252	104,240	42,086	32,210	20,454	147,173	109,231
$M_{char} MIN$	-190,702	-135,236	-189,732	-187,542	-177,438	-227,756	-177,430	-192,590	-201,312	-165,501	-153,881
$M_{časta} MAX$	8,144	210,516	18,774	28,642	33,610	81,584	35,000	27,686	18,328	138,457	110,035
$M_{časta} MIN$	-188,912	-133,416	-186,468	-183,618	-175,200	-212,774	-175,714	-186,572	-195,972	-160,148	-154,169
$\sigma_{char.} MAX$ horní	-3,168	-2,217	-2,519	-2,512	-2,851	-2,845	-2,527	-2,249	-2,250	-2,349	-2,151
$\sigma_{char.} MAX$ dolní	-4,940	-0,823	-4,936	-4,787	-4,707	-3,908	-4,685	-4,806	-4,955	-2,397	-2,871
$\sigma_{char.} MIN$ horní	-2,963	-2,005	-3,003	-3,030	-3,084	-2,412	-3,034	-2,841	-2,733	-2,201	-2,340
$\sigma_{char.} MIN$ dolní	-5,298	-1,325	-4,335	-4,024	-3,828	-4,708	-3,807	-4,100	-4,365	-2,894	-2,364
$\sigma_{častá.} MAX$ horní	-3,013	-2,186	-2,686	-2,690	-2,932	-2,921	-2,667	-2,471	-2,437	-2,379	-2,195
$\sigma_{častá.} MAX$ dolní	-5,287	-0,942	-4,969	-4,850	-4,790	-4,191	-4,774	-4,862	-4,982	-2,505	-2,861
$\sigma_{častá.} MIN$ horní	-2,985	-2,028	-3,043	-3,079	-3,109	-2,597	-3,050	-2,915	-2,799	-2,263	-2,337
$\sigma_{častá.} MIN$ dolní	-5,287	-1,313	-4,518	-4,281	-4,130	-4,971	-4,115	-4,341	-4,550	-2,875	-2,488
spára		1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 8	8 - 9	9 - 10	10 - 11
$M_{char} Max$		201,296	230,784	26,898	35,420	39,030	39,296	36,278	28,810	164,285	158,675
$M_{char} MIN$		-131,059	-151,825	-196,778	-185,956	-162,802	-171,348	-171,572	-179,222	-177,935	-172,607
$M_{časta} MAX$		-195,512	218,319	23,142	29,642	-32,430	32,654	30,440	24,778	151,379	147,117
$M_{časta} MIN$		-127,183	-144,391	-192,254	-183,100	-162,688	-170,844	-169,808	-176,186	-168,503	-166,192
$\sigma_{char.} MAX$ horní		-2,076	-2,121	-2,391	-2,531	-2,810	-2,830	-2,585	-2,395	-2,537	-2,492
$\sigma_{char.} MAX$ dolní		-1,049	-0,686	-4,870	-4,765	-4,722	-4,719	-4,757	-4,851	-2,182	-2,252
$\sigma_{char.} MIN$ horní		-2,052	-1,766	-2,909	-3,043	-3,214	-3,223	-3,106	-3,006	-2,043	-2,109
$\sigma_{char.} MIN$ dolní		-1,472	-1,246	-4,211	-3,923	-3,874	-3,870	-3,912	-4,119	-2,742	-2,817
$\sigma_{častá.} MAX$ horní		-2,118	-2,154	-2,576	-2,694	-2,913	-2,935	-2,744	-2,585	-2,519	-2,474
$\sigma_{častá.} MAX$ dolní		-1,121	-0,844	-4,917	-4,838	-4,804	-4,802	-4,830	-4,902	-2,343	-2,396
$\sigma_{častá.} MIN$ horní		-2,100	-1,887	-2,965	-3,078	-3,223	-3,229	-3,128	-3,044	-2,160	-2,188
$\sigma_{častá.} MIN$ dolní		-1,438	-1,256	-4,429	-4,206	-4,169	-4,165	-4,197	-4,416	-2,756	-2,815

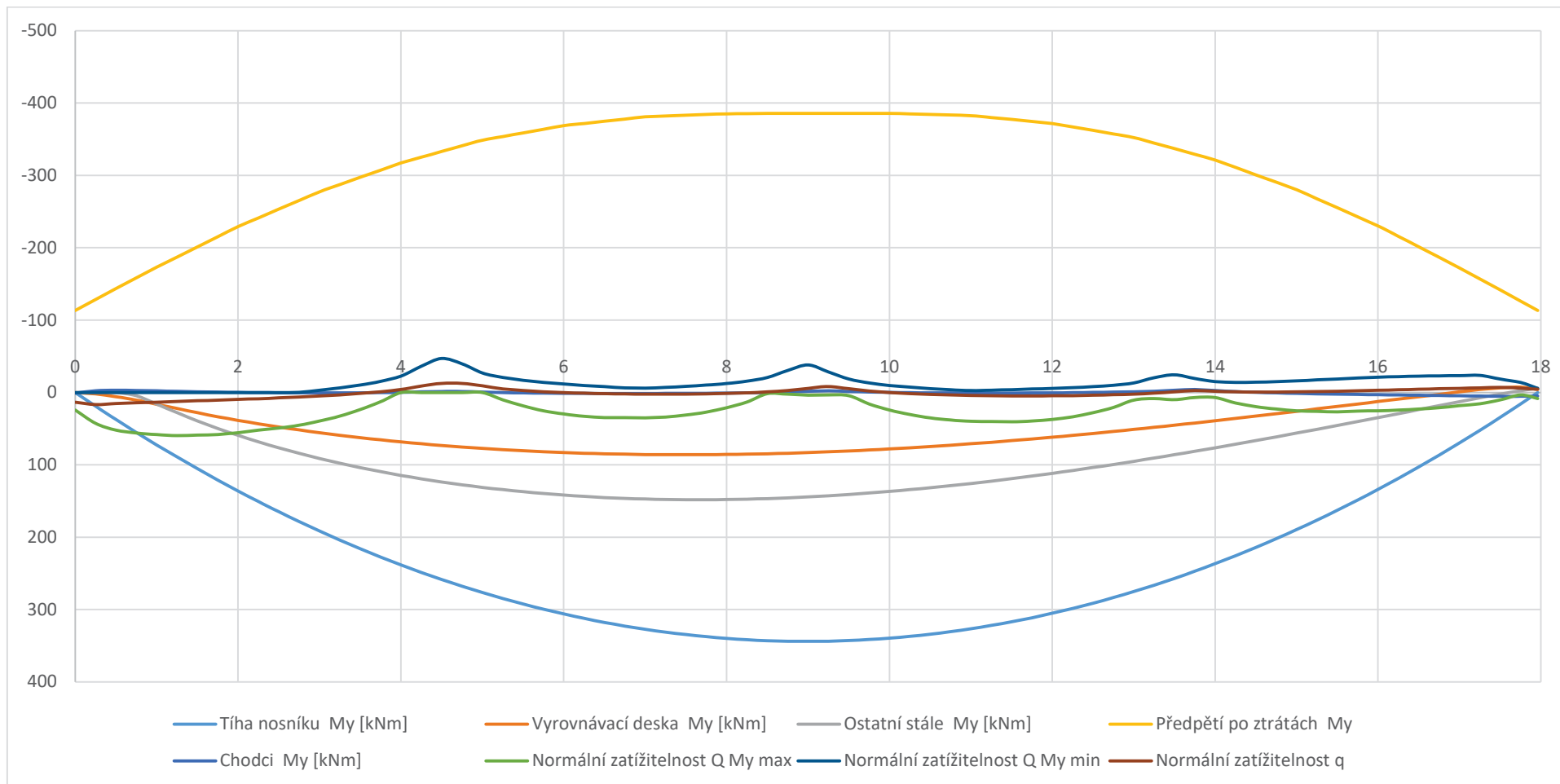
Tabulka 29 Vyhodnocení napětí v mezním stavu použitelnosti při podepření v $\frac{1}{2}$ a $\frac{1}{4}$ nosník č. 2 a 10

Z tabulky č. 29 je vidět, že při přidání podepření v $\frac{1}{4}$ a $\frac{3}{4}$ rozpětí se spára mezi nosníkem 1-2 dostala pod hodnotu -1,0 MPa v časté kombinaci, avšak spára mezi nosníkem 2-3 je stále nad hodnotou -1,0 MPa a mohlo by docházet k porušení při normální zatížitelnosti 26 t.

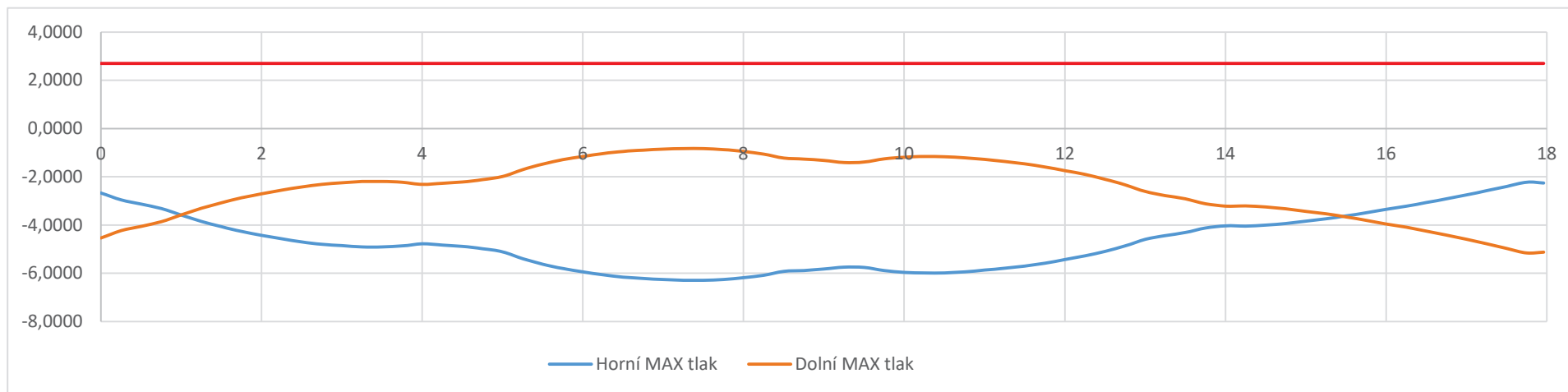
Nosník č. 2 kde se při změně podepření vytvořila větší tlaková rezerva o 0,5 MPa v časté kombinaci. Ostatní nosníky a spáry mají dostatečnou tlakovou rezervu, i tak provedeme další návrh podepření, abychom dosáhli tlakové rezervy ve spárách -1,0 MPa.

Bude proveden návrh podepření, kde podepřeme celý most v $\frac{1}{2}$ rozpětí v krajních polích. Následně bude provedena analýza všech nosníků a spár a posouzeno dle limitů výše.

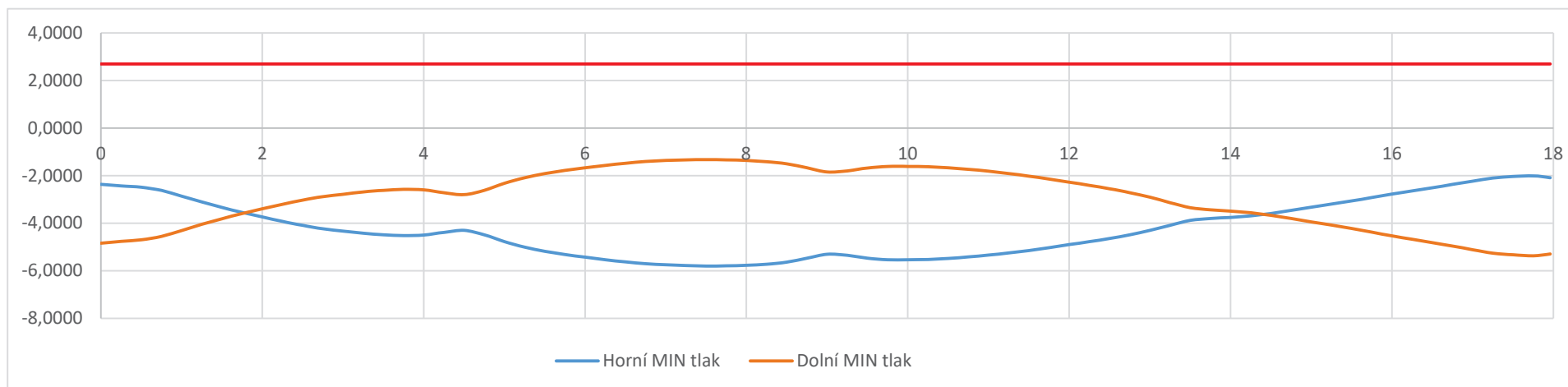
8.2.1 Nosník č. 2 snížení únosnosti 55 %



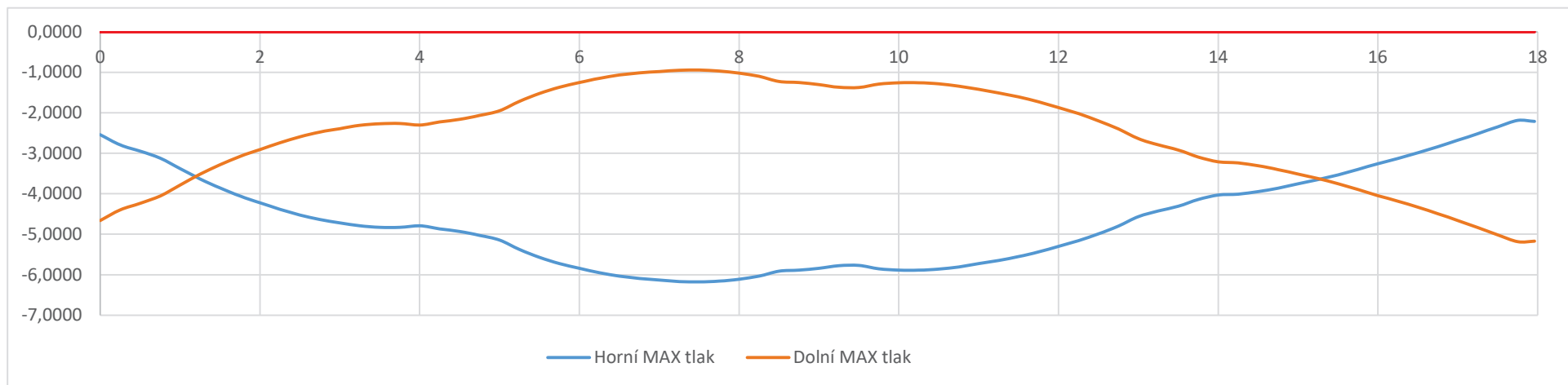
Graf 19 Průběh ohybových momentů nosník č. 2 při podepření v $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{4}$ $\frac{3}{4}$ nosník č. 2 a 10



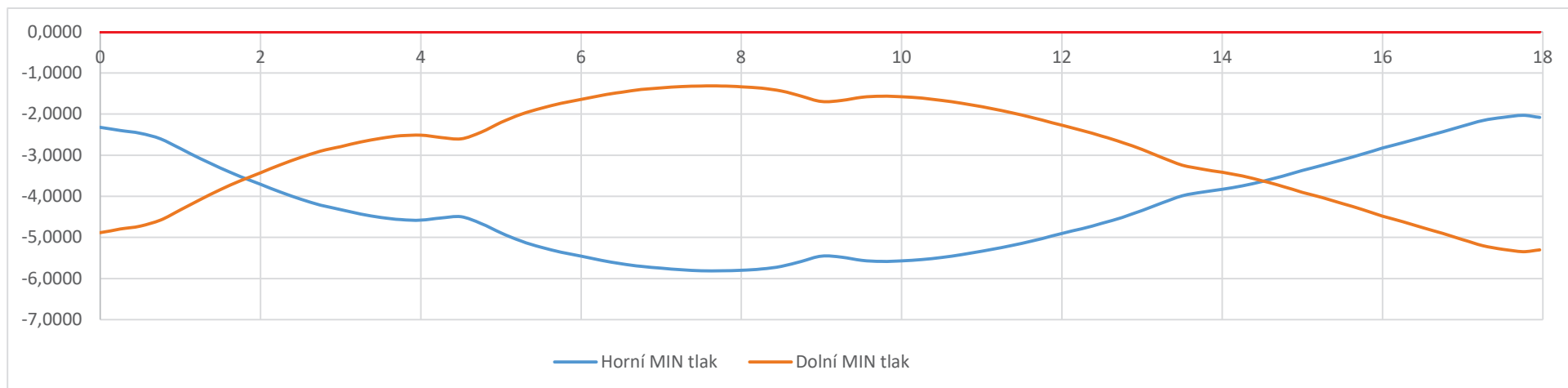
Graf 20 Průběh napětí při charakteristické kombinaci Mmax nosník č. 2 při podepření v 1/2 1/4 3/4 nosník č. 2 a 10



Graf 21 Průběh napětí při charakteristické kombinaci Mmin nosník č. 2 při podepření v 1/2 1/4 3/4 nosník č. 2 a 10

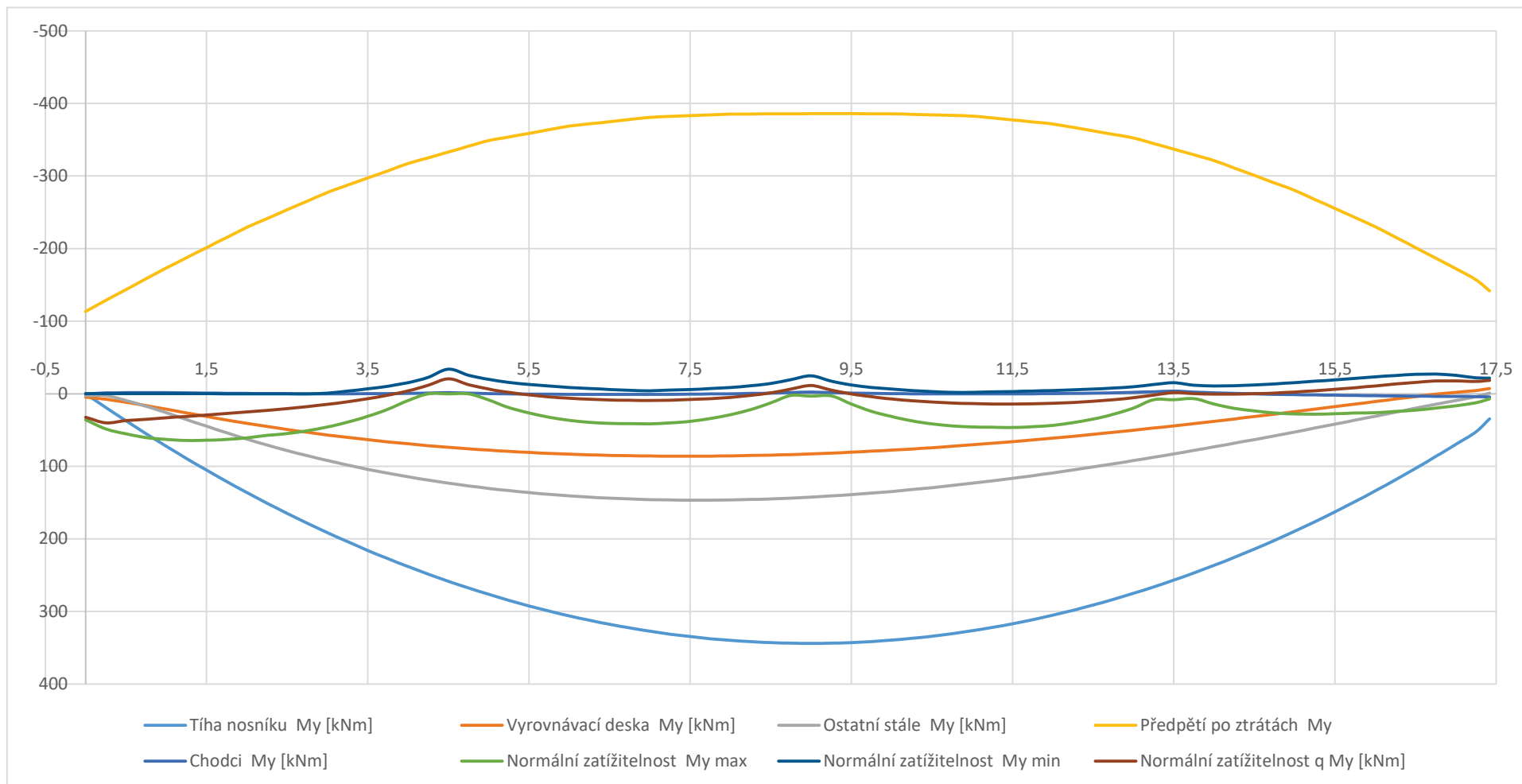


Graf 22 Průběh napětí při časté kombinaci Mmax nosník č. 2 při podepření v 1/2 1/4 3/4 nosník č. 2 a 10

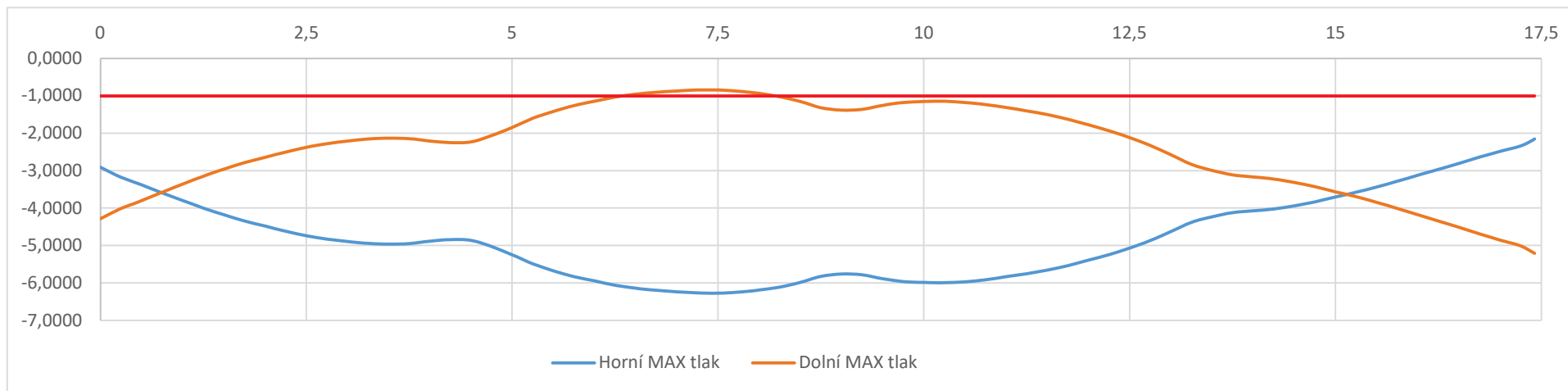


Graf 23 Průběh napětí při časté kombinaci Mmin nosník č. 2 při podepření v 1/2 1/4 3/4 nosník č. 2 a 10

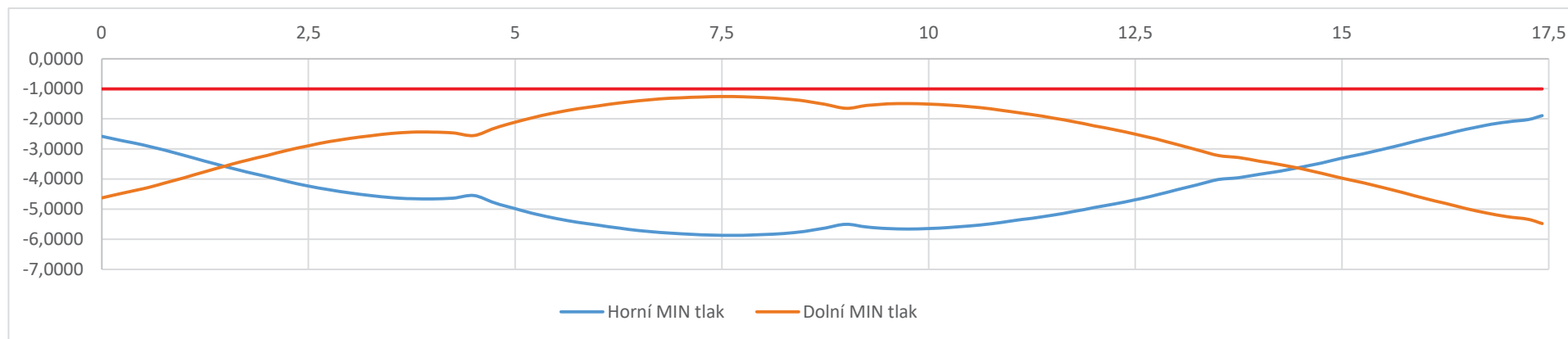
8.2.2 Spára mezi nosníkem č. 2 a č. 3 únosnost 55 %



Graf 24 Průběh ohybových momentů spára č. 2-3 při podepření v $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{4}$ $\frac{3}{4}$ nosník č. 2 a 10



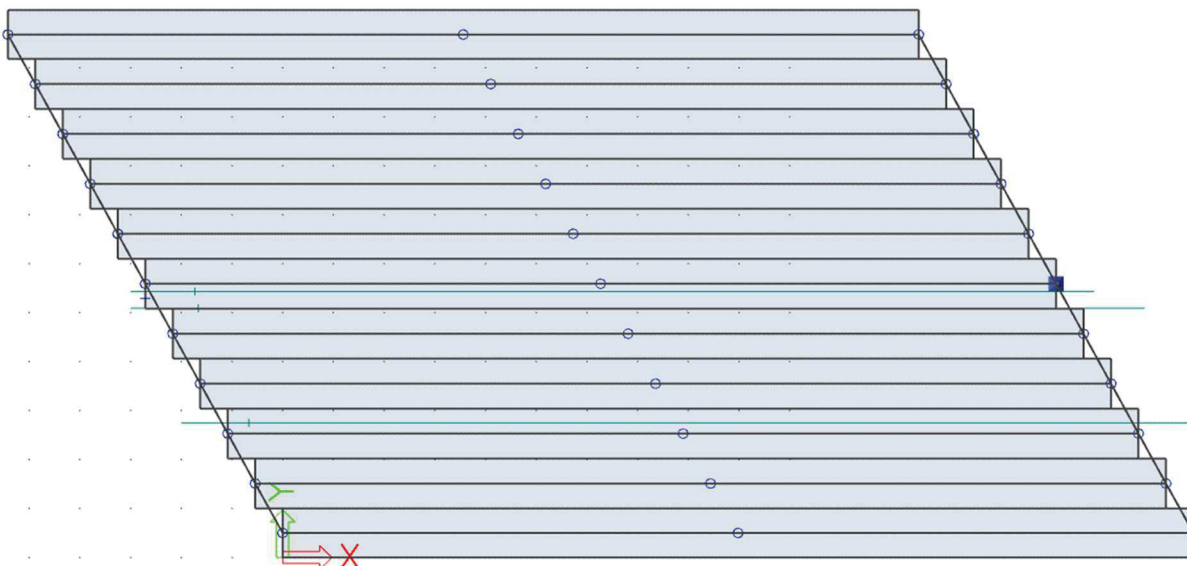
Graf 25 Průběh napětí při časté kombinaci Mmax spára č. 2-3 při podepření v 1/2 1/4 3/4 nosník č. 2 a 10



Graf 26 Průběh napětí při časté kombinaci Mmin spára č. 2-3 při podepření v 1/2 1/4 3/4 nosník č. 2 a 10

8.3 Podepření krajního pole po celé šířce mostu X525

Bylo provedeno podepření po celé šířce mostu v krajních polích v $\frac{1}{2}$ rozpětí.



Obrázek 69 Deskostěnový model pole mostu X525 s podepřením v $\frac{1}{4} + \frac{1}{2} + \frac{3}{4}$

Následně byla provedena analýza všech nosníků a spár a hodnoty napětí při charakteristické a časté kombinaci byli porovnány s limity viz. kapitola 8.1.

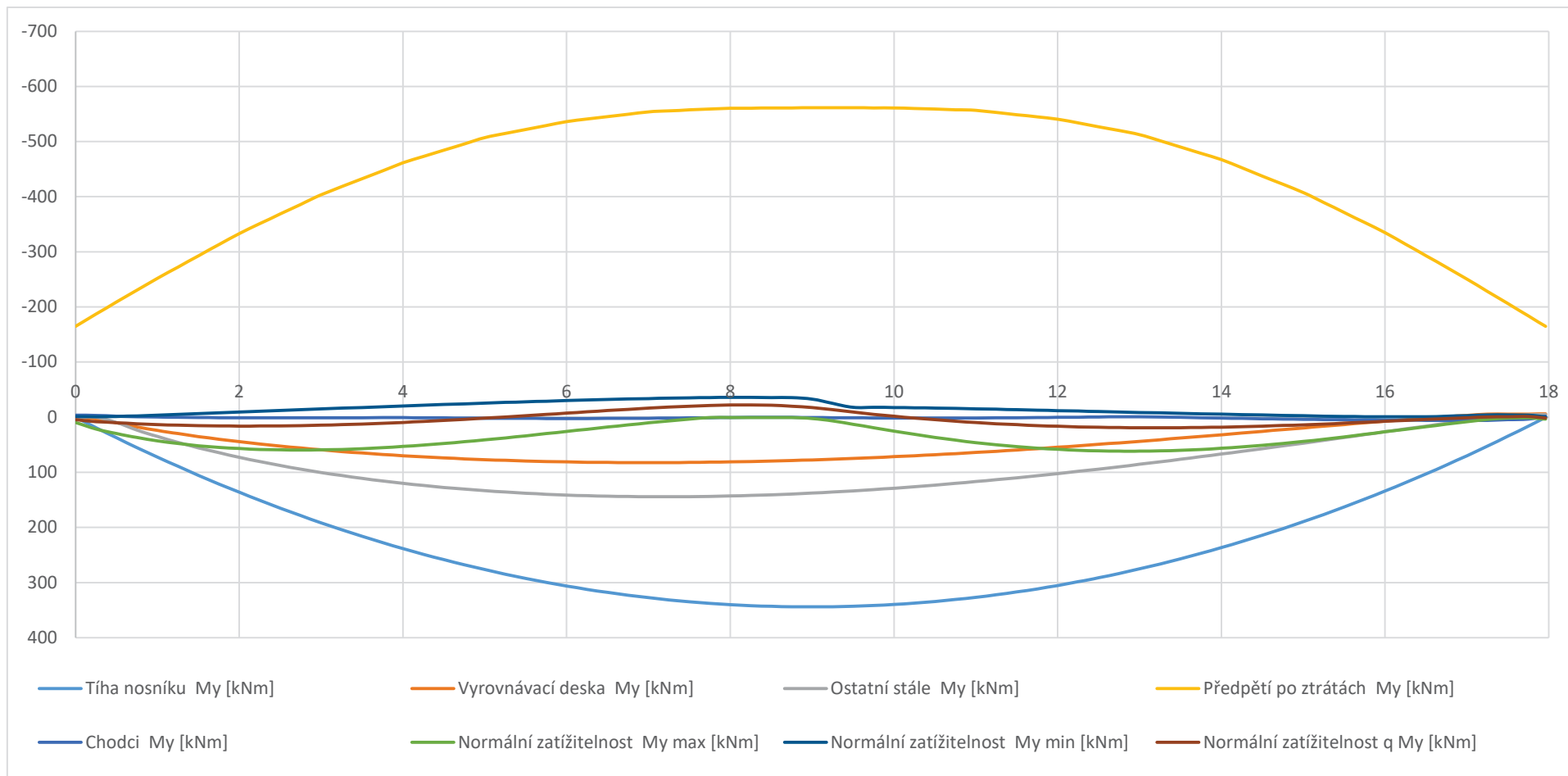
Nosník	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$M_{char} Max$	29,630	207,639	48,720	66,622	53,458	41,974	48,164	69,806	38,354	135,505	51,430
$M_{char} MIN$	-188,970	-131,441	-179,866	-176,726	-178,806	-179,709	-178,722	-175,406	-182,808	-154,961	-168,932
$M_{častá} MAX$	14,914	193,654	30,254	40,998	33,876	26,076	29,520	47,742	23,014	121,757	37,545
$M_{častá} MIN$	-187,464	-129,461	-178,072	-175,370	-176,226	-177,014	-176,650	-174,594	-182,094	-154,979	-169,575
$\sigma_{char.} MAX$ horní	-3,029	-2,112	-3,215	-3,180	-3,182	-3,148	-3,128	-3,166	-3,132	-2,477	-2,868
$\sigma_{char.} MAX$ dolní	-4,796	-0,961	-4,561	-4,335	-4,505	-4,649	-4,629	-4,300	-4,744	-2,561	-4,286
$\sigma_{char.} MIN$ horní	-2,891	-2,016	-3,130	-3,086	-3,040	-3,000	-3,018	-0,053	-2,962	-2,327	-2,807
$\sigma_{char.} MIN$ dolní	-5,675	-1,894	-5,616	-5,515	-5,621	-5,592	-5,711	-5,432	-5,724	-3,365	-4,904
$\sigma_{častá.} MAX$ horní	-3,013	-2,101	-3,213	-3,181	-3,183	-3,147	-3,126	-3,163	-3,116	-2,439	-2,844
$\sigma_{častá.} MAX$ dolní	-4,981	-1,136	-4,794	-4,660	-4,755	-4,856	-4,852	-4,577	-4,943	-2,725	-4,440
$\sigma_{častá.} MIN$ horní	-2,910	-2,029	-3,141	-3,110	-3,074	-3,033	-3,043	-3,075	-2,971	-2,327	-2,799
$\sigma_{častá.} MIN$ dolní	-5,597	-1,773	-5,543	-5,517	-5,550	-5,523	-5,608	-5,387	-5,630	-3,276	-4,823
spára		1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 8	8 - 9	9 - 10	10 - 11
$M_{char} Max$		194,500	207,583	50,350	54,874	48,172	44,780	49,992	43,726	141,573	129,168
$M_{char} MIN$		-130,725	-123,471	-181,108	-178,740	-186,648	-180,170	-173,606	-169,122	-141,963	-156,997
$M_{častá} MAX$		183,097	192,936	30,272	34,012	-28,612	27,126	31,144	25,648	126,264	116,118
$M_{častá} MIN$		-129,351	-122,457	-180,736	-177,954	-183,078	-177,590	-172,190	-168,918	-141,837	-157,507
$\sigma_{char.} MAX$ horní		-2,162	-2,343	-3,317	-3,415	-3,355	-3,353	-3,428	-3,347	-2,657	-2,507
$\sigma_{char.} MAX$ dolní		-1,122	-0,961	-4,538	-4,486	-4,570	-4,661	-4,599	-4,684	-2,481	-2,640
$\sigma_{char.} MIN$ horní		-2,031	-2,146	-3,103	-3,132	-3,034	-3,114	-3,175	-3,155	-2,492	-2,399
$\sigma_{char.} MIN$ dolní		-1,891	-1,931	-5,631	-5,634	-5,619	-5,668	-5,703	-5,718	-3,446	-3,446
$\sigma_{častá.} MAX$ horní		-2,152	-2,307	-3,268	-3,354	-3,327	-3,325	-3,366	-3,295	-2,617	-2,497
$\sigma_{častá.} MAX$ dolní		-1,267	-1,145	-4,794	-4,747	-4,816	-4,879	-4,832	-4,901	-2,664	-2,793
$\sigma_{častá.} MIN$ horní		-2,021	-2,158	-3,107	-3,142	-3,078	-3,146	-3,176	-3,151	-2,494	-2,393
$\sigma_{častá.} MIN$ dolní		-1,765	-1,810	-5,569	-5,568	-5,554	-5,571	-5,598	-5,613	-3,315	-3,318

Tabulka 30 Vyhodnocení napětí v mezním stavu použitelnosti při podepření krajního pole po celé šířce v $\frac{1}{2}$

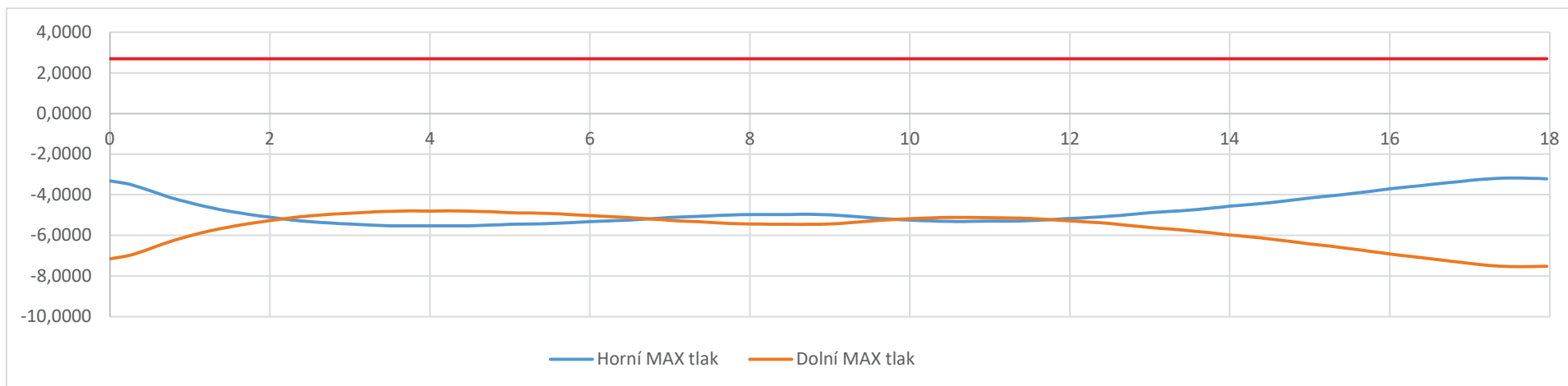
Z výsledků je zřejmé, že tlaková rezerva ve spáře 2-3 je -1,145 a to je menší než -1,0 MPa. Proto považujeme toto podepření krajního pole jako vyhovující při normální zatížitelnosti 32 t. Následně bude dopočítána zatížitelnost výhradní a výjimečná, aby byly splněny stejné podmínky pro napětí v konstrukci.

Na grafech je znázorněn průběh ohybových momentů a napětí na konstrukci při normální zatížitelnosti 32 t nosníků a spár s rozdílnou únosností, při únosnosti 80 % bude znázorněn střední nosník. Dále bude navržena podpěrná skruž pod krajními poli, která bude navržena na hodnoty reakcí od dopravy a chodců. Tato skruž bude následně posouzena na mezní stav únosnosti a použitelnosti.

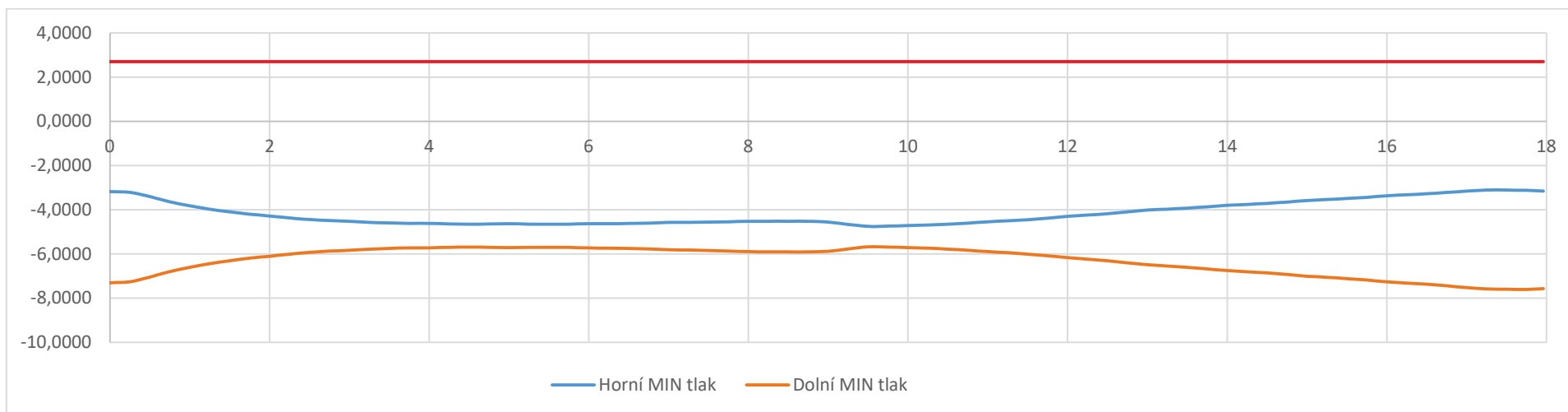
8.3.1 Nosník č. 1 snížení únosnosti 75 %



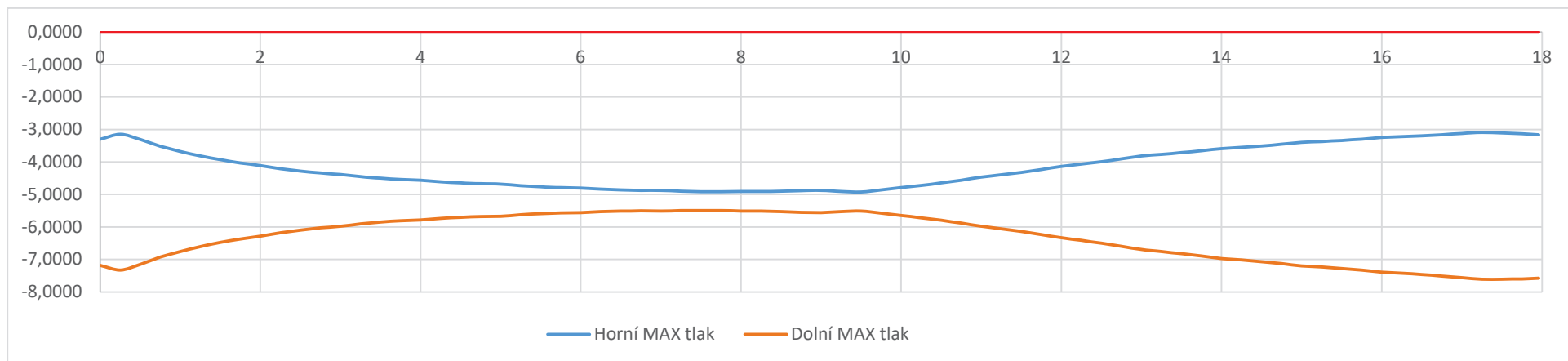
Graf 27 Průběh ohybových momentů nosník č.1 při podepření v 1/2 všech nosníků



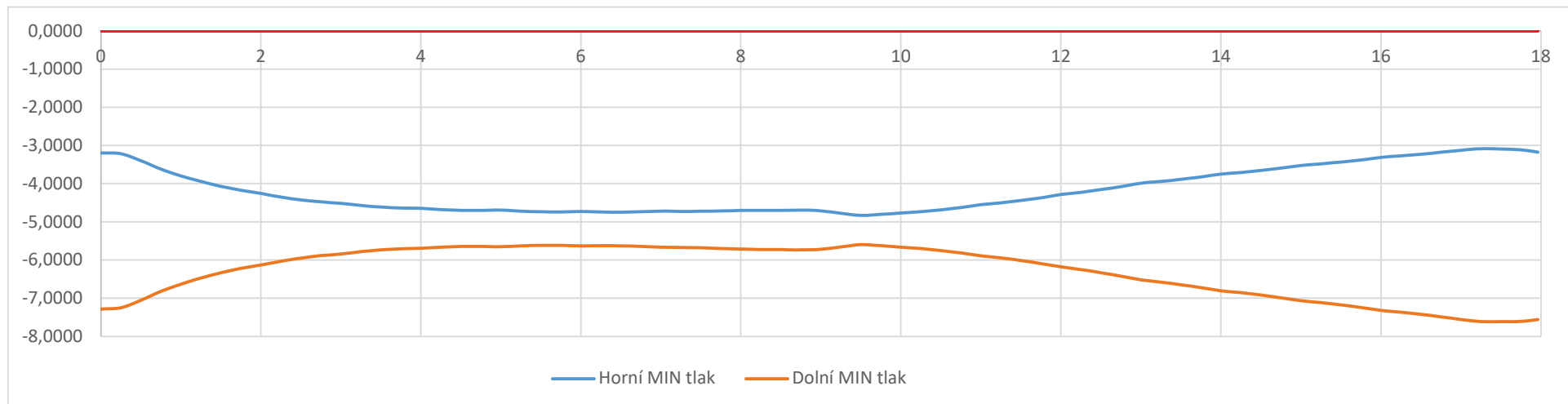
Graf 28 Průběh napětí při charakteristické kombinaci Mmax nosník č. 1 při podepření v 1/2 všech nosníků



Graf 29 Průběh napětí při charakteristické kombinaci Mmin nosník č. 1 při podepření v 1/2 všech nosníků

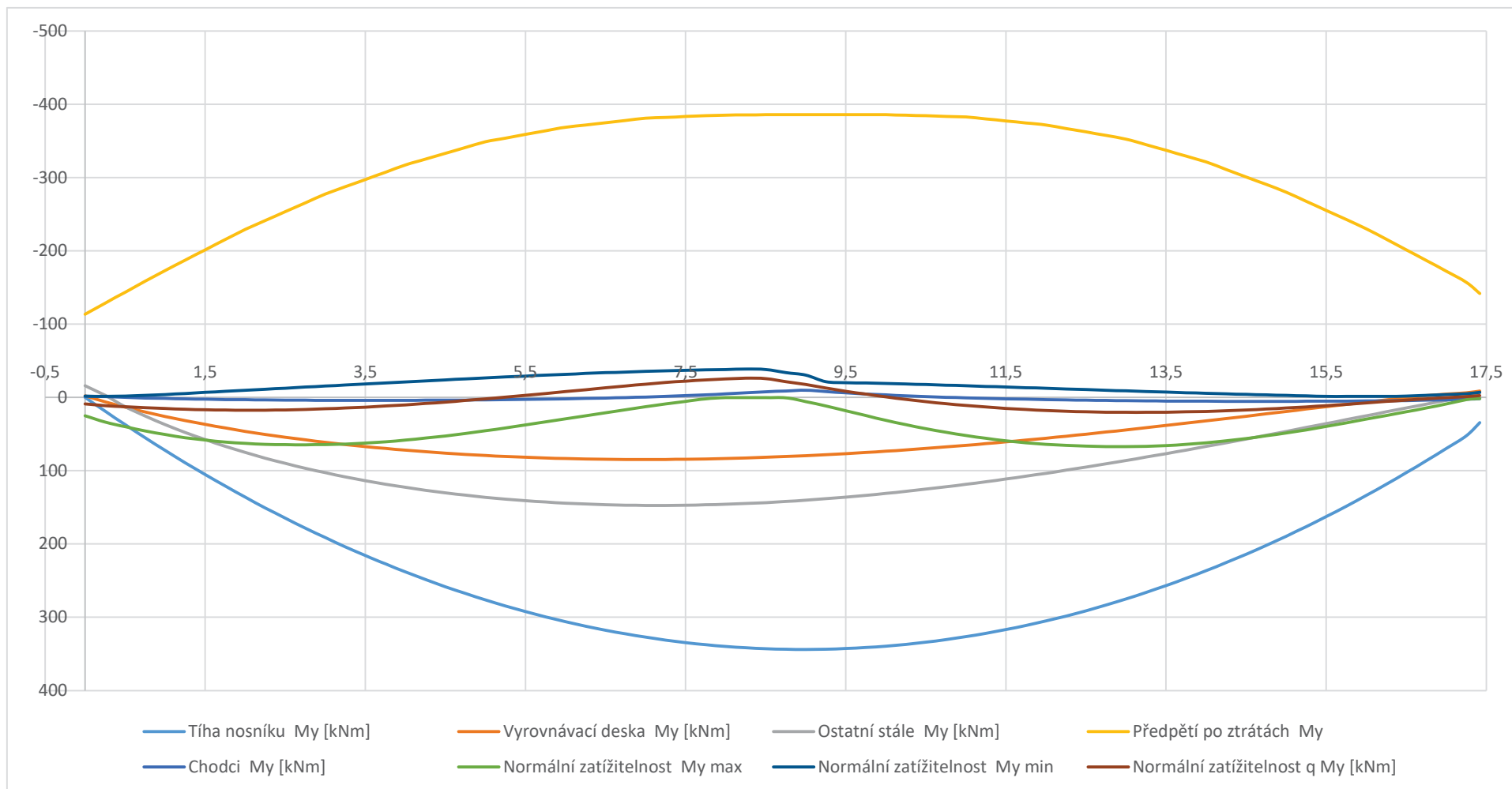


Graf 30 Průběh napětí při časté kombinaci Mmax nosník č. 1 při podepření v 1/2 všech nosníků

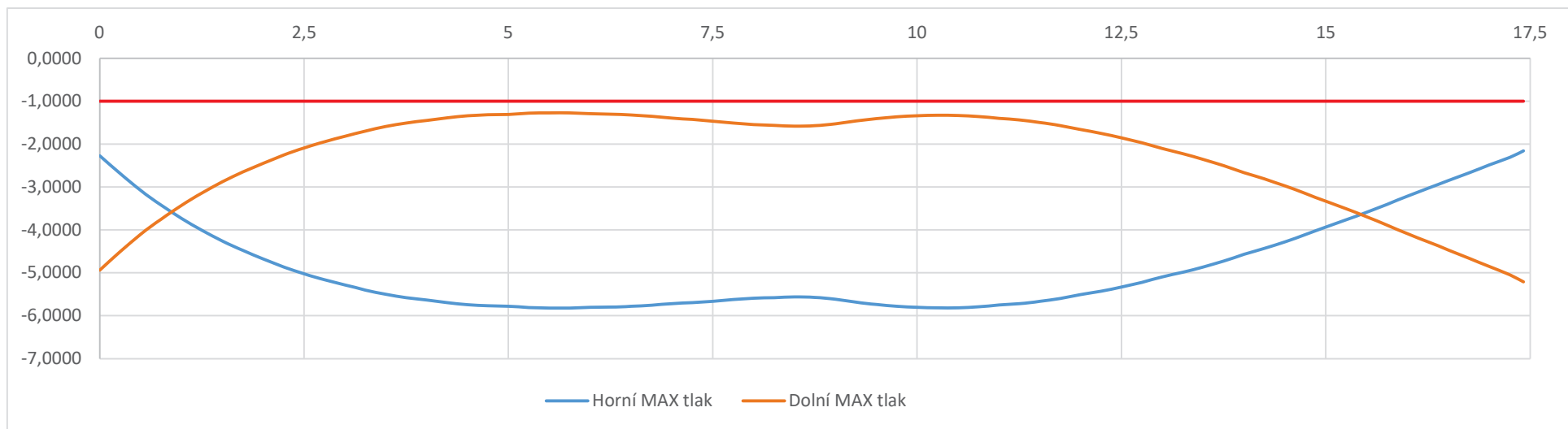


Graf 31 Průběh napětí při časté kombinaci Mmin nosník č. 1 při podepření v 1/2 všech nosníků

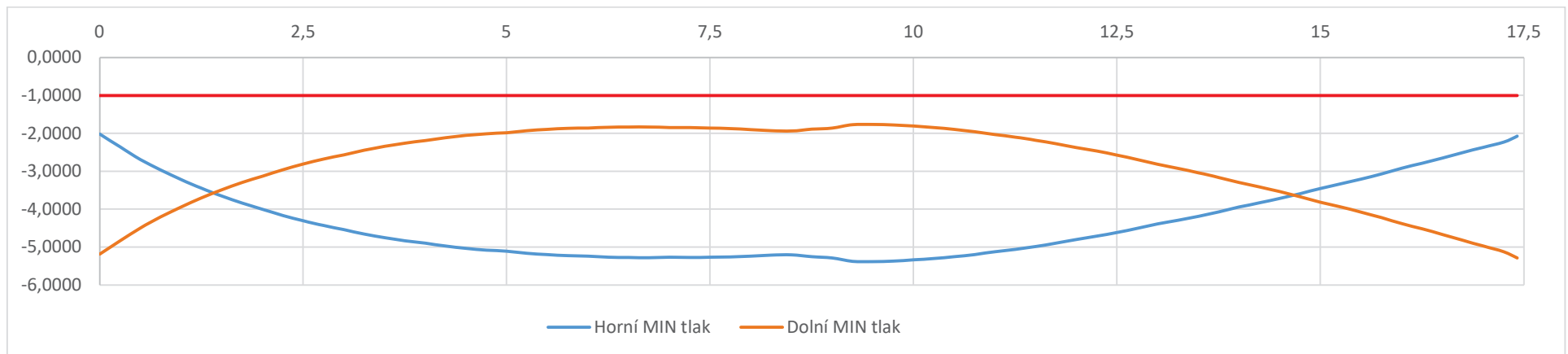
8.3.2 Spára mezi nosníkem č. 1 a č. 2 únosnost 55 %



Graf 32 Průběh ohybových momentů spára č. 1-2 při podepření v 1/2 všech nosníků

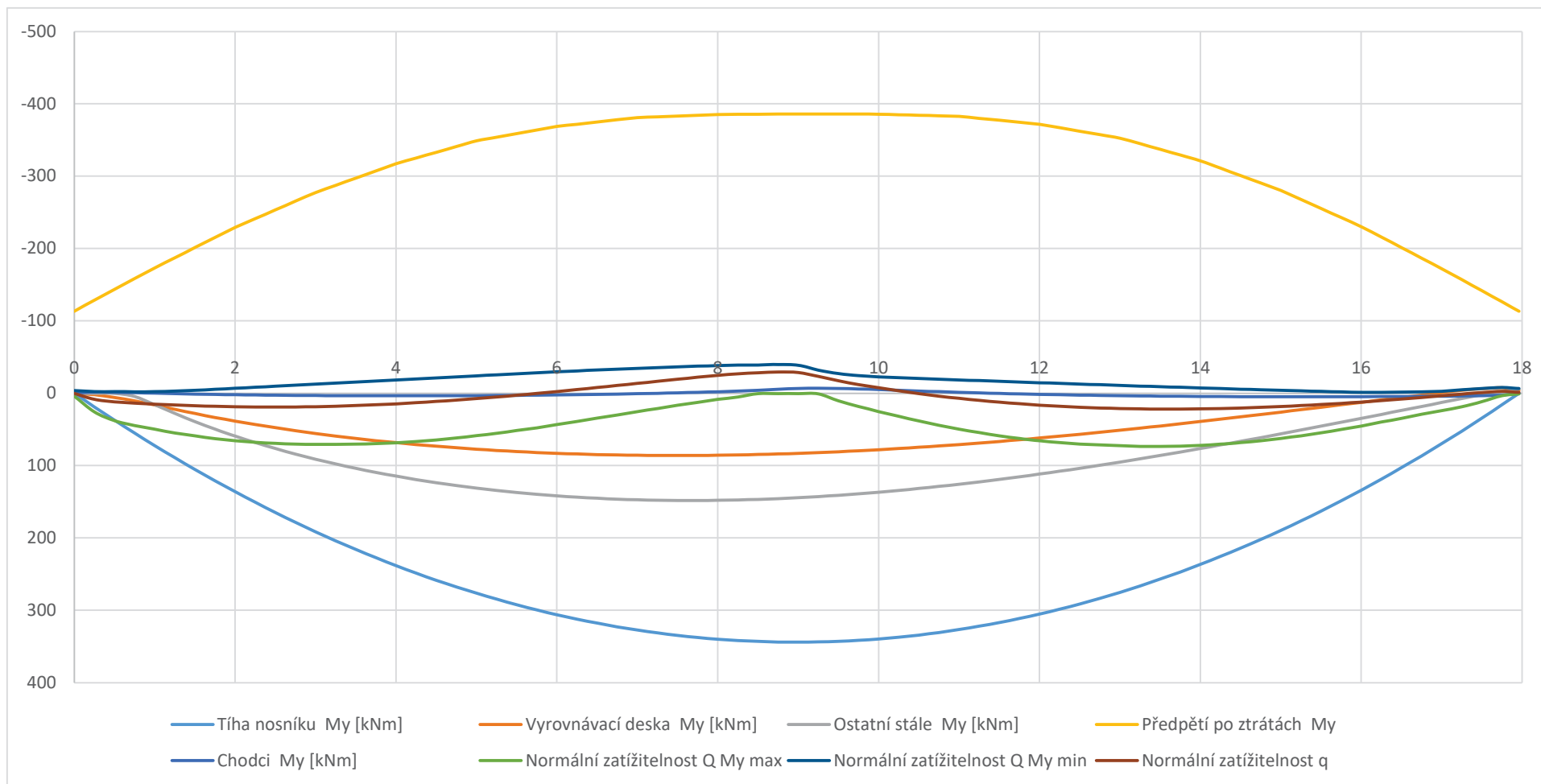


Graf 33 Průběh napětí při časté kombinaci Mmax spára č. 1-2 při podepření v 1/2 všech nosníků

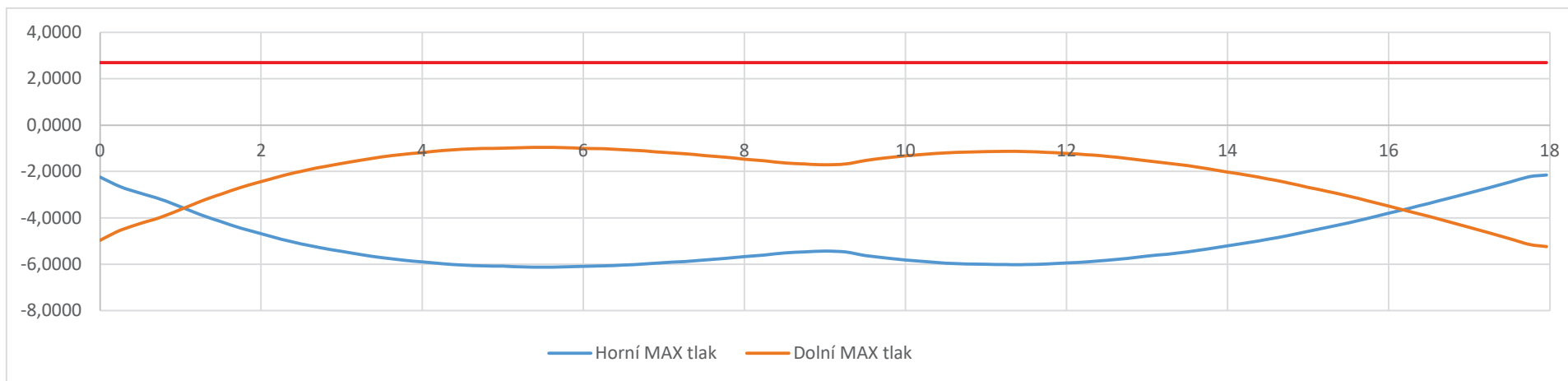


Graf 34 Průběh napětí při časté kombinaci Mmin spára č. 1-2 při podepření v 1/2 všech nosníků

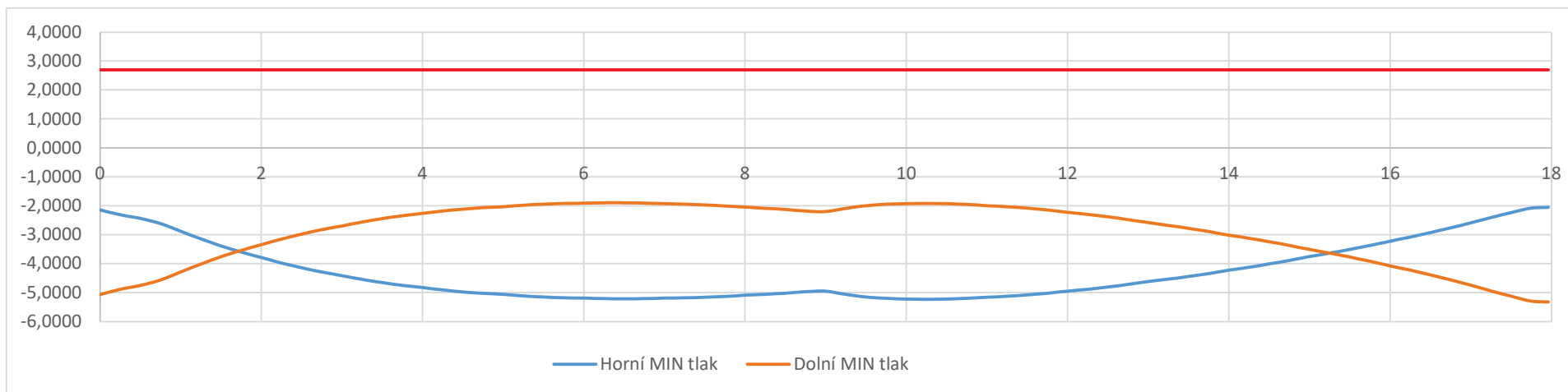
8.3.3 Nosník č. 2 snížení únosnosti 55 %



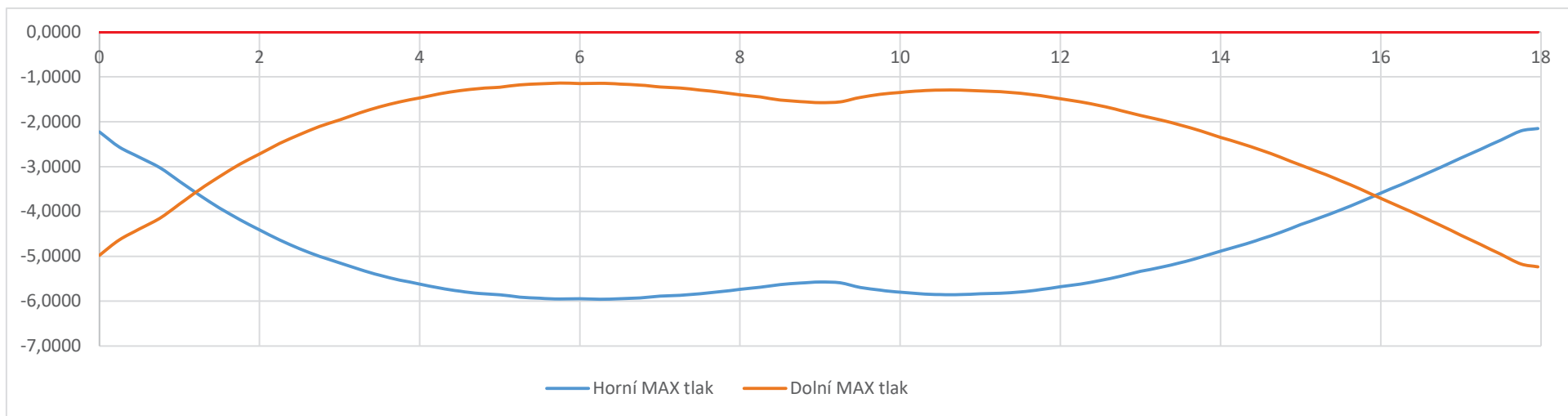
Graf 35 Průběh ohybových momentů nosník č.2 při podepření v $\frac{1}{2}$ všech nosníků



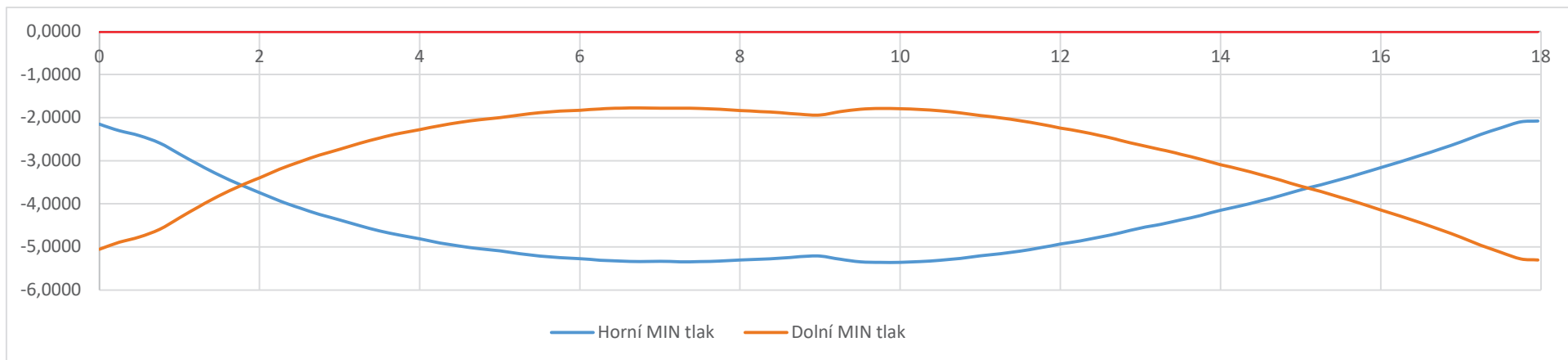
Graf 36 Průběh napětí při charakteristické kombinaci Mmax nosník č. 2 při podepření v 1/2 všech nosníků



Graf 37 Průběh napětí při charakteristické kombinaci Mmin nosník č. 2 při podepření v 1/2 všech nosníků

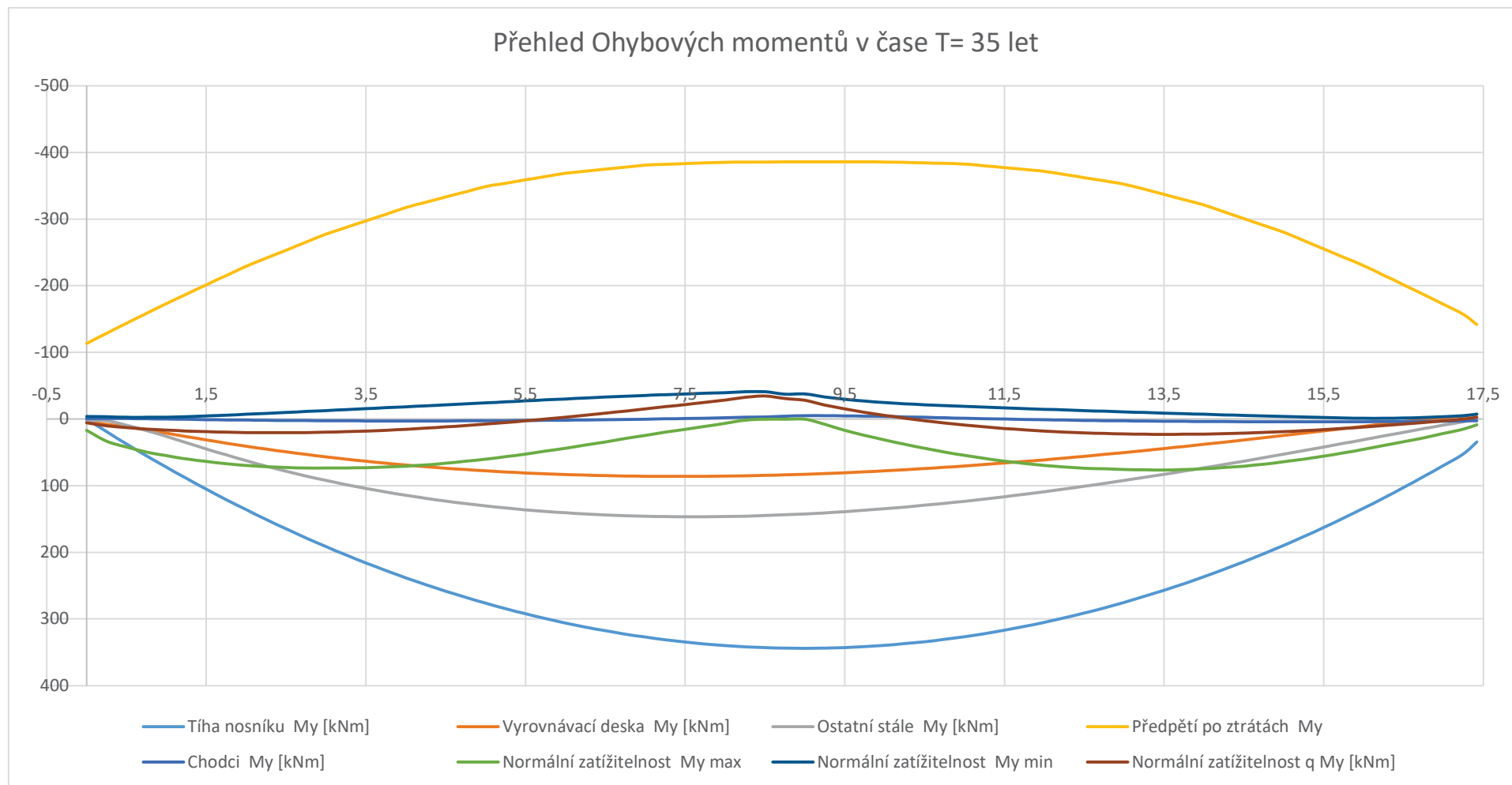


Graf 38 Průběh napětí při časté kombinaci Mmax nosník č. 2 při podepření v 1/2 všech nosníků

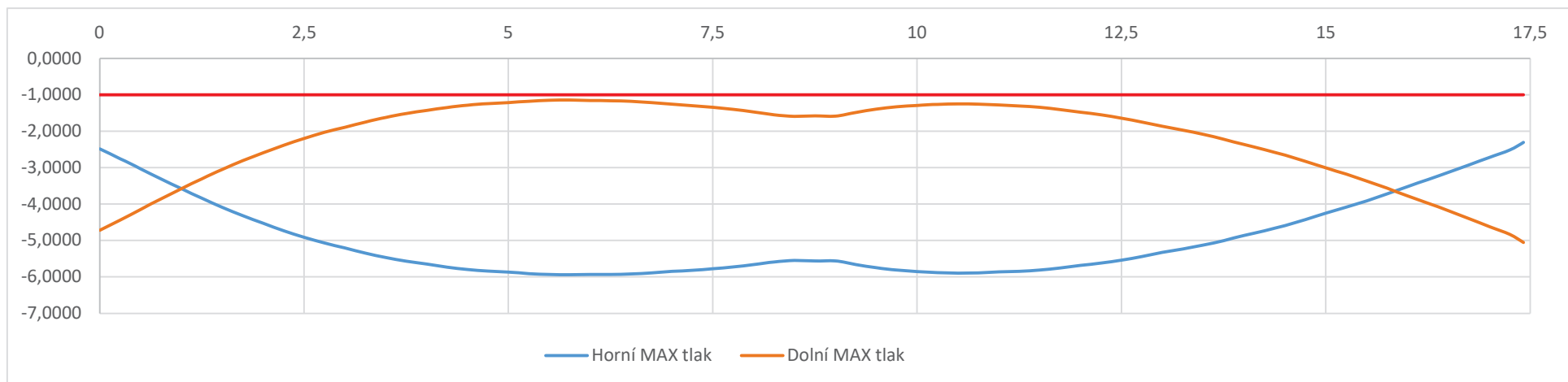


Graf 39 Průběh napětí při časté kombinaci Mmin nosník č. 2 při podepření v 1/2 všech nosníků

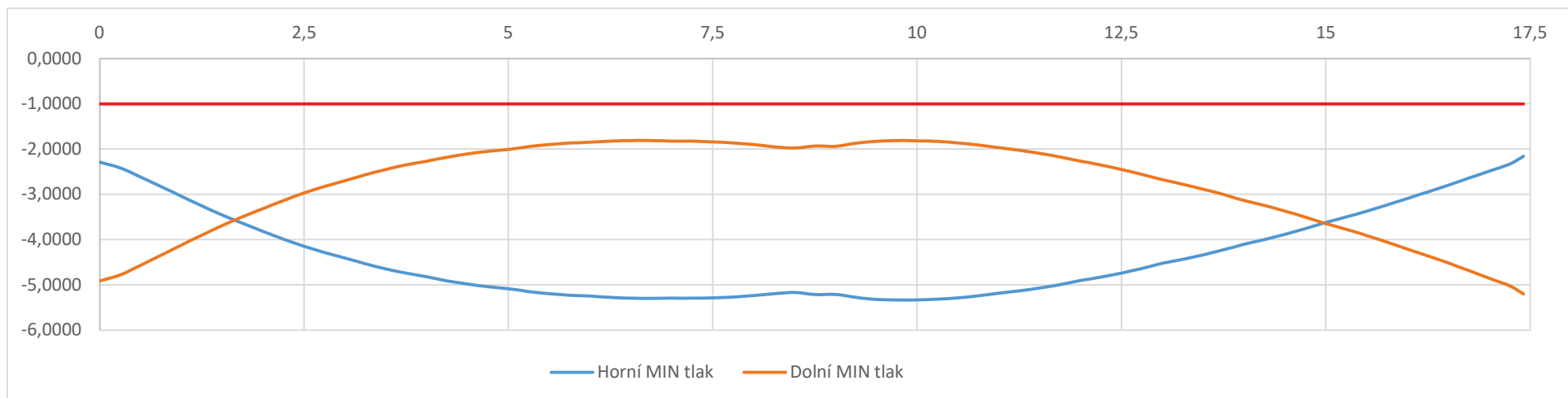
8.3.4 Spára mezi nosníkem č. 2 a 3 únosnost 55 %



Graf 40 Průběh ohybových momentů spára č. 2-3 při podepření v 1/2 všech nosníků

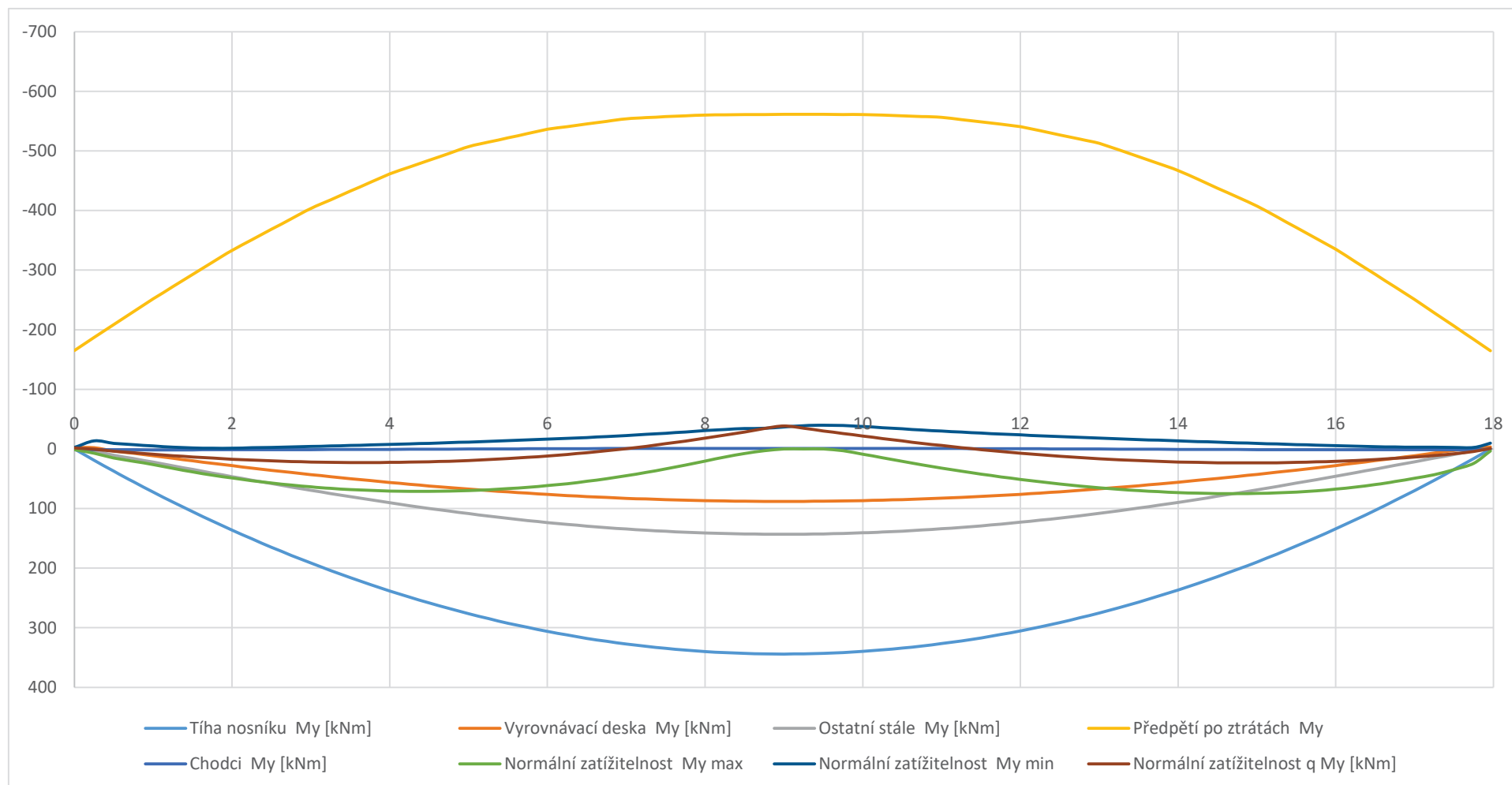


Graf 41 Průběh napětí při časté kombinaci Mmax spára č. 2-3 při podepření v 1/2 všech nosníků

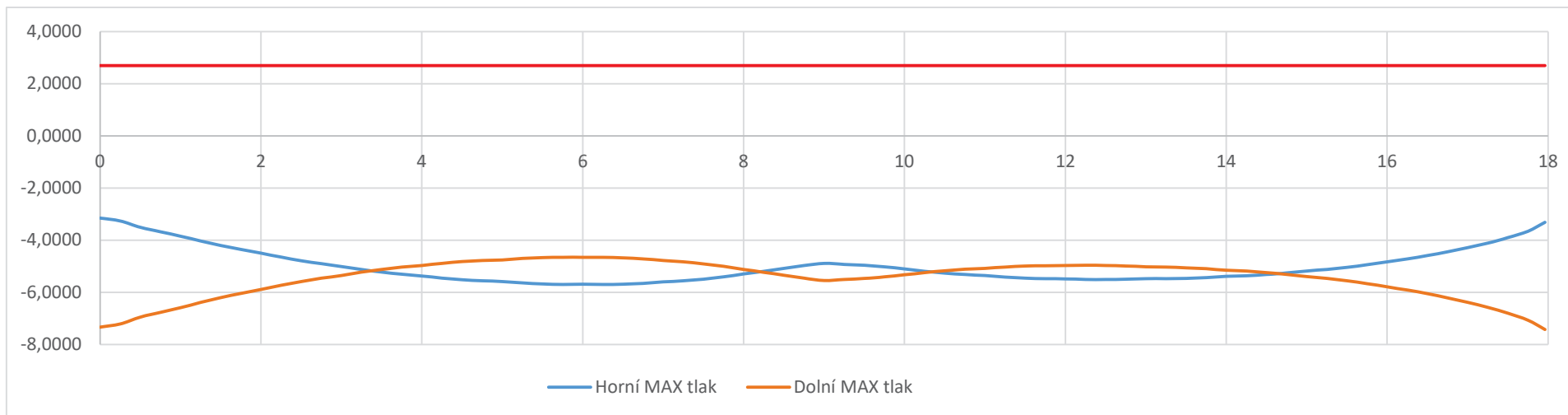


Graf 42 Průběh napětí při časté kombinaci Mmin spára č. 2-3 při podepření v 1/2 všech nosníků

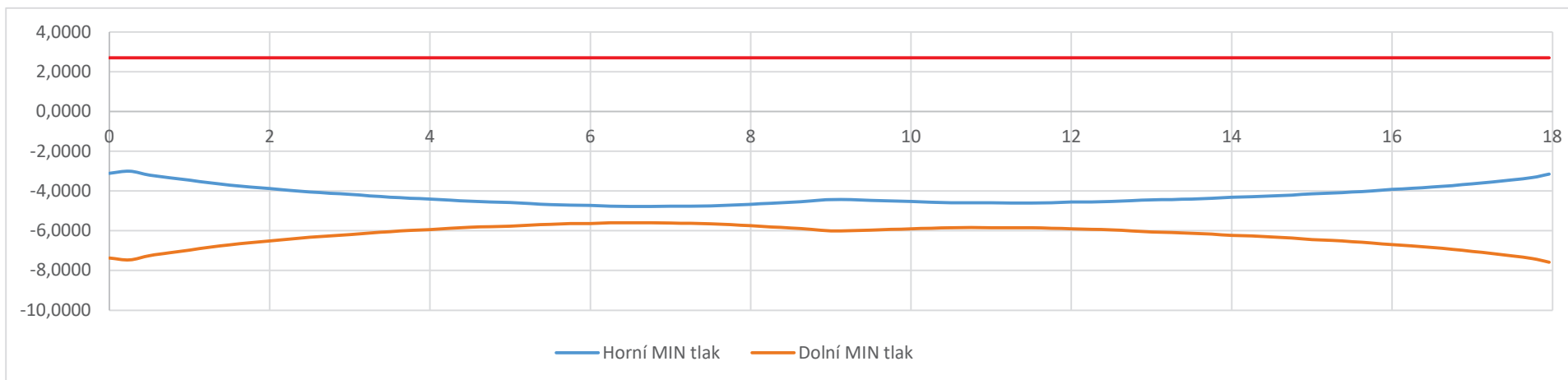
8.3.5 Nosník č. 6 snížení únosnosti 80 %



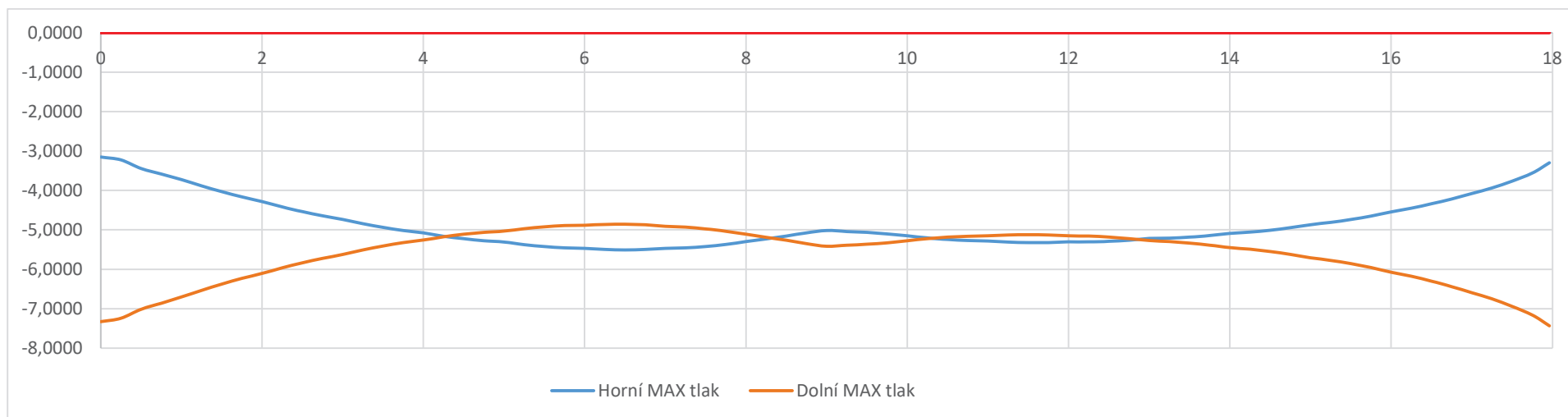
Graf 43 Průběh ohybových momentů nosník č.6 při podepření v 1/2 všech nosníků



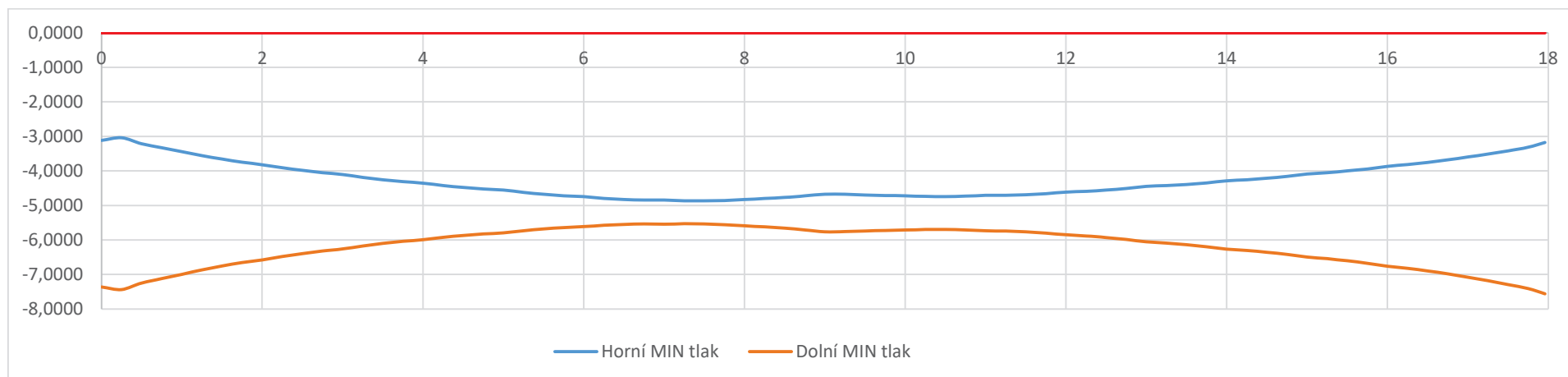
Graf 44 Průběh napětí při charakteristické kombinaci Mmax nosník č. 6 při podepření v 1/2 všech nosníků



Graf 45 Průběh napětí při charakteristické kombinaci Mmin nosník č. 6 při podepření v 1/2 všech nosníků

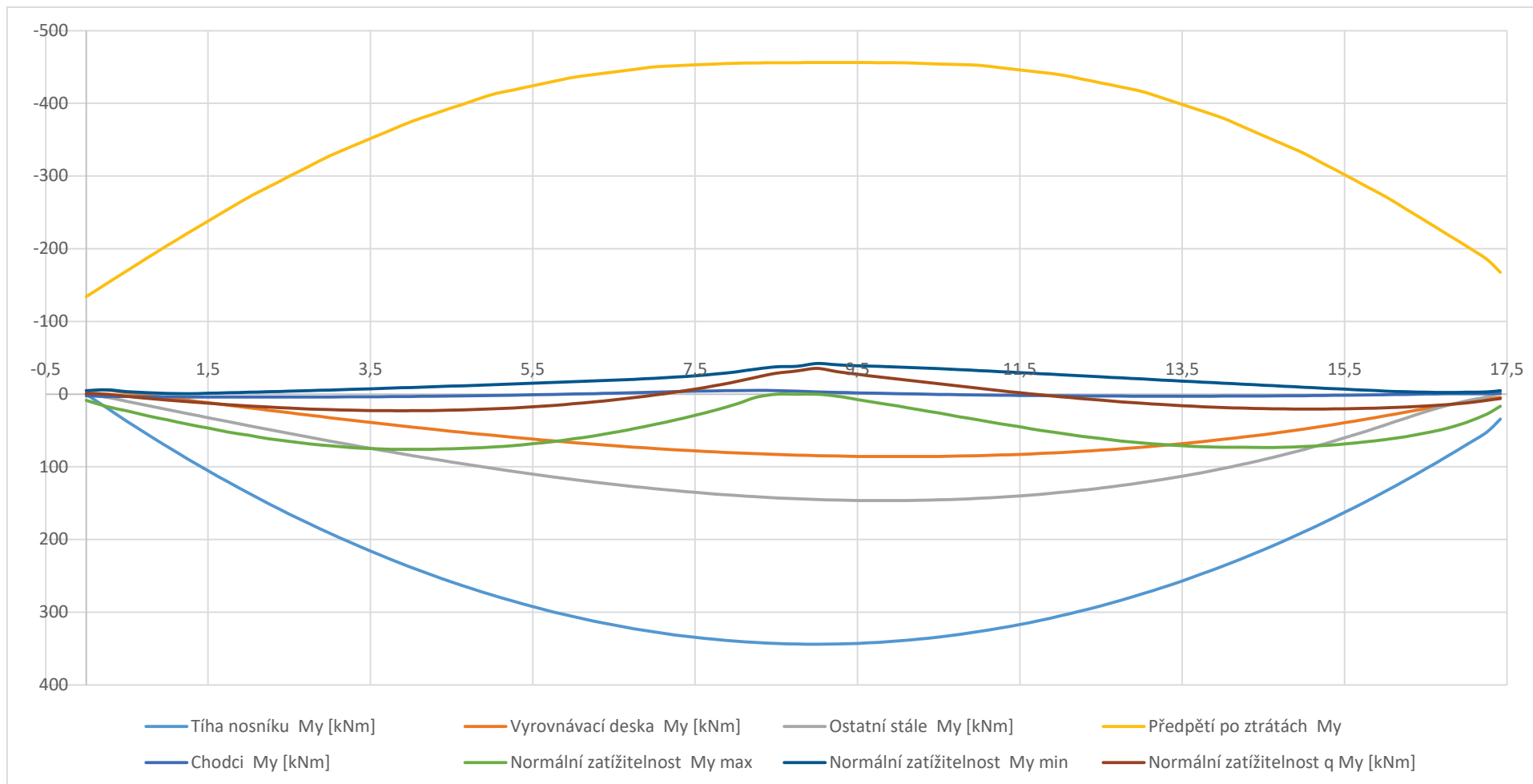


Graf 46 Průběh napětí při časté kombinaci Mmax nosník č. 6 při podepření v 1/2 všech nosníků

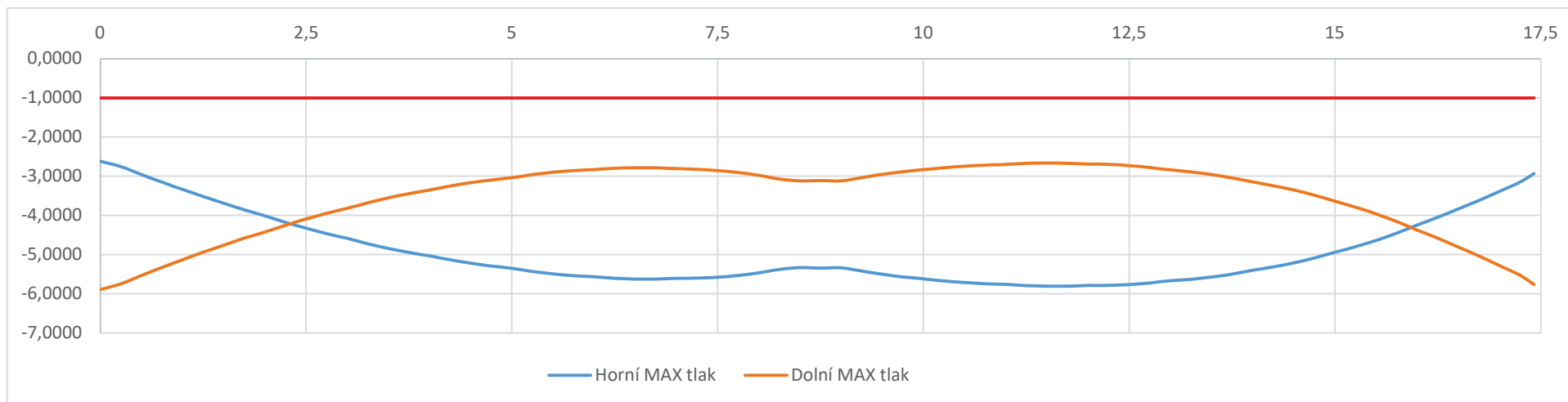


Graf 47 Průběh napětí při časté kombinaci Mmin nosník č. 6 při podepření v 1/2 všech nosníků

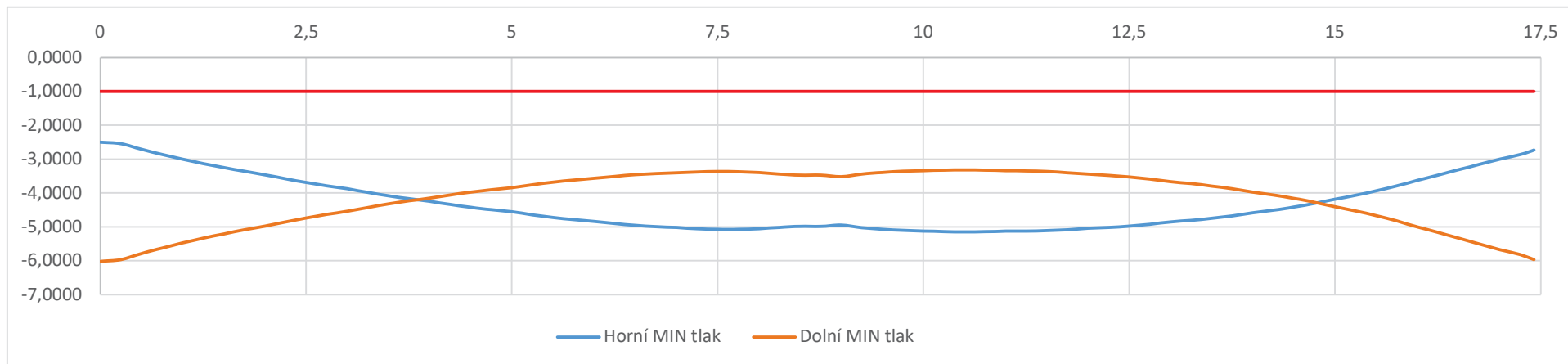
8.3.6 Spára mezi nosníkem č. 9 a č. 10 únosnost 65 %



Graf 48 Průběh ohybových momentů spára č. 9-10 při podepření v 1/2 všech nosníků

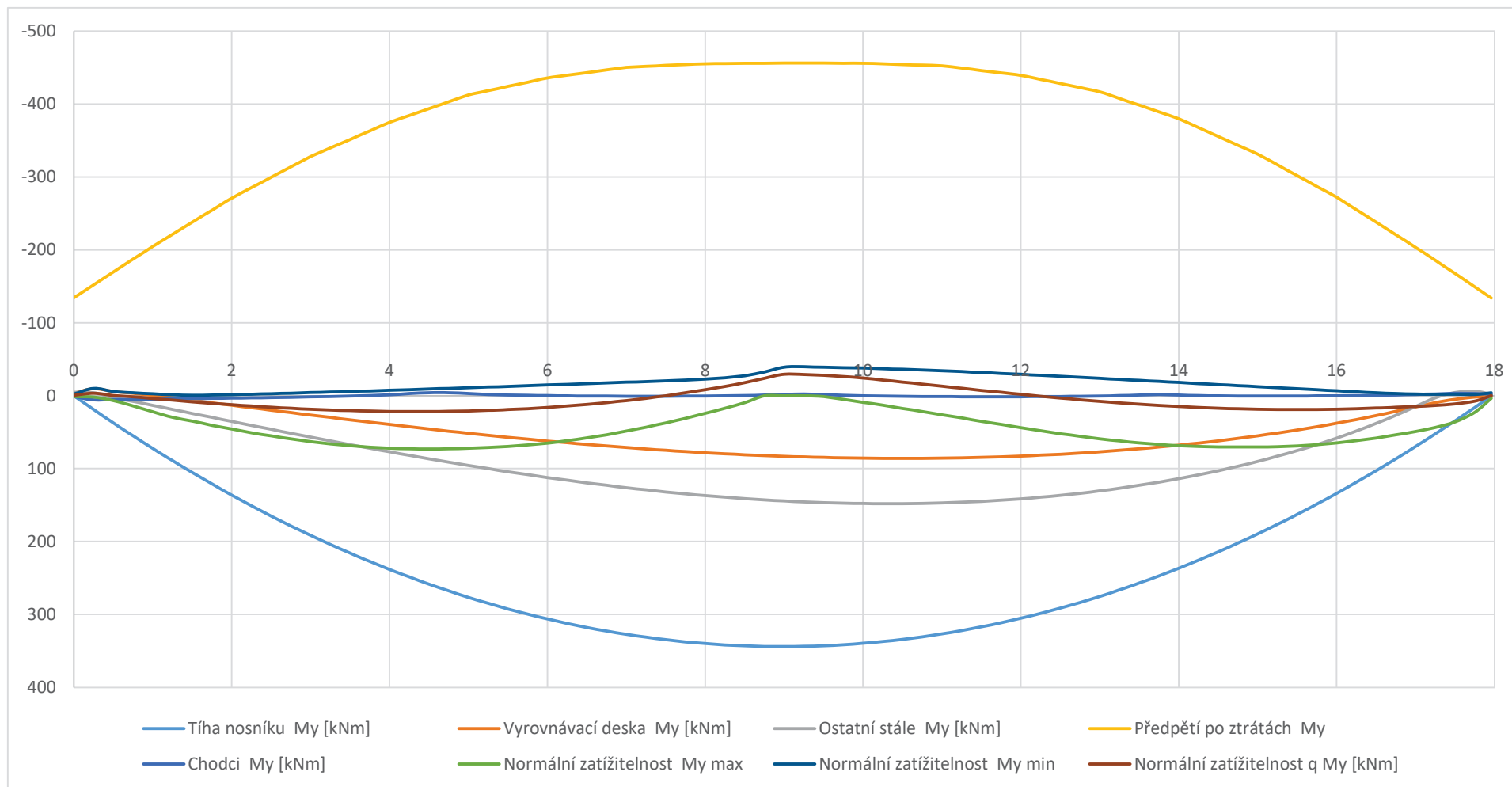


Graf 49 Průběh napětí při časté kombinaci Mmax spára č. 9-10 při podepření v 1/2 všech nosníků

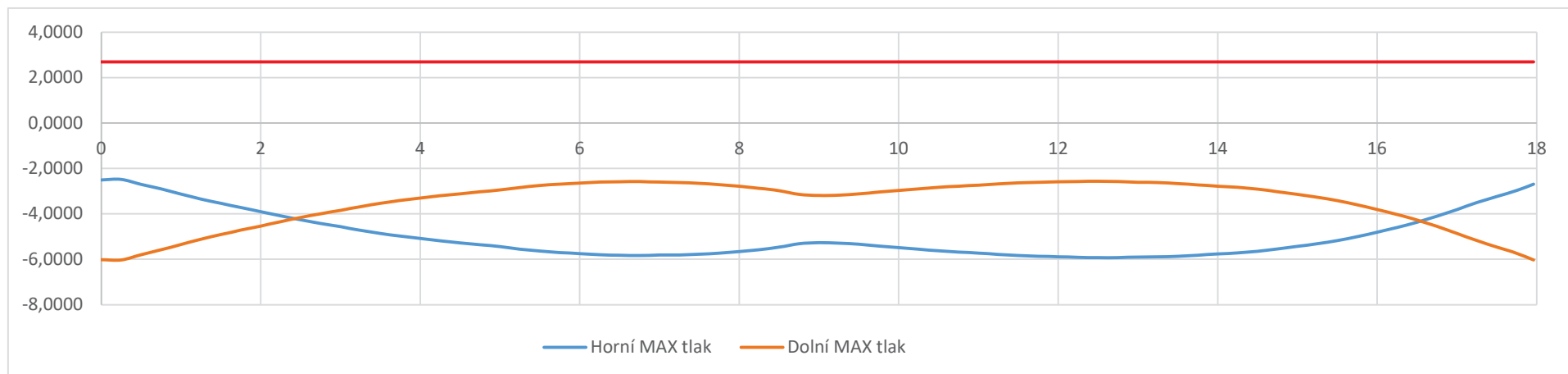


Graf 50 Průběh napětí při časté kombinaci Mmin spára č. 9-10 při podepření v 1/2 všech nosníků

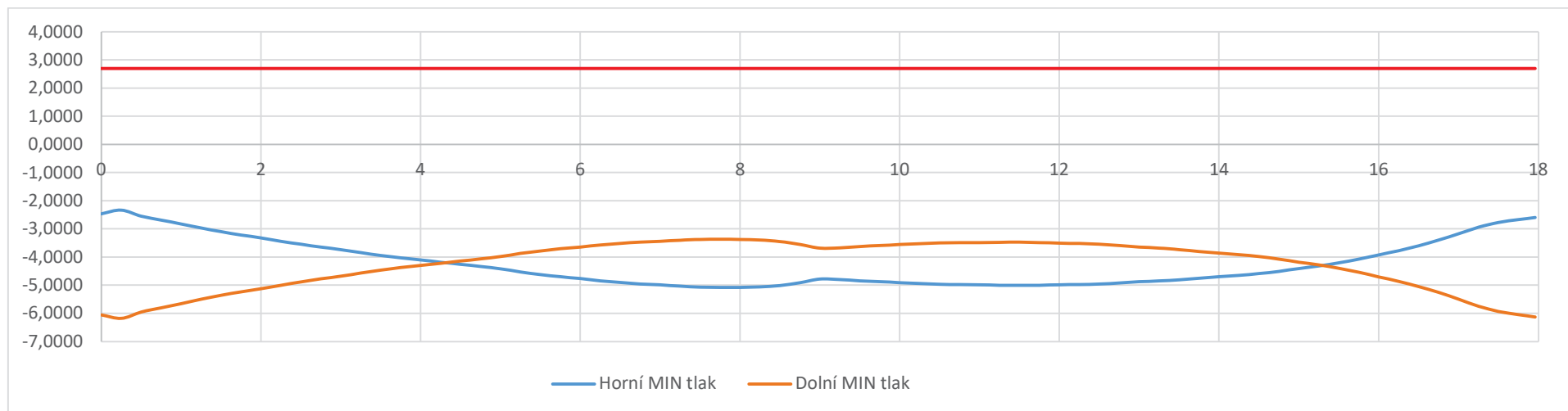
8.3.7 Nosník č. 10 snížení únosnosti 65 %



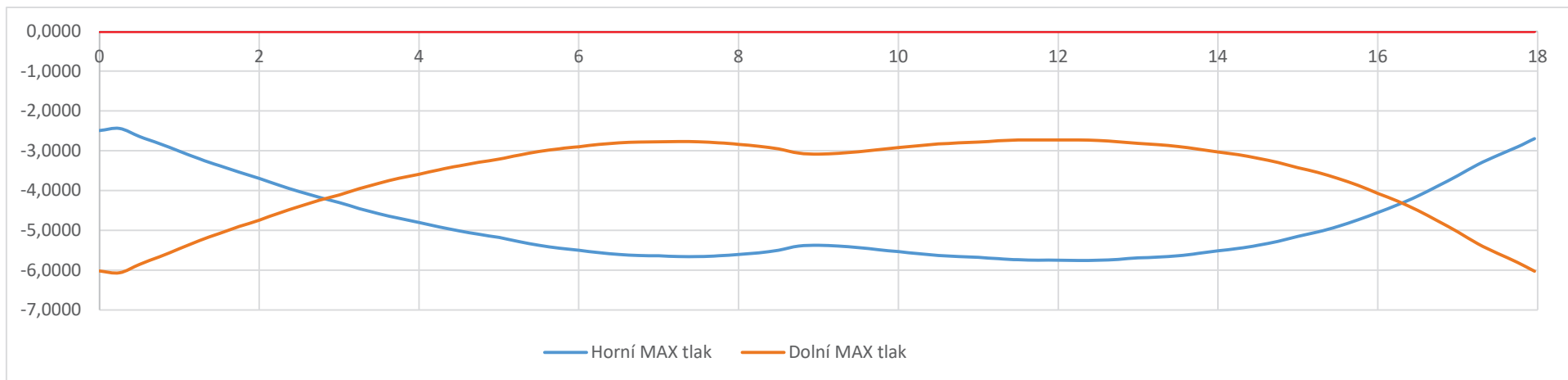
Graf 51 Průběh ohybových momentů nosník č.10 při podepření v 1/2 všech nosníků



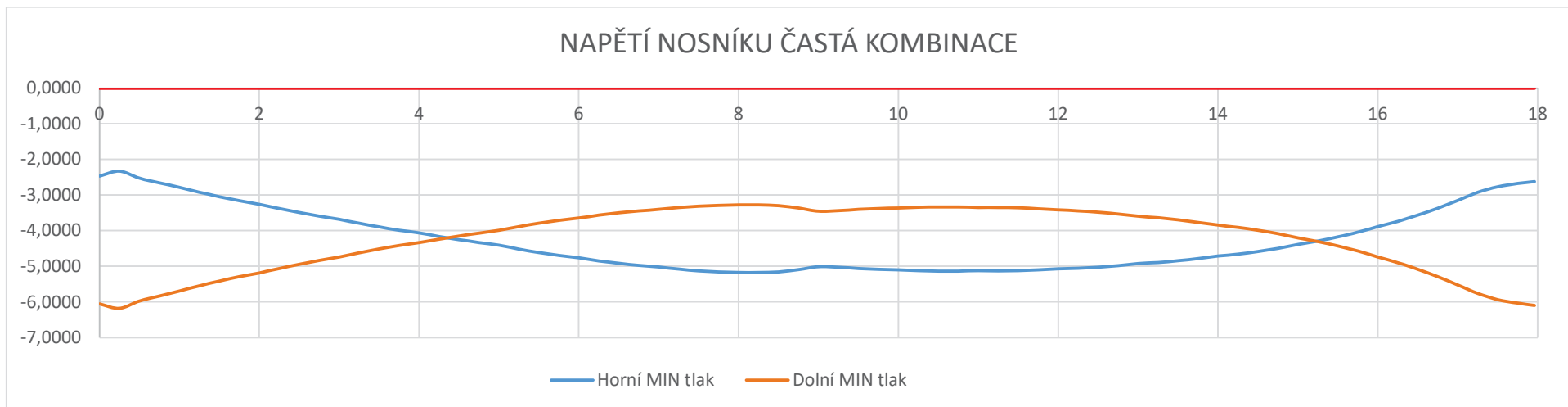
Graf 52 Průběh napětí při charakteristické kombinaci Mmax nosník č. 10 při podepření v 1/2 všech nosníků



Graf 53 Průběh napětí při charakteristické kombinaci Mmin nosník č. 10 při podepření v 1/2 všech nosníků

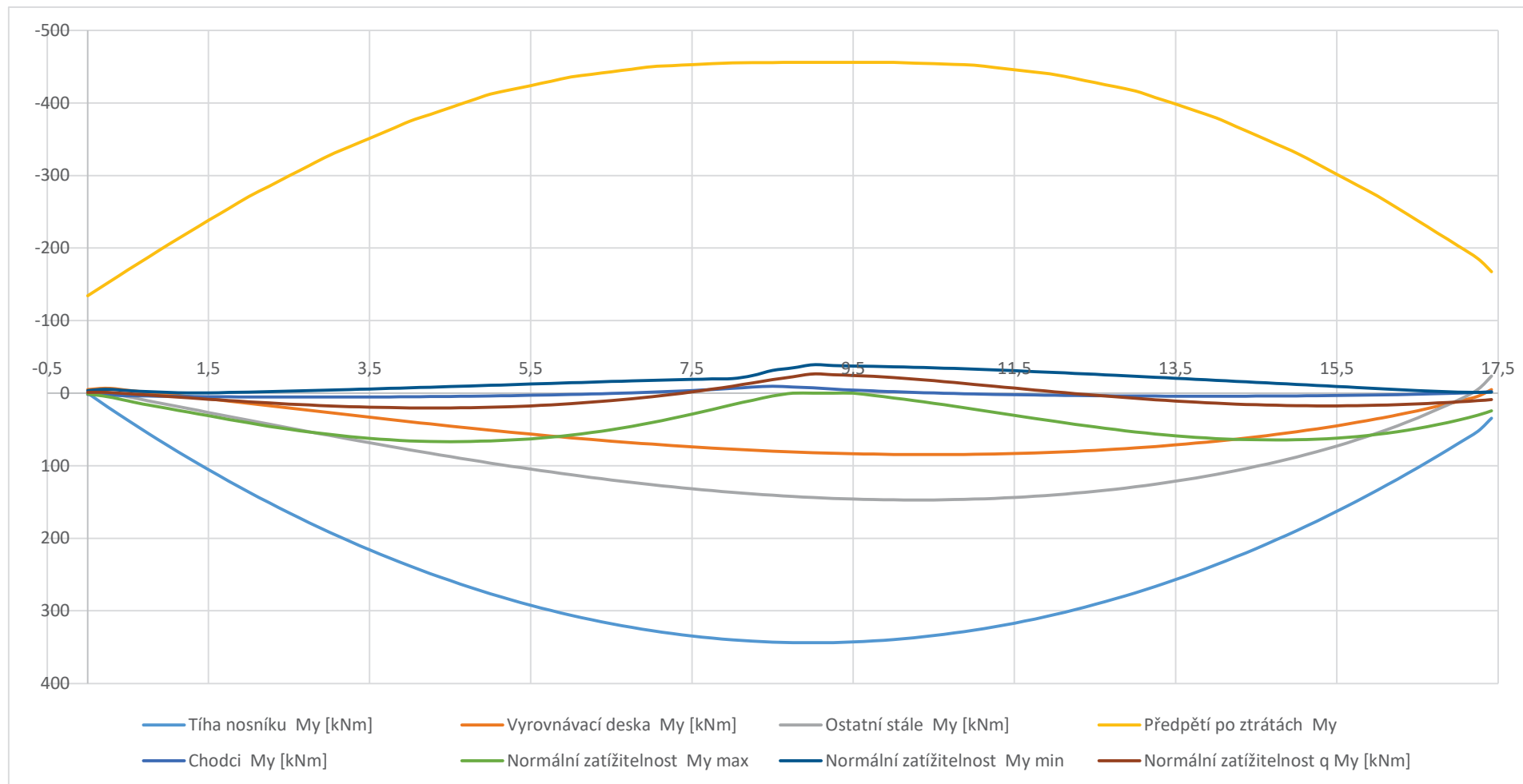


Graf 54 Průběh napětí při časté kombinaci Mmax nosník č. 10 při podepření v 1/2 všech nosníků

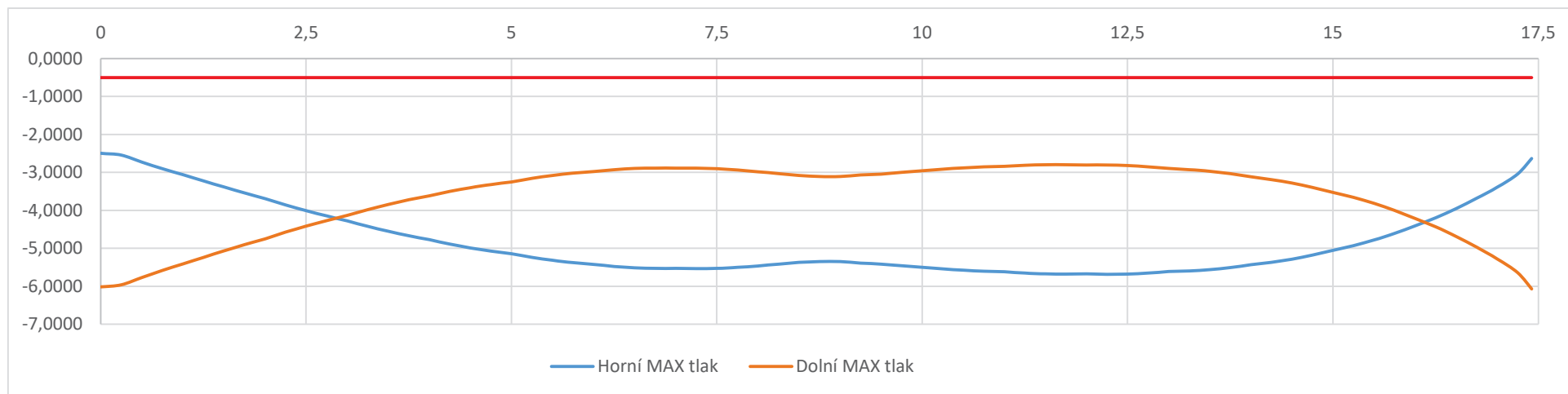


Graf 55 Průběh napětí při časté kombinaci Mmin nosník č. 10 při podepření v 1/2 všech nosníků

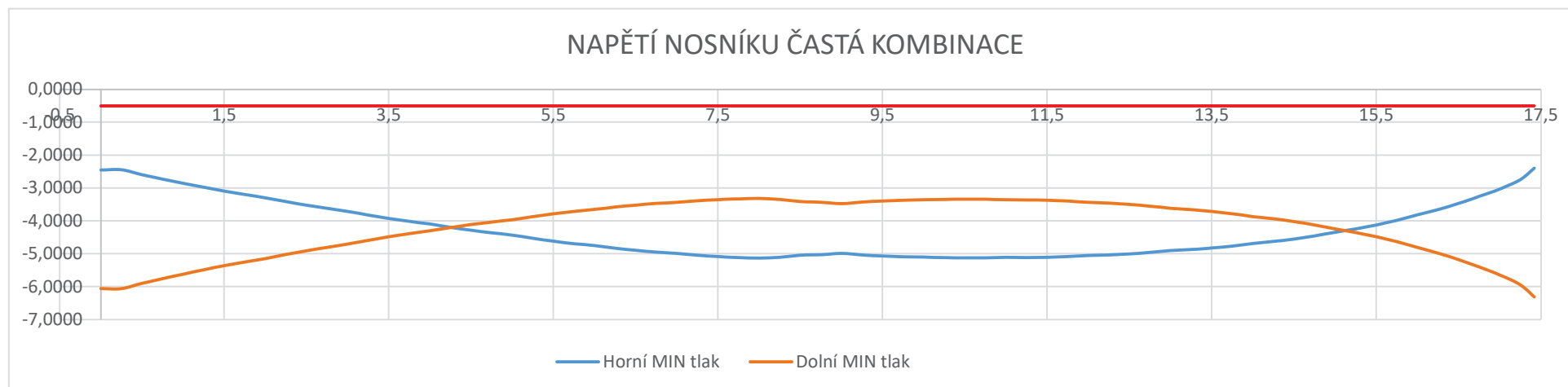
8.3.8 Spára mezi nosníkem č. 10 a č. 11 únosnost 65 %



Graf 56 Průběh ohybových momentů spára č. 10-11 při podepření v 1/2 všech nosníků

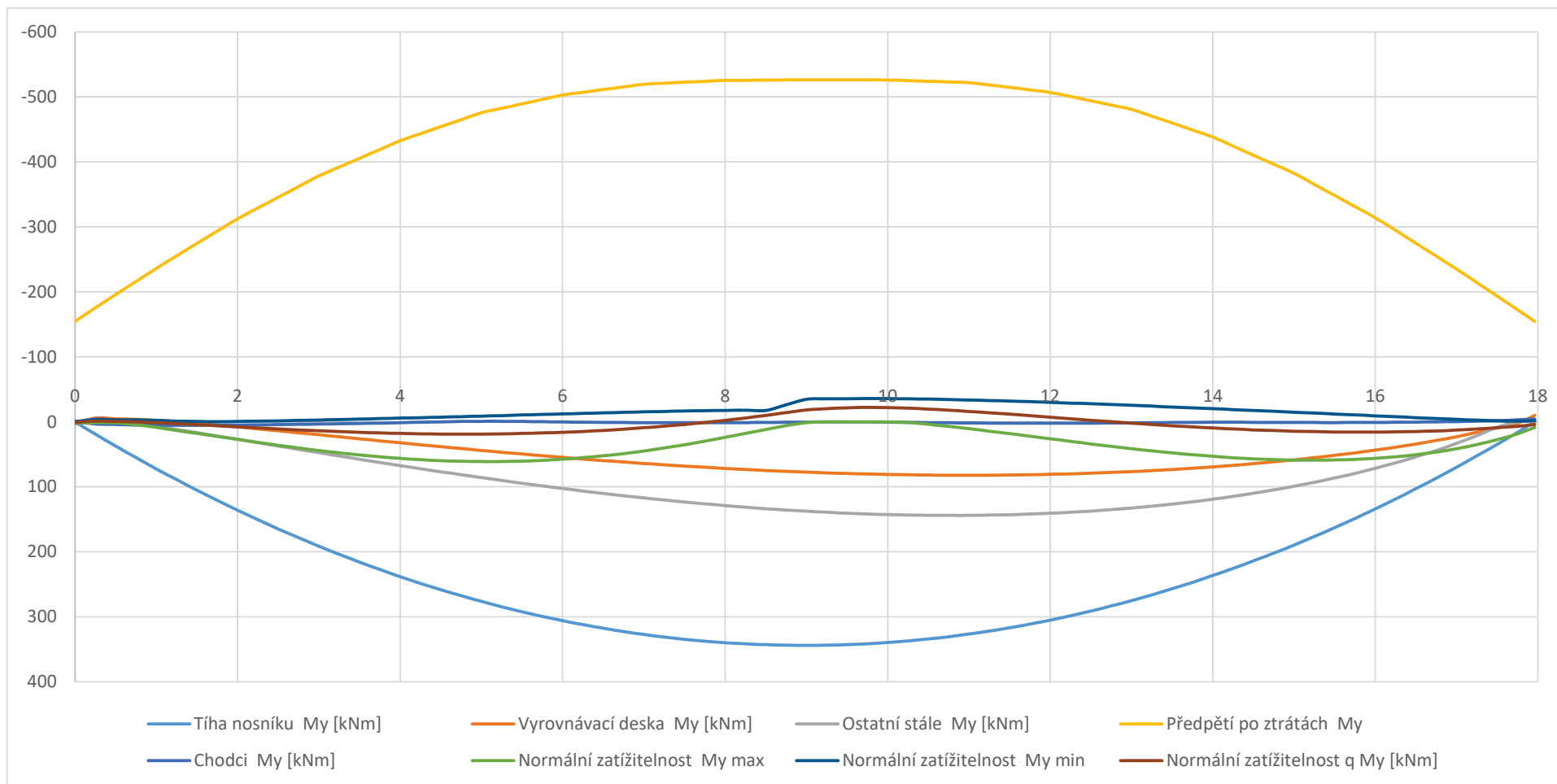


Graf 57 Průběh napětí při časté kombinaci Mmax spára č. 10-11 při podepření v 1/2 všech nosníků

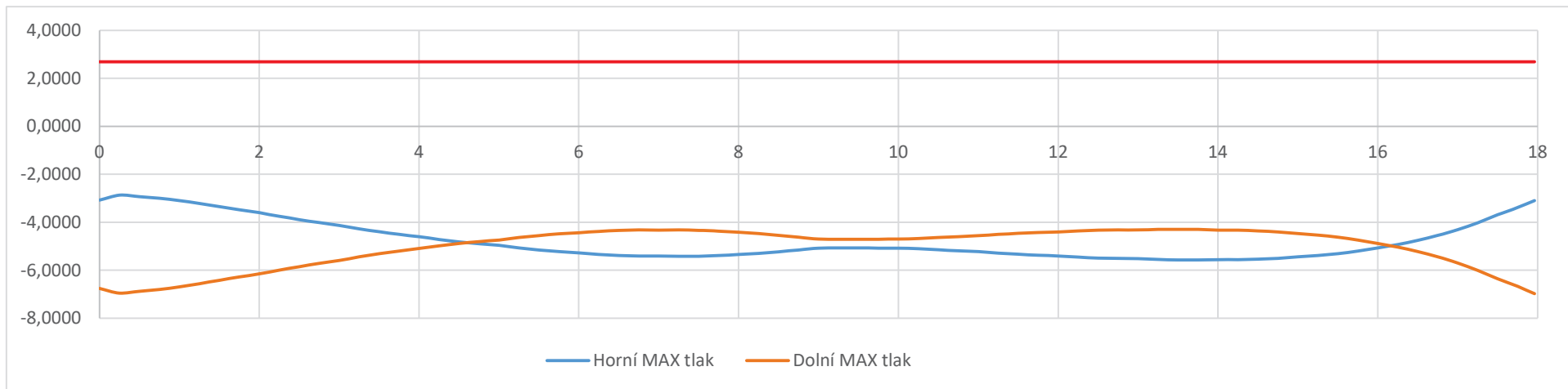


Graf 58 Průběh napětí při časté kombinaci Mmin spára č. 10-11 při podepření v 1/2 všech nosníků

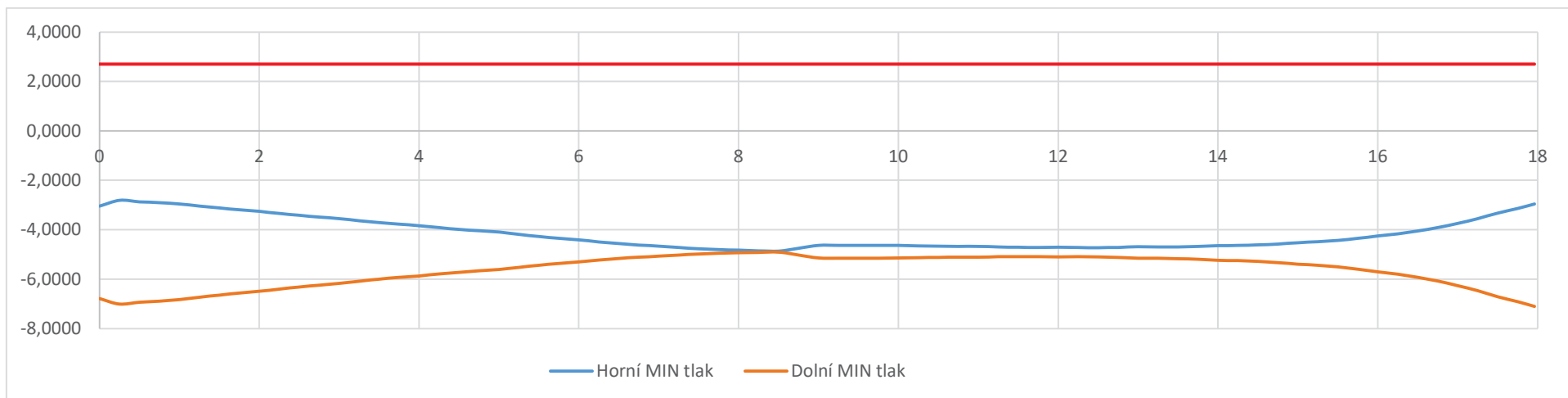
8.3.9 Nosník č. 11 snížení únosnosti 65 %



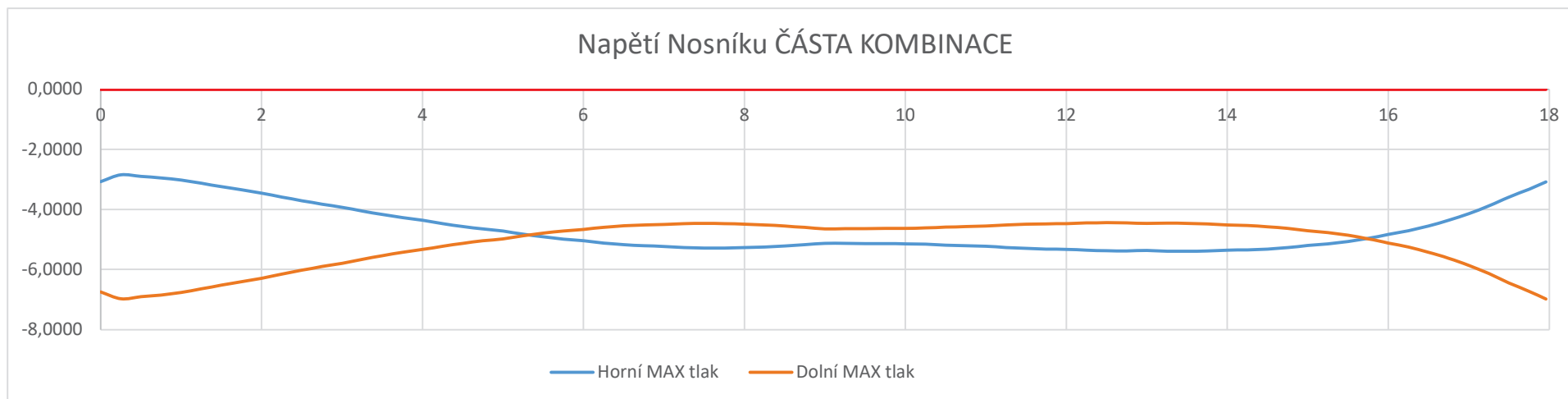
Graf 59 Průběh ohybových momentů nosník č.11 při podepření v 1/2 všech nosníků



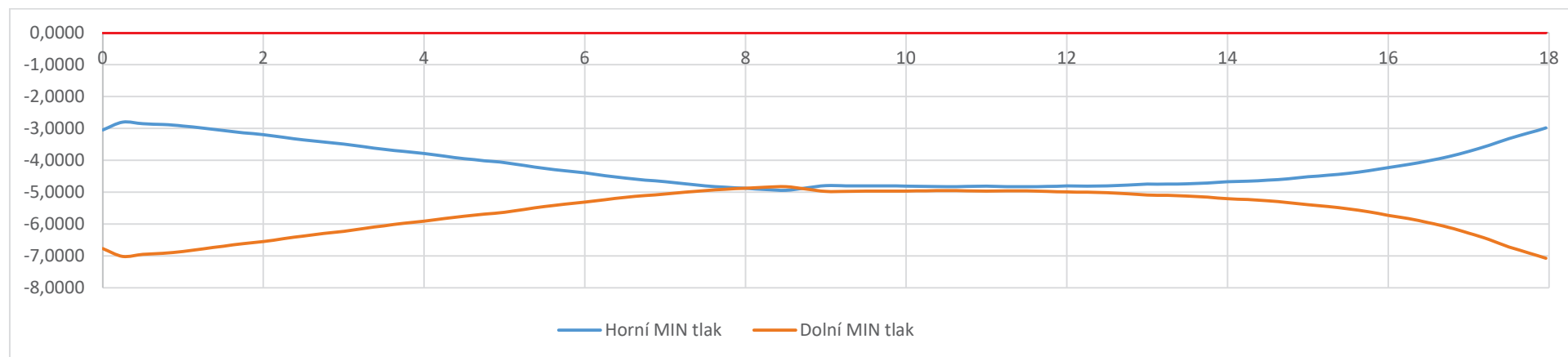
Graf 60 Průběh napětí při charakteristické kombinaci Mmax nosník č. 11 při podepření v 1/2 všech nosníků



Graf 61 Průběh napětí při charakteristické kombinaci Mmin nosník č. 11 při podepření v 1/2 všech nosníků



Graf 62 Průběh napětí při časté kombinaci Mmax nosník č. 11 při podepření v 1/2 všech nosníků



Graf 63 Průběh napětí při časté kombinaci Mmin nosník č. 11 při podepření v 1/2 všech nosníků

8.4 Zhodnocení zatížitelnosti po podepření krajních polí

Po provedení podepření uprostřed krajních polí mostu po celé šířce, byla zvětšena normální zatížitelnost na 32 t, k tomu byla stejným způsobem dopočítána zatížitelnost výhradní a výjimečná. Stanovení maximálních zatížitelností bylo provedeno také pro předchozí nevyhovující návrhy podepření, aby bylo zřejmé, jak se na základě podepření zatížitelnost zvětšuje.

V tabulce číslo 31 je znázorněna zatížitelnost v závislosti na podepření krajního pole:

Most X525 – Krajní pole	Normální zatížitelnost (t)	Výhradní zatížitelnost (t)	Výjimečná zatížitelnost (t)
Dle mimořádné mostní prohlídky	16	35	80
Bez omezení – ověření výpočtem	9	26	53
Podepření nosníku č. 2 a 10 v polovině rozpětí	14	45	90
Podepření nosníku č. 2 a 10 v polovině a čtvrtinách rozpětí	17	66	153
Podepření všech nosníků a spár v polovině rozpětí pole	32	80	189

Tabulka 31 Přehled zatížitelnosti krajních polí v závislosti na podepření

Na tabulce je vidět, že jakmile došlo k podepření pouze jednoho nosníku, tak se zatížitelnost zvětšovala velmi málo, a to na maximálně 17 t normální zatížitelnosti, vlivem spolupůsobení nosníků v příčném směru.

Pokud podepřeme celé pole, tak dojde najednou k vysokému zvětšení zatížitelnosti. Při normální zatížitelnosti se hodnota zvětší až cca 2x oproti bodovému podepření jednotlivých nosníků ve špatném stavu. Následně se velmi zvětší také zatížitelnosti výhradní a výjimečná.

8.5 Návrh podpěrné skruže pro podepření krajních polí

Toto podepření je navrženo na základě reakcí do podpěrné skruže od vlivů dopravy a chodců. Jsou provedeny kombinace reakcí od chodců a normální zatížitelnosti, od chodců a výhradní zatížitelnosti a od výjimečné.

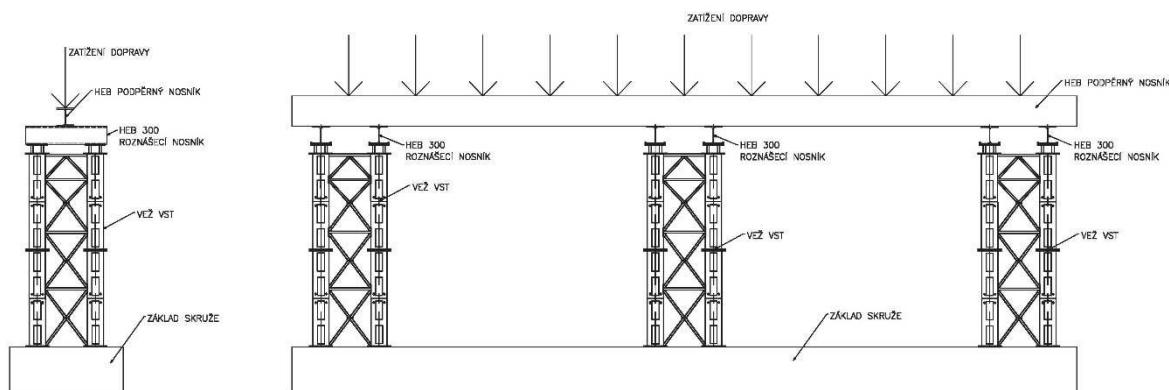
V tabulce č. 32 jsou znázorněny a vypočteny reakce do podpěrné skruže.

Nosník	Chodci (KN)	Normální zatížitelnost		Výhradní zatížitelnost (KN)	Výjimečná zatížitelnost (KN)	Kombinace zatížení		
		q (KN)	Q (KN)			Chodci + Normální zatížitelnost (KN)	Chodci + Výhradní zatížitelnost (KN)	Výjimečná zatížitelnost (KN)
1	27,04	10,344	50,4	80,00	34,65	87,784	107,04	34,65
2	7,55	42,024	93,504	256,67	163,80	143,078	264,22	163,80
3	-2,01	74,256	57,792	148,67	306,60	130,038	146,66	306,60
4	2,3	59,664	69,264	186,67	631,05	131,228	188,97	631,05
5	-0,83	69,528	172,44	192,00	263,55	241,138	191,17	263,55
6	1,42	62,952	24,528	9,33	269,85	88,9	10,75	269,85
7	-0,83	69,6	172,464	192,00	652,05	241,234	191,17	652,05
8	2,29	59,448	69,624	186,67	331,80	131,362	188,96	331,80
9	-2,01	74,544	57,48	148,67	208,95	130,014	146,66	208,95
10	7,49	41,4	93,912	256,67	94,50	142,802	264,16	94,50
11	27,09	10,728	51,72	80,00	59,85	89,538	107,09	59,85

Tabulka 32 Reakce do podpěrné skruže od zatížení dopravou a chodci

8.5.1 Schéma skruže podepření

Jako skruž pro podepření mostu X525 v krajních polích bude použit nosník HEB, který bude nesen věžemi VST, reakci od nosníku HEB budou pro rovnoměrné roznesení zatížení do věží rozneseny přes roznášecí nosníky HEB 300, které budou uloženy v hlavách věží.



Obrázek 70 Schéma podpěrné skruže s použitím věže PERI VST

8.5.2 Návrh a posouzení podpěrného nosníku HEB

V programu SCIA Engineer byl vymodelován podepírající nosník HEB s teoretickým podepřením uprostřed věží. Tato reakce bude následně roznesena do čtyř sloupků věže PERI VST. Na základě průhybů a ohybových momentů, bude navržen nosník HEB 500 a následně posouzen na stav únosnosti a použitelnosti dle normy ČSN EN 1993-1

- Mezní stav únosnosti
 - Ohybový moment pro M_y

$$M_{y,ed} \leq M_{rd}$$

$$M_{rd} = \frac{w_y \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

- Smyk pro V_z

$$V_{z,ed} \leq V_{z,rd}$$

$$V_{z,rd} = \frac{A_v \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}}$$

$$\frac{V_{z,ed}}{V_{z,rd}} \geq 0,5 = \text{velký smyk} \rightarrow \text{interakce ohyb smyk}$$

- Interakce smyk a ohyb

$$M_{y,ed} \leq M_{V,y,rd}$$

$$M_{V,y,rd} = \min \left\{ \frac{[W_{pl,y} - \rho_z \cdot (h_w \cdot t_w)]^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \right\}$$

$$\rho_z = \left(\frac{2 \cdot V_{z,ed}}{V_{z,rd}} - 1 \right)^2$$

- Posouzení stability (klopení)

$$M_{y,ed} \leq M_{b,rd}$$

$$M_{b,rd} = \chi_{LT,mod} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$\chi_{LT,mod} = \min\left(\frac{\chi_{LT}}{f}; 1\right)$$

$$f = \min\{1 - 0,5 \cdot (1 - k_c) \cdot [1 - 2 \cdot (\lambda_{rel,LT} - 0,8)^2]; 1\}$$

$$\chi_{LT} = \min\left(\frac{1}{\varphi_{LT} + \sqrt{\varphi_{LT}^2 - \beta \cdot \lambda_{rel,LT}^2}}; \frac{1}{\lambda_{rel,LT}^2}; 1\right)$$

$$\lambda_{rel,LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{I_{LT}^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{I_{LT}^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j)^2} - (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j) \right] - 1,35$$

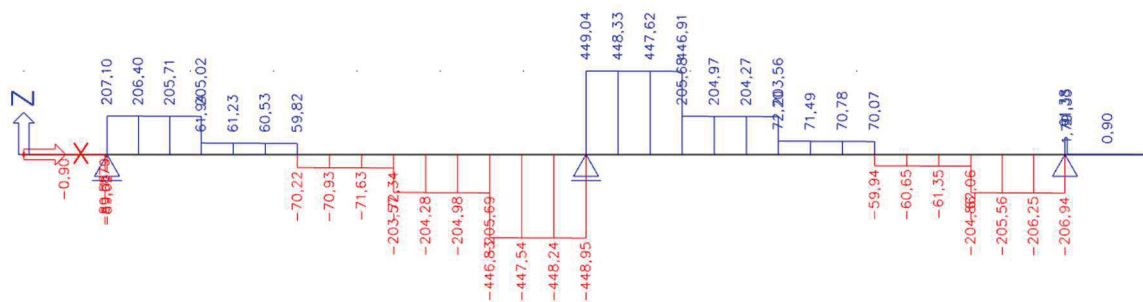
- Mezní stav použitelnosti

$$\delta \leq \delta_{Max}$$

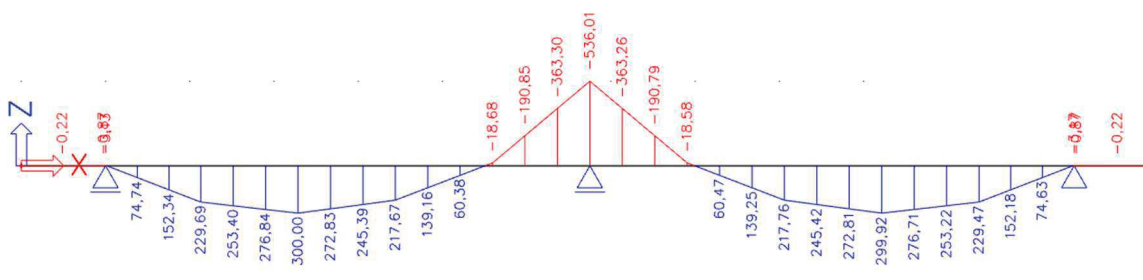
$$\delta_{Max} = \frac{L}{400}$$

1) Návrh HEB 500 podepření 3x věž VST

- Vnitřní síly od zatížení chodci a doprava normální zatížitelnosti + vlastní tíhy

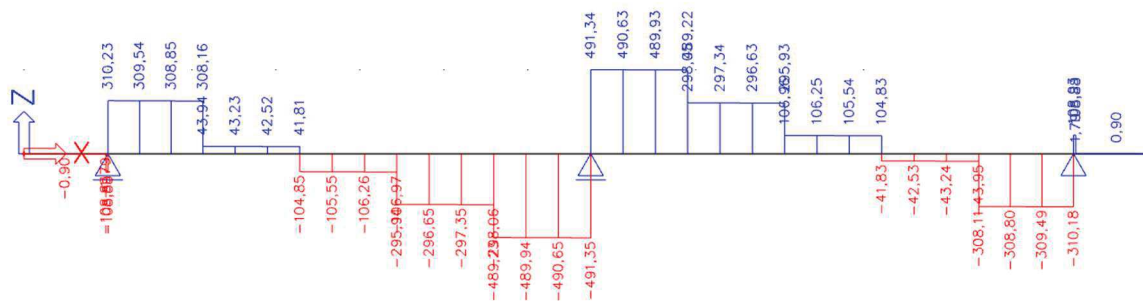


Obrázek 71 Posouvající síla V_z od zatížení vlastní tíha + doprava (chodci a normální zatížitelnost)

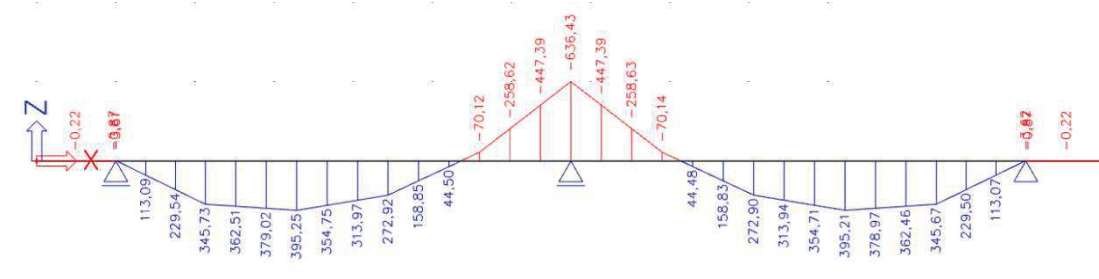


Obrázek 72 Ohybový moment od zatížení vlastní tíha + doprava (chodci a normální zatížitelnost)

- Vnitřní síly od zatížení chodci a doprava výhradní zatížitelnosti + vlastní tíhy

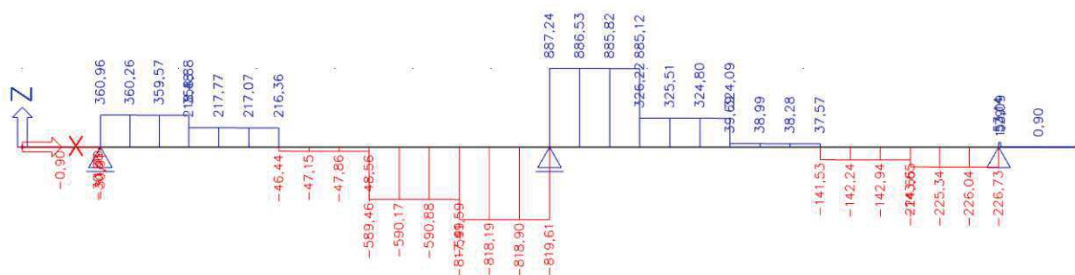


Obrázek 73 Posouvající síla V_z od zatížení vlastní tíha + doprava (chodci a výhradní zatížitelnost)

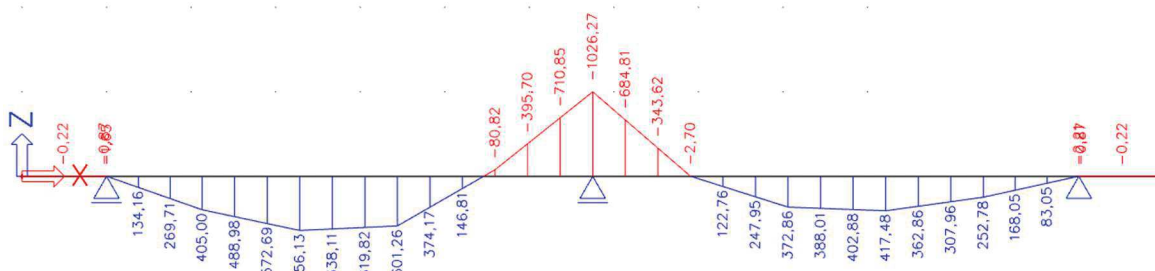


Obrázek 74 Ohybový moment od zatížení vlastní tíha + doprava (chodci a výhradní zatížitelnost)

- Vnitřní síly od zatížení výjimečné zatížitelnosti + vlastní tíhy



Obrázek 75 Posouvající síla V_z od zatížení vlastní tíha + doprava (chodci a výjimečná zatížitelnost)



Obrázek 76 Ohybový moment od zatížení vlastní tíha + doprava (chodci a výjimečná zatížitelnost)

- Posouzení mezního stavu únosnosti
 - Ohybový moment pro M_y

$$M_{rd} = \frac{4,815 \cdot 10^{-3} \cdot 235,0}{1,0} = 1131,53 \text{ (KNm)}$$

1026,27 \leq 1131,53 KNm Vyhovuje

$$\frac{1026,27}{1131,53} = 0,90 \leq 1,00$$

- Smyk pro V_z

$$V_{z,ed} \leq V_{z,rd}$$

$$V_{z,rd} = \frac{8,978 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{235}{\sqrt{3}}}{1,0}$$

880,91 \leq 1218,11 KN Vyhovuje

$$\frac{880,91}{1218,11} = 0,72 \geq 0,5 = \text{velký smyk} \rightarrow \text{interakce ohyb smyk}$$

- Interakce smyk a ohyb

$$\rho_z = \left(\frac{2 \cdot 880,91}{1218,11} - 1 \right)^2 = 0,2$$

$$M_{V,y,rd} = \min \left\{ \frac{[4,815 \cdot 10^{-3} - 0,2 \cdot (444 \cdot 14)^2 \cdot 235]}{1,00}; 1131,53 \right\} = 1098,07 \text{ KNm}$$

1019,34 ≤ 1098,047 KNm Vyhovuje

$$\frac{1026,27}{1098,047} = 0,93 \leq 1,00$$

- Posouzení stability (klopení)

$$M_{cr} = 1,35 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 1,262 \cdot 10^{-4}}{13,500^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{1,0}{1,0} \right)^2 \cdot \frac{7,0177 \cdot 10^{-6}}{1,262 \cdot 10^{-4}} + \frac{13,5^2 \cdot 80769,2 \cdot 5,384 \cdot 10^{-6}}{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 1,262 \cdot 10^{-4}} + (0,63 \cdot 0 - 0,41 \cdot 0)^2} \right]$$

$$M_{cr} = 1158,54 \text{ KNm}$$

$$\chi_{rel,LT} = \sqrt{\frac{4,815 \cdot 10^{-3} \cdot 235}{1158,54}} = 0,99$$

$$\chi_{LT} = \min \left(\frac{1}{0,97 + \sqrt{0,97^2 - 0,75 \cdot 0,99^2}}; \frac{1}{0,99^2}; 1 \right) = \min(0,71; 1,02; 1,0) = 0,71$$

$$f = \min\{1 - 0,5 \cdot (1 - 0,86) \cdot [1 - 2 \cdot (0,99 - 0,8)^2]; 1\} = \min(0,94; 1) = 0,94$$

$$\chi_{LT,mod} = \min \left(\frac{0,71}{0,94}; 1 \right) = 0,76$$

$$M_{b,rd} = 0,76 \cdot 4,815 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{235}{1,0} = 854,88$$

1019,34 ≤ 854,88 KNm Nevyhovuje

$$\frac{1026,27}{854,88} = 1,19 \leq 1,00$$

- Mezní stav použitelnosti

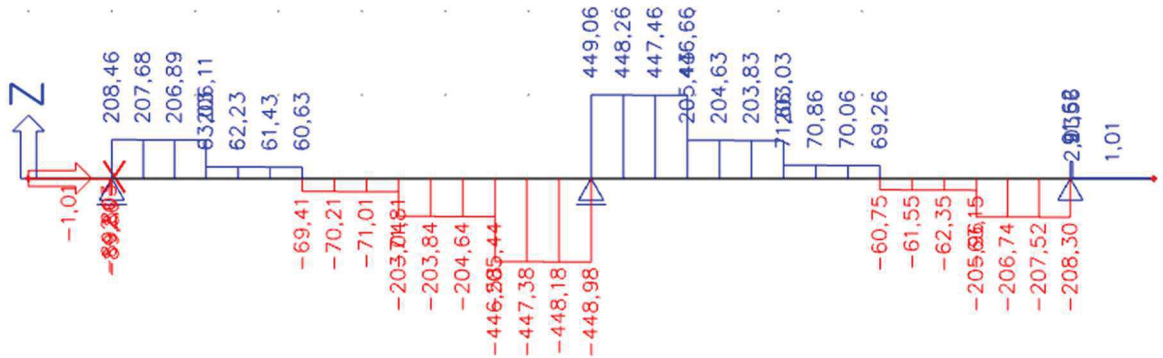
$$\delta_{Max} = \frac{5,75 \cdot 10^{-3}}{400}$$

9,6 ≤ 14,4 mm Vyhovuje

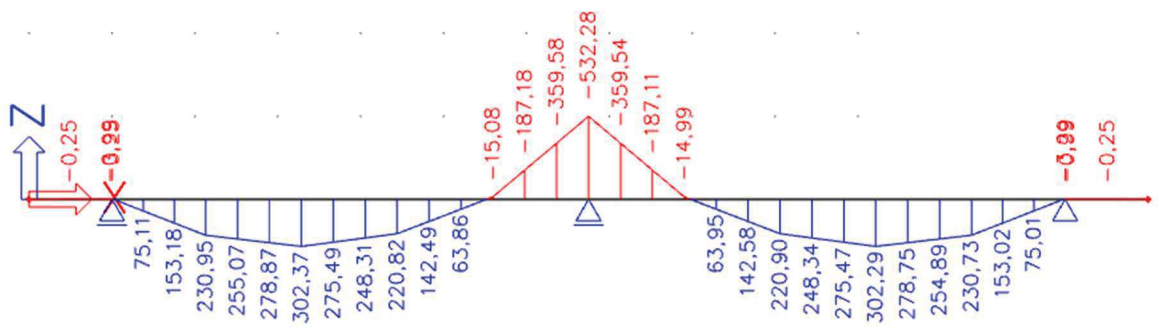
Navržený nosník HEB 500 je nevyhovující na klopení, proto bude proveden nový návrh podpěrného nosníku HEB 600 a znovu provedeno posouzení.

2) Návrh HEB 600 podepření 3x věž VST

- Vnitřní síly od zatížení chodci a doprava normální zatížitelnosti + vlastní tíhy

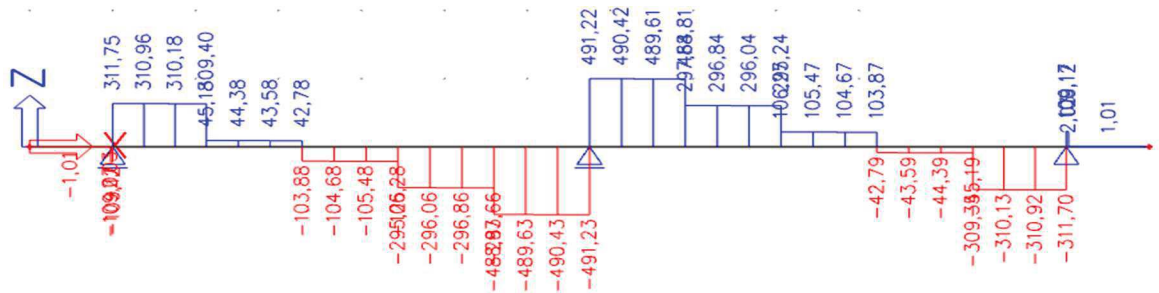


Obrázek 77 Posouvající síla V_z od zatížení vlastní tíha + doprava (chodci a normální zatížitelnost)

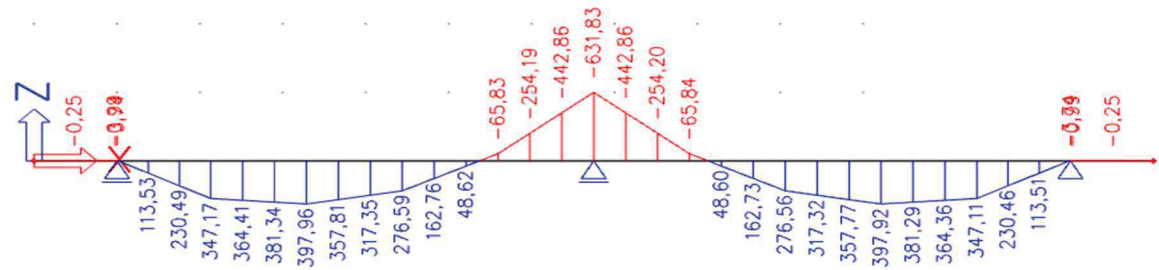


Obrázek 78 Ohybový moment od zatížení vlastní tíha + doprava (chodci a normální zatížitelnost)

- Vnitřní síly od zatížení chodci a doprava výhradní zatížitelnosti + vlastní tíhy

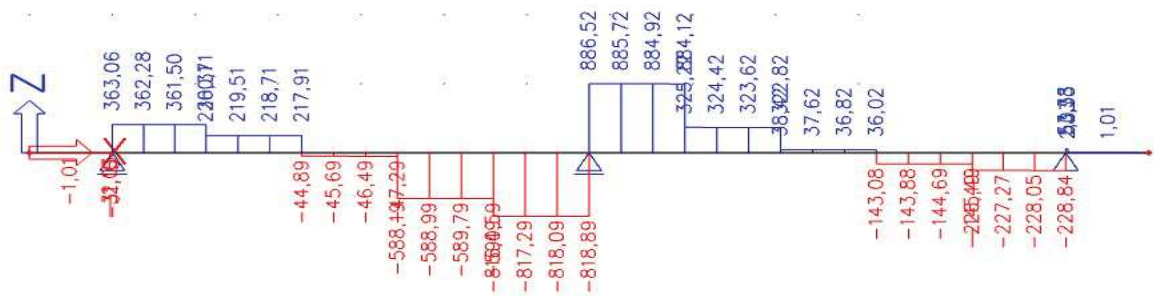


Obrázek 79 Posouvající síla V_z od zatížení vlastní tíha + doprava (chodci a výhradní zatížitelnost)

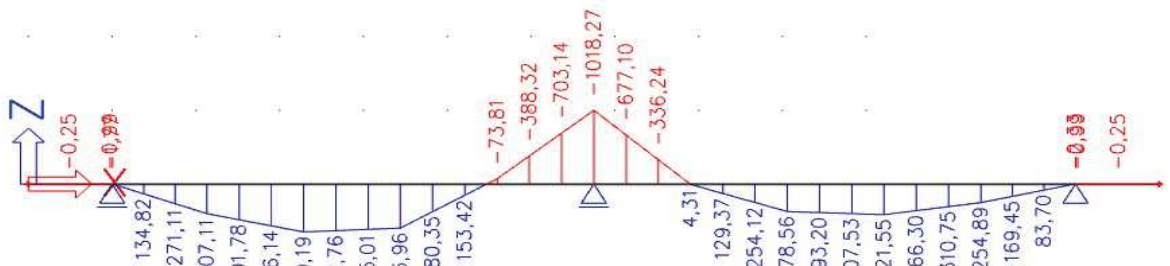


Obrázek 80 Ohybový moment od zatížení vlastní tíha + doprava (chodci a výhradní zatížitelnost)

- Vnitřní síly od zatížení výjimečné zatížitelnosti + vlastní tíhy



Obrázek 81 Posouvající síla V_z od zatížení vlastní tíha + doprava (chodci a výjimečná zatížitelnost)



Obrázek 82 Ohybový moment od zatížení vlastní tíha + doprava (chodci a výjimečná zatížitelnost)

- Posouzení mezního stavu únosnosti
 - Ohybový moment pro M_y

$$M_{rd} = \frac{6,425 \cdot 10^{-3} \cdot 235,0}{1,0} = 1509,88 \text{ (KNm)}$$

$$1018,27 \leq 1509,88 \text{ KNm Vyhovuje}$$

$$\frac{1018,27}{1509,88} = 0,67 \leq 1,00$$

- Smyk pro V_z

$$V_{z,ed} \leq V_{z,rd}$$

$$V_{z,rd} = \frac{1,1085 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{235}{\sqrt{3}}}{1,0}$$

$$886,52 \leq 1503,98 \text{ KN Vyhovuje}$$

$$\frac{886,52}{1503,98} = 0,72 \geq 0,5 = \text{velký smyk} \rightarrow \text{interakce ohyb smyk}$$

- Interakce smyk a ohyb

$$\rho_z = \left(\frac{2 \cdot 886,52}{1503,98} - 1 \right)^2 = 0,03$$

$$M_{V,y,rd} = \min \left\{ \frac{\left[6,425 \cdot 10^{-3} - 0,03 \cdot \frac{(540 \cdot 16)^2}{4 \cdot 16} \right] \cdot 235}{1,00}; 1509,88 \right\} = 1502,26 \text{ KNm}$$

1019,34 ≤ 1502,26 KNm Vyhovuje

$$\frac{1019,34}{1502,26} = 0,67 \leq 1,00$$

- Posouzení stability (klopení)

$$M_{cr} = 1,35 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 1,353 \cdot 10^{-4}}{13,500^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{1,0}{1,0} \right)^2 \cdot \frac{1,0965 \cdot 10^{-5}}{1,353 \cdot 10^{-4}} + \frac{13,5^2 \cdot 80769,2 \cdot 6,672 \cdot 10^{-6}}{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 1,353 \cdot 10^{-4}} + (0,63 \cdot 0 - 0,41 \cdot 0)^2} \right]$$

$$M_{cr} = 1362,12 \text{ KNm}$$

$$\chi_{rel,LT} = \sqrt{\frac{6,425 \cdot 10^{-3} \cdot 235}{1362,12}} = 1,05$$

$$\chi_{LT} = \min \left(\frac{1}{1,03 + \sqrt{1,03^2 - 0,75 \cdot 1,05^2}}; \frac{1}{1,05^2}; 1 \right) = \min(0,67; 0,9; 1,0) = 0,67$$

$$f = \min\{1 - 0,5 \cdot (1 - 0,86) \cdot [1 - 2 \cdot (0,99 - 0,8)^2]; 1\} = \min(0,94; 1) = 0,94$$

$$\chi_{LT,mod} = \min \left(\frac{0,67}{0,94}; 1 \right) = 0,71$$

$$M_{b,rd} = 0,71 \cdot 6,425 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{235}{1,0} = 1072,42 \text{ KN}$$

1019,34 ≤ 1072,42 KNm Nevyhovuje

$$\frac{1019,34}{1072,42} = 0,94 \leq 1,00$$

- Mezní stav použitelnosti

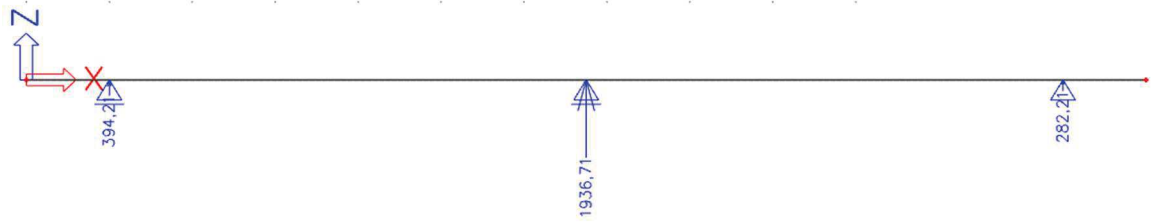
$$\delta_{Max} = \frac{5,75 \cdot 10^{-3}}{400}$$

6,4 ≤ 14,4 mm Vyhovuje

Návrh podpěrného nosníku z HEB 600 podepřeného třemi věžemi VST je vyhovující. Následně na reakce do podpěr byly navrženy PERI VST věže a založení skruže.

8.5.3 Návrh podpěrných věží PERI VST

Na základě reakcí od podpěrného nosníku HEB 600 a dopravy včetně chodců, byly navrženy podpěrné věže PERI VST.



Obrázek 83 Maximální reakce do podpěrné věže PERI VST

Každá reakce se přes dvojici ocelových válcovaných profilů HEB 300 redistribuje do čtyř sloupků podpěrné věže PERI VST. Pro návrh vysokopevnostní věže PERI VST byla použita největší reakce od podpěrného nosníku.

$$R_{max} = 1936,71 \text{ KN}$$

$$\frac{R_{max}}{4} = 484,178 \text{ KN}$$

- Vlastní tíha roznášecího roštu 2x HEB 300 délky 1,5 m

$$G_{HEB\ 300} = 117 \text{ Kg/m}$$

$$R_{rošt} = \frac{117 \cdot 2,6 \cdot 2}{4 \cdot 100} = 1,521 \text{ KN}$$

$$R_{výsledná} = 485,7 \text{ KN}$$

Posouzení věže PERI VST bylo provedeno na základě únosnosti věže v závislosti na výšce věže viz. obr. č.80 Výška věže $h = 3,25 \text{ m}$



Obrázek 84 Tabulka pro posouzení věže PERI VST

$$R_{výsledná} \leq R_{max}$$

$$485,700 \leq 700 \text{ KN vyhovuje}$$

8.6 Návrh založení podpěrné skruže

Z důvodu neznámých základových poměrů se zemina uvažuje jako zemina s únosností $R_{dt} = 250 \text{ KPa}$. Bude navržen základ ze dvou na sobě položených ŽB panelů o tl. 150 mm. První vrstva panelů bude oproti druhé vrstvě otočena o 90 stupňů. Panely budou položeny po strhnutí ornice a výměnou podloží (šterkový polštář) o mocnosti 300 mm. Na zhutněném šterkovém polštáři bude provedena statická zatěžovací zkouška s parametry $E_{def2}=45 \text{ MPA}$ a poměrem $E_{def1}/E_{def2}=2,5$ (-)

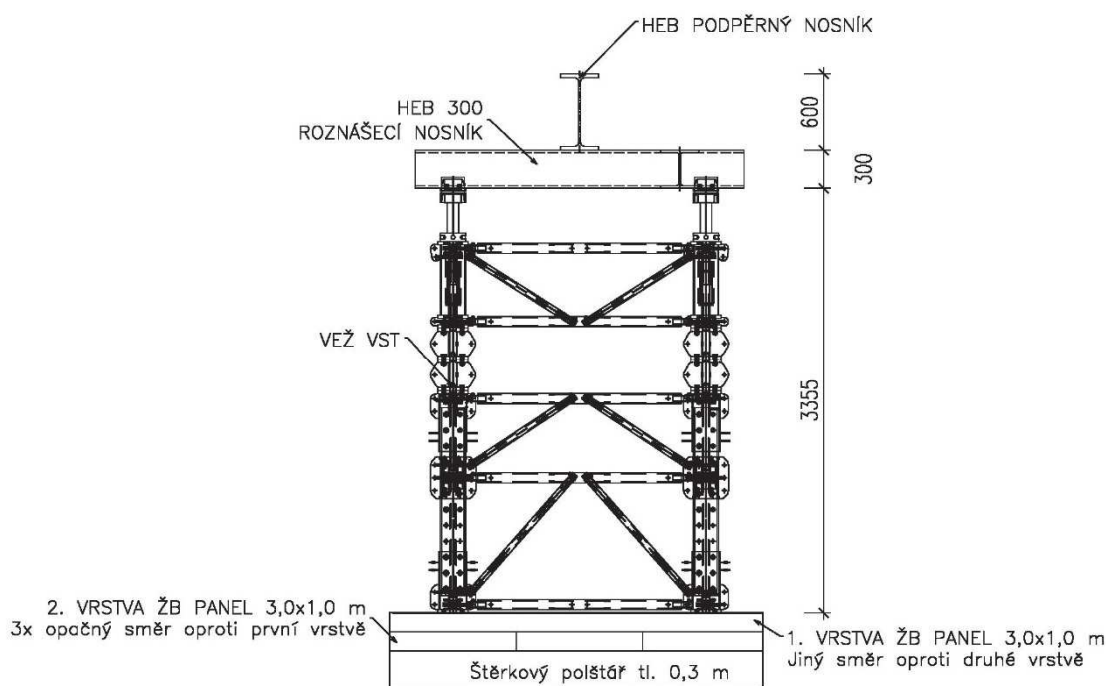
- Reakce do základu

$$R = 485,7 \cdot 4 = 1942,8 \text{ KN}$$

- Návrh plochy založení z panelů

$$A = \frac{F}{\sigma} = \frac{1942,8}{250} = 7,77 \text{ m}^2 = 3 \times 3 \text{ m}$$

8.7 Schéma věže VST



Obrázek 85 Schéma podpěrné věže PERI VST [11]

Tato skruž byla navržena v krajním poli uprostřed rozpětí s posouzením zatížitelnosti v krajních polích s požadavkem normální zatížitelnosti 26 t. Při podepření všech nosníků v krajním poli byla podmínka splněna, dokonce na hodnotu normální zatížitelnosti 32 t.

9 Vyhodnocení návrhu podepření

V první polovině roku 2021 bylo provedeno podepření mostu X525. Toto podepření bylo provedeno tak, že každý nosník samostatně byl podepřen ocelovými válcovanými nosníky do podpěrných věží. Tento vliv podepření byl proveden v úvaze, že každý nosník působí samostatně a jejich únosnost je na tabulkové hodnotě 40 % z důvodu stavu mostu v VI. Klasifikačním stupni.

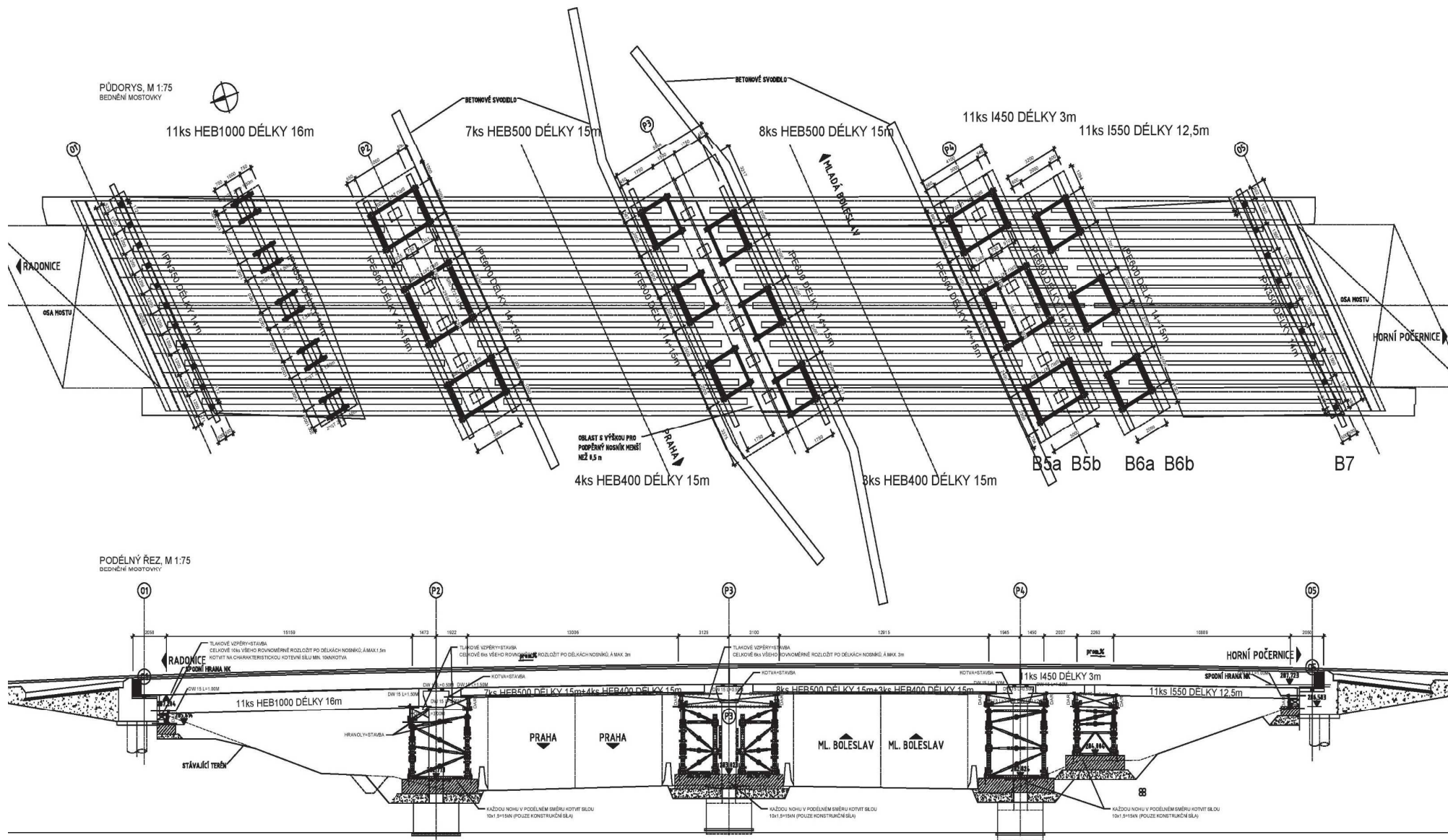
Podepření v diplomové práci bylo provedeno na základě podrobné analýzy konstrukce s vlivem výsledků diagnostického průzkumu, tj. úvahy o spolupůsobení nosníku a uvážení skutečné únosnosti. Jelikož byl proveden odhad únosnosti nosníku ve středních polích v lepším stavu, tj. únosnost 75-80 %, než uvažuje koeficient 0,4 při klasifikační třídě, tak nebylo nutné provádět podepření na dálnici D10. Jak již bylo řečeno výše, tak z diagnostiky vyplývá, že nejhůře jsou na tom nosníky č. 2 a 10 v krajních polích mostu X525. Proto u těchto nosníků byla snížena únosnost na 55–80 % a krajní pole vyžadovala podepření. Byl zvolen postup lokálního podepření nosníků v nejhorším stavu, to však nevedlo k úspěchu a konstrukce stále nevyhovovala na mezní stav použitelnosti.

Následně bylo zvolena varianta jednoho středového podepíracího nosníku HEB 600, který podepírá krajní pole ve středu rozpětí. Toto řešení vedlo ke zvýšení zatížitelnosti na požadovaných 32 t při normálním zatížení. Oproti podepření realizovaném v roce 2021, je tato varianta hospodárnější, méně náročná na provádění a dopravně inženýrská opatření na dálnici D10. Při podepření samostatných nosníků je velmi důležité zajistit co největší spolupůsobení ocelového nosníku s nosníkem KA73/18, to je však z důvodu nerovností a degradace betonu nosníků velmi obtížné.

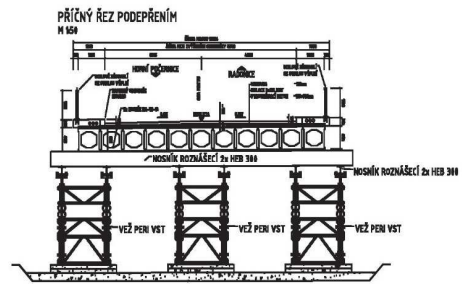
Úspora materiálu, oproti realizovanému podepření, je na věžích VST cca 80 %. A podpíracích nosníků je oproti jednomu nosníku pod každý nosník KA73 provedena redukce na podepření středovým nosníkem přes všechny nosníky KA73.

Tento typ podepření má také vliv na velké snížení dopravně inženýrského opatření při průběhu výstavby podepření a k úplné eliminaci dopravního opatření po dobu podepření předpoklad 5 let. Z hlediska ceny se tento druh podepření s předpokladem stejné efektivity pohybuje na přibližně 25 % ceny varianty podepření jednotlivých nosníků samostatně.

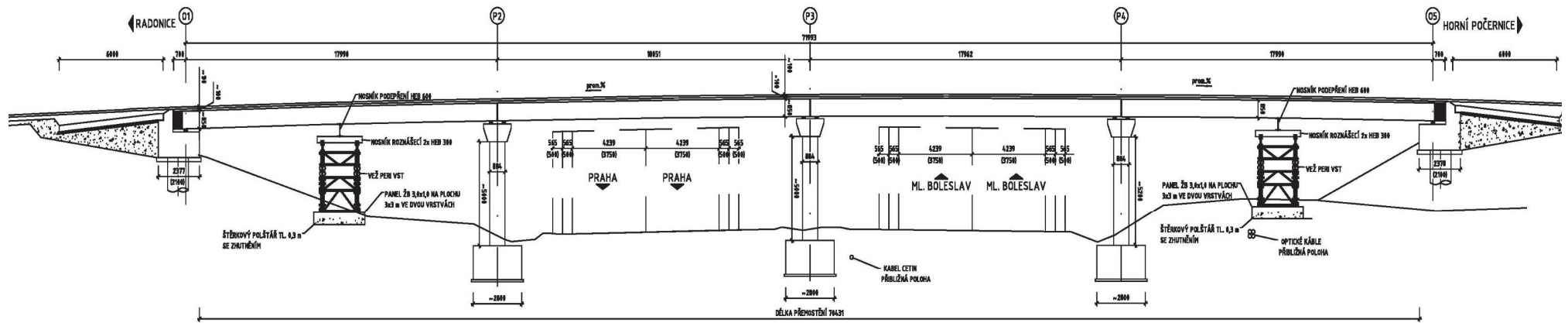
Na obrázku č. 86 je znázorněno schéma podepření realizovaného v roce 2021 a na obrázku č. 87 je znázorněno schéma navrženého podepření v diplomové práci.



Obrázek 86 Schéma skutečného podepření realizovaného v roce 2021 [24]



PODÉLNÝ ŘEZ
M 1:100



Obrázek 87 Navržené podepření mostu X525

10 Závěr

Všechny cíle, které byly stanoveny v úvodu práce a zadání byly splněny. Na základě diagnostického průzkumu byly stanoveny hodnoty únosnosti jednotlivých nosníků. V krajních polích, kde jsou nosníky č. 2 a 10 silně degradovány byla uvažována větší redukce únosnosti. V poli nad dálnicí D10 byly nosníky dle diagnostiky v lepším stavu, a tak jejich únosnost byla uvažována vyšší. Po zhodnocení stavu nosné konstrukce byl proveden přepočet zatížitelnosti, a to jak v krajních polích, tak ve středních polích.

Střední pole s průměrnou únosností nosníku 75 % krajní nosníky č. 1 a 11 a střední nosníky 80 % po přepočtu zatížitelnosti bylo zjištěno, že zatížitelnost je vyhovující na hodnotu požadovanou správce mostu a to 26 t při normální zatížitelnosti.

Zatížitelnost středních polí:

Střední pole mostu X525	Normální zatížitelnost (t)	Výhradní zatížitelnost (t)	Výjimečná zatížitelnost (t)
Dle přepočtu –bez omezení	35	94	151

Tabulka 33 Zatížitelnost středního pole mostu X525 po provedení přepočtu zatížitelnosti

Následně byl proveden přepočet zatížitelnosti krajních polí se snížením únosnosti nosníku č. 1 a 11 na 75 % nosníku č. 2 na 55 %, č. 10 na 65 % a zbylých nosníků č. 3-9 na 80 %. Po provedení přepočtu zatížitelnosti byla zjištěna velmi malá zatížitelnost, a proto byla navržena dopravní opatření a zatížitelnost znovu přepočtena v návaznosti na vliv úprav provozu na účinky zatížení. Ani to nevedlo ke zvětšení zatížitelnosti na požadovaných 26 t.

Proto bylo navrženo podepření krajního pole, nejdříve v $\frac{1}{2}$ nosníku č. 2 a 10, z důvodu nevyhovujícího požadavku se přidalo podepření v $\frac{1}{4}$ nosníku č. 2 a 10 ani to však nevedlo ke zvětšení zatížitelnosti. Poté byl proveden návrh podepření všech nosníků v $\frac{1}{2}$ rozpětí a zatížitelnost se zvedla na hodnotu 32 t oproti požadovaným 26 t.

Posouzení zatížitelnosti krajních polí po podepření bylo posouzeno na mezní stav použitelnosti. Jako rozhodující se stalo omezení napětí ve spárách mezi nosníky a to -1,00 MPa. Pro posouzení byla provedena analýza předpětí v čase s vlivem dotvarování. Předpětí bylo navrženo dle statického výpočtu nosníku KA73/18 z roku 1973 a dle tohoto výpočtu byla také ověřena správnost analýzy předpětí.

Most X525 – Krajní pole	Normální zatížitelnost (t)	Výhradní zatížitelnost (t)	Výjimečná zatížitelnost (t)
Dle mimořádné mostní prohlídky	16	35	80
Bez omezení – ověření výpočtem	9	26	53
Podepření nosníku č. 2 a 10 v polovině rozpětí	14	45	90
Podepření nosníku č. 2 a 10 v polovině a čtvrtinách rozpětí	17	66	153
Podepření všech nosníků v polovině rozpětí pole	32	80	189

Tabulka 34 Zhodnocení zatížitelnosti před a po provedení podepření krajních polí

Posouzení zatížitelnosti krajních polí po podepření bylo posouzeno na mezní stav použitelnosti. Jako rozhodující se stalo omezení napětí ve spárách mezi nosníky a to -1,0 MPa.

Jako podpěrná skruž byl navržen nosník HEB 600 dl 13,5 m, který je podepřen třemi vysokopevnostními věžemi PERI VST, které jsou založené na základové patce z železa betonových panelů ve dvou vrstvách 3x3 m výšky 2x0,15 m.

Po provedení podepření krajních polí můžeme určit výslednou zatížitelnost mostu X525 a to:

MOST X525 – Bystrá	Normální zatížitelnost (t)	Výhradní zatížitelnost (t)	Výjimečná zatížitelnost (t)
Po provedení podepření	32	80	151

Tabulka 35 Celková zatížitelnost mostu X525 po provedení podepření

Ve srovnání se skutečně realizovaným podepřením je navržené podepření jedním středovým nosníkem v krajních polích hospodárnější a efektivnější ke splnění zvýšení zatížitelnosti a bezpečného provozu na mostě X525.

11 Seznam obrázků

Obrázek 1 Počet silničních mostů v ČR	2
Obrázek 2 Počet mostů dle stavu nosné konstrukce nebo spodní stavby	5
Obrázek 3 Schéma postupu prací při hodnocení stavu konstrukce [3].....	11
Obrázek 4 Příklad diagnostického vrtu [21].....	12
Obrázek 5 Příklad statické zatěžovací zkoušky mostu [21]	12
Obrázek 6 Schéma zatížení při stanovení normální zatížitelnosti V_n [4]	17
Obrázek 7 Schéma charakteristické sestavy zatížení pro stanovení normální zatížitelnosti V_n [4] [6]	18
Obrázek 8 Schéma šestinapravového vozidla pro stanovení výhradní zatížitelnosti V_r	19
Obrázek 9 Schéma zvláštní soupravy pro stanovení vyjímečné zatížitelnosti V_e [4].....	20
Obrázek 10 Dynamické součinitele v závislosti na vlastní frekvenci f (Hz) [4]	21
Obrázek 11 Podepření mostu D1-035 Hvězdonice [23].....	24
Obrázek 12 Podepření skruží PÍŽMO [24].....	25
Obrázek 13 Schéma sloupku PÍŽMO [8]	25
Obrázek 14 Schéma čtvercového ztužidla [8]	26
Obrázek 15 Schéma roštového nosníku [8]	26
Obrázek 16 Schéma sestavené nánožky [8].....	27
Obrázek 17 Schéma spojovacích šroubů M20 [8].....	27
Obrázek 18 Podepěrná konstrukce těžké skruže PÍŽMO [23]	28
Obrázek 19 Těžká skruž s využitím vysokopevnostních věže VST	29
Obrázek 20 Ukázka hlavy VST [23]	29
Obrázek 21 Hlavový rám VST [11].....	30
Obrázek 22 Sloupový modul VST [14].....	31
Obrázek 23 Vysokopevnostní věže VST použité k podepření mostu	32
Obrázek 24 Nosník I67 zatékání [23].....	33
Obrázek 25 Nosníku I67 koroze výztuže [23].....	33

Obrázek 26 Most D1-035 před podepřením [23]	33
Obrázek 27 Most D1-035 po podepření [23].....	34
Obrázek 28 Příčný řez s umístěním komponentů měřických zařízení [13].....	35
Obrázek 29 Podélný řez s umístěním komponentů měřických zařízení [13]	35
Obrázek 30 Podepření mostu X22 pomocí věží s nosníky [14]	36
Obrázek 31 Příčný směr podepření mostu X22 [14]	36
Obrázek 32 Pohled na stativa mostu D5-016 před podepřením [16].....	37
Obrázek 33 Podepření stativ na mostě D5-016 [16].....	37
Obrázek 34 Podepření stativa v pohledu na mostě D5-016 [16]	38
Obrázek 35 Pozice mostu X-525 z portálu BMS [17].....	39
Obrázek 36 Most X-525 Bystrá [18]	39
Obrázek 37 Pohled ze strany Horních Počernic na mostovku a příslušenství mostu.....	41
Obrázek 38 Předpětí nosníku KA73/18 [20]	42
Obrázek 39 Schéma mostu X-525 [18]	43
Obrázek 40 Pohled na nosnou konstrukci v poli č. 1 [18].....	44
Obrázek 41 a) Degradace předpínací výztuže na nosíku N2, b) degradace a uvolnění výztuže na nosíku N10, c) prosakování vlhkosti a degradace betonu v místě odvodňovače nosníku N2 d) podélná trhlinka v ose předpětí nosníku N2 [18].....	44
Obrázek 42 Pohled na pole č. 2 a 3 [18].....	45
Obrázek 43 Boční pohled na pole č. 2 [18]	45
Obrázek 44 Pohled na pole č. 4 [18].....	46
Obrázek 45 a) pohled na opěru č. 2 – zatékání vody přes MDZ, b) obnažená a degradující předpínací výztuž a konstrukční výztuž včetně degradace betonu [18]	46
Obrázek 46 Schéma pole č. 1 s označením nosníků a 12 desek na měření MMM na nosníku č. 2 [18].....	47
Obrázek 47 Grafický výstup z měření MMM – magnetogram [18].....	48
Obrázek 48 a) sonda zkorodované předpínací výztuže, b) sonda předpínací výztuže s odhalením povrchové koroze a nedokonale zainjektovaného kanálku, c) sonda S12 předpínací výztuže bez koroze d) detail sondy S12 a injektáže kanálku [18].....	49
Obrázek 49 Grafický výstup z radaru HILTI PS 1000 [18]	50

Obrázek 50 Zatěžovací schéma mostu X525 pro stanovení normální zatížitelnosti	52
Obrázek 51 Zatěžovací schéma mostu X525 pro stanovení Vyhradní zatížitelnosti	53
Obrázek 52 Zatěžovací schéma mostu X525 pro stanovení Výjimečné zatížitelnosti	53
Obrázek 53 Zatěžovací schéma Chodců mostu X525	53
Obrázek 54 Deskostěnový model pole mostu X525 bez podepření	56
Obrázek 55 Schéma zatížení dopravou při provedení osazení svodidla na střed mostu ...	60
Obrázek 56 Schéma zatížení dopravou při provedení světelné signalizace a vytvoření 1 pruhu na mostě.....	62
Obrázek 57 Nosník KA73/18b [20].....	67
Obrázek 58 Prutový model KA73/18 včetně předpětí.....	68
Obrázek 59 Model nosníku KA73/18 včetně předpětí	68
Obrázek 60 Schéma předpětí nosníku KA73/18 [20].....	70
Obrázek 61 Moment od vlastní tíhy M_g nosníku KA73/18.....	71
Obrázek 62 Normálová síla od předpětí N_p	71
Obrázek 63 Moment od předpětí M_p	71
Obrázek 64 Moment od ostatního stálého zatížení M_{g-g0}	71
Obrázek 65 Normálová síla od dotvarování na konci životnosti nosníku $T=35$ let	72
Obrázek 66 Ohybový moment od dotvarování na konci životnosti nosníku $T=35$ let.....	72
Obrázek 67 Deskostěnový model pole mostu X525 podepření v $\frac{1}{2}$ nosníku č. 2 a 10	75
Obrázek 68 Deskostěnový model pole mostu X525 s podepřením v $\frac{1}{4} + \frac{1}{2} + \frac{3}{4}$	85
Obrázek 69 Deskostěnový model pole mostu X525 s podepřením v $\frac{1}{4} + \frac{1}{2} + \frac{3}{4}$	92
Obrázek 70 Schéma podpěrné skruže s použitím věže PERI VST	118
Obrázek 71 Posouvající síla V_z od zatížení vlastní tíha + doprava (chodci a normální zatížitelnost).....	121
Obrázek 72 Ohybový moment od zatížení vlastní tíha + doprava (chodci a normální zatížitelnost).....	121
Obrázek 73 Posouvající síla V_z od zatížení vlastní tíha + doprava (chodci a výhradní zatížitelnost).....	121
Obrázek 74 Ohybový moment od zatížení vlastní tíha + doprava (chodci a výhradní zatížitelnost).....	121

Obrázek 75 Posouvající síla V_z od zatížení vlastní tíha + doprava (chodci a výjimečná zatížitelnost).....	122
Obrázek 76 Ohybový moment od zatížení vlastní tíha + doprava (chodci a výjimečná zatížitelnost).....	122
Obrázek 77 Posouvající síla V_z od zatížení vlastní tíha + doprava (chodci a normální zatížitelnost).....	124
Obrázek 78 Ohybový moment od zatížení vlastní tíha + doprava (chodci a normální zatížitelnost).....	124
Obrázek 79 Posouvající síla V_z od zatížení vlastní tíha + doprava (chodci a výhradní zatížitelnost).....	124
Obrázek 80 Ohybový moment od zatížení vlastní tíha + doprava (chodci a výhradní zatížitelnost).....	124
Obrázek 81 Posouvající síla V_z od zatížení vlastní tíha + doprava (chodci a výjimečná zatížitelnost).....	125
Obrázek 82 Ohybový moment od zatížení vlastní tíha + doprava (chodci a výjimečná zatížitelnost).....	125
Obrázek 83 Maximální reakce do podpěrné věže PERI VST	127
Obrázek 84 Tabulka pro posouzení věže PERI VST.....	127
Obrázek 85 Schéma podpěrné věže PERI VST [11].....	128
Obrázek 86 Schéma skutečného podepření realizovaného v roce 2021 [24]	130
Obrázek 87 Navržené podepření mostu X525.....	131

12 Seznam grafů

Graf 1 Stav mostních objektů na dálnicích a silnicích I. třídy v letech 2006-2021.....	3
Graf 2 Stav mostních objektů na silnicích II. a III. tříd v letech 2006-2021	4
Graf 3 Návrhový pracovní diagram betonu C35/45	54
Graf 4 Návrhový pracovní diagram betonářské výztuže 10 425	55
Graf 5 Návrhový pracovní diagram předpínací výztuže Y1620C	55
Graf 6 Ověření napětí návrhu předpětí v čase $T= 28$ dní	73
Graf 7 Ověření napětí návrhu předpětí v čase $T= 35$ let.....	74
Graf 8 Průběh ohybových momentů ve spáře 1-2 při podepření v $\frac{1}{2}$ nosník č. 2 a 10.....	78
Graf 9 Průběh napětí při časté kombinaci M_{max} zatížení spára č. 1-2 při podepření v $\frac{1}{2}$ nosník č. 2 a 10	79
Graf 10 Průběh napětí při časté kombinaci M_{min} zatížení spára č. 1-2 při podepření v $\frac{1}{2}$ nosník č. 2 a 10	79
Graf 11 Průběh ohybových momentů nosník č. 2 při podepření v $\frac{1}{2}$ nosník č. 2 a 10.....	80
Graf 12 Průběh napětí při charakteristické kombinaci M_{max} nosník č. 2 při podepření v $\frac{1}{2}$ nosník č. 2 a 10	81
Graf 13 Průběh napětí při charakteristické kombinaci M_{min} nosník č. 2 při podepření v $\frac{1}{2}$ nosník č. 2 a 10	81
Graf 14 Průběh napětí při časté kombinaci M_{max} nosník č. 2 při podepření v $\frac{1}{2}$ nosník č. 2 a 10.....	82
Graf 15 Průběh napětí při časté kombinaci M_{min} nosník č. 2 při podepření v $\frac{1}{2}$ nosník č. 2 a 10.....	82
Graf 16 Průběh ohybových momentů ve spáře 2-3 při podepření v $\frac{1}{2}$ nosník č. 2 a 10...	83
Graf 17 Průběh napětí při časté kombinaci M_{max} zatížení spára č. 2-3 při podepření v $\frac{1}{2}$ nosník č. 2 a 10	84
Graf 18 Průběh napětí při časté kombinaci M_{min} zatížení spára č. 2-3 při podepření v $\frac{1}{2}$ nosník č. 2 a 10	84
Graf 19 Průběh ohybových momentů nosník č. 2 při podepření v $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{4}$ $\frac{3}{4}$ nosník č. 2 a 10	87

Graf 20 Průběh napětí při charakteristické kombinaci M_{max} nosník č. 2 při podepření v $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{4}$ $\frac{3}{4}$ nosník č. 2 a 10	88
Graf 21 Průběh napětí při charakteristické kombinaci M_{min} nosník č. 2 při podepření v $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{4}$ $\frac{3}{4}$ nosník č. 2 a 10	88
Graf 22 Průběh napětí při časté kombinaci M_{max} nosník č. 2 při podepření v $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{4}$ $\frac{3}{4}$ nosník č. 2 a 10	89
Graf 23 Průběh napětí při časté kombinaci M_{min} nosník č. 2 při podepření v $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{4}$ $\frac{3}{4}$ nosník č. 2 a 10	89
Graf 24 Průběh ohybových momentů spára č. 2-3 při podepření v $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{4}$ $\frac{3}{4}$ nosník č. 2 a 10	90
Graf 25 Průběh napětí při časté kombinaci M_{max} spára č. 2-3 při podepření v $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{4}$ $\frac{3}{4}$ nosník č. 2 a 10	91
Graf 26 Průběh napětí při časté kombinaci M_{min} spára č. 2-3 při podepření v $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{4}$ $\frac{3}{4}$ nosník č. 2 a 10	91
Graf 27 Průběh ohybových momentů nosník č.1 při podepření v $\frac{1}{2}$ všech nosníků	94
Graf 28 Průběh napětí při charakteristické kombinaci M_{max} nosník č. 1 při podepření v $\frac{1}{2}$ všech nosníků.....	95
Graf 29 Průběh napětí při charakteristické kombinaci M_{min} nosník č. 1 při podepření v $\frac{1}{2}$ všech nosníků.....	95
Graf 30 Průběh napětí při časté kombinaci M_{max} nosník č. 1 při podepření v $\frac{1}{2}$ všech nosníků.....	96
Graf 31 Průběh napětí při časté kombinaci M_{min} nosník č. 1 při podepření v $\frac{1}{2}$ všech nosníků.....	96
Graf 32 Průběh ohybových momentů spára č. 1-2 při podepření v $\frac{1}{2}$ všech nosníků	97
Graf 33 Průběh napětí při časté kombinaci M_{max} spára č. 1-2 při podepření v $\frac{1}{2}$ všech nosníků.....	98
Graf 34 Průběh napětí při časté kombinaci M_{min} spára č. 1-2 při podepření v $\frac{1}{2}$ všech nosníků.....	98
Graf 35 Průběh ohybových momentů nosník č.2 při podepření v $\frac{1}{2}$ všech nosníků	99
Graf 36 Průběh napětí při charakteristické kombinaci M_{max} nosník č. 2 při podepření v $\frac{1}{2}$ všech nosníků.....	100
Graf 37 Průběh napětí při charakteristické kombinaci M_{min} nosník č. 2 při podepření v $\frac{1}{2}$ všech nosníků.....	100
Graf 38 Průběh napětí při časté kombinaci M_{max} nosník č. 2 při podepření v $\frac{1}{2}$ všech nosníků.....	101

Graf 39 Průběh napětí při časté kombinaci M_{min} nosník č. 2 při podepření v $\frac{1}{2}$ všech nosníků.....	101
Graf 40 Průběh ohybových momentů spára č. 2-3 při podepření v $\frac{1}{2}$ všech nosníků	102
Graf 41 Průběh napětí při časté kombinaci M_{max} spára č. 2-3 při podepření v $\frac{1}{2}$ všech nosníků.....	103
Graf 42 Průběh napětí při časté kombinaci M_{min} spára č. 2-3 při podepření v $\frac{1}{2}$ všech nosníků.....	103
Graf 43 Průběh ohybových momentů nosník č.6 při podepření v $\frac{1}{2}$ všech nosníků	104
Graf 44 Průběh napětí při charakteristické kombinaci M_{max} nosník č. 6 při podepření v $\frac{1}{2}$ všech nosníků.....	105
Graf 45 Průběh napětí při charakteristické kombinaci M_{min} nosník č. 6 při podepření v $\frac{1}{2}$ všech nosníků.....	105
Graf 46 Průběh napětí při časté kombinaci M_{max} nosník č. 6 při podepření v $\frac{1}{2}$ všech nosníků.....	106
Graf 47 Průběh napětí při časté kombinaci M_{min} nosník č. 6 při podepření v $\frac{1}{2}$ všech nosníků.....	106
Graf 48 Průběh ohybových momentů spára č. 9-10 při podepření v $\frac{1}{2}$ všech nosníků ..	107
Graf 49 Průběh napětí při časté kombinaci M_{max} spára č. 9-10 při podepření v $\frac{1}{2}$ všech nosníků.....	108
Graf 50 Průběh napětí při časté kombinaci M_{min} spára č. 9-10 při podepření v $\frac{1}{2}$ všech nosníků.....	108
Graf 51 Průběh ohybových momentů nosník č.10 při podepření v $\frac{1}{2}$ všech nosníků	109
Graf 52 Průběh napětí při charakteristické kombinaci M_{max} nosník č. 10 při podepření v $\frac{1}{2}$ všech nosníků.....	110
Graf 53 Průběh napětí při charakteristické kombinaci M_{min} nosník č. 10 při podepření v $\frac{1}{2}$ všech nosníků.....	110
Graf 54 Průběh napětí při časté kombinaci M_{max} nosník č. 10 při podepření v $\frac{1}{2}$ všech nosníků.....	111
Graf 55 Průběh napětí při časté kombinaci M_{min} nosník č. 10 při podepření v $\frac{1}{2}$ všech nosníků.....	111
Graf 56 Průběh ohybových momentů spára č. 10-11 při podepření v $\frac{1}{2}$ všech nosníků	112
Graf 57 Průběh napětí při časté kombinaci M_{max} spára č. 10-11 při podepření v $\frac{1}{2}$ všech nosníků.....	113

Graf 58 Průběh napětí při časté kombinaci M_{min} spára č. 10-11 při podepření v $\frac{1}{2}$ všech nosníků.....	113
Graf 59 Průběh ohybových momentů nosník č.11 při podepření v $\frac{1}{2}$ všech nosníků	114
Graf 60 Průběh napětí při charakteristické kombinaci M_{max} nosník č. 11 při podepření v $\frac{1}{2}$ všech nosníků.....	115
Graf 61 Průběh napětí při charakteristické kombinaci M_{min} nosník č. 11 při podepření v $\frac{1}{2}$ všech nosníků.....	115
Graf 62 Průběh napětí při časté kombinaci M_{max} nosník č. 11 při podepření v $\frac{1}{2}$ všech nosníků.....	116
Graf 63 Průběh napětí při časté kombinaci M_{min} nosník č. 11 při podepření v $\frac{1}{2}$ všech nosníků.....	116

13 Seznam tabulek

Tabulka 1 Klasifikační stupeň stavu mostu [3]	9
Tabulka 2 Klasifikační stupeň použitelnosti mostu [3]	10
Tabulka 3 Přehled základních zkušebních metod [5]	13
Tabulka 4 Stanovení náhradní délky L_d [4]	22
Tabulka 5 Výpis prvků hlavového rámu VST [11]	30
Tabulka 6 Výpis prvků modulového sloupu VST [11]	31
Tabulka 7 Přehled dimenzačního momentu a momentu od vlastní tíhy na základě Statického výpočtu nosníku KA73/18 [20]	51
Tabulka 8 Stálá a ostatní stálá zatížení	52
Tabulka 9 Vlastnosti betonu C35/45	54
Tabulka 10 Vlastnosti betonářské výztuže C10 425.....	54
Tabulka 11 Vlastnosti předpínací výztuže Y1620C	55
Tabulka 12 Stanovení dimezačního momentu uprostřed rozpětí s vlivem snížení únosnosti Krajiní pole	56
Tabulka 13 Vypočet normální zatížitelnosti jednotlivých nosníků	57
Tabulka 14 Vypočet výhradní zatížitelnosti jednotlivých nosníků	58
Tabulka 15 Vypočet výjimečné zatížitelnosti jednotlivých nosníků	59
Tabulka 16 Vypočet normální zatížitelnosti jednotlivých nosníků při omezení provozu uprostřed vozovky.....	61
Tabulka 17 Vypočet normální zatížitelnosti jednotlivých nosníků při omezení provozu světelnou signalizací	63
Tabulka 18 Vypočet normální zatížitelnosti jednotlivých nosníků při omezení provozu světelnou signalizací	63
Tabulka 19 Stanovení dimezačního momentu uprostřed rozpětí s vlivem snížení únosnosti - Střední pole.....	64
Tabulka 20 Vypočet normální zatížitelnosti ve středním poli.....	64
Tabulka 21 Vypočet výhradní zatížitelnosti ve středním poli	65

Tabulka 22 Výpočet výjimečné zatížitelnosti ve středním poli.....	65
Tabulka 23 Přehled zatížitelnosti středních polí mostu X525	65
Tabulka 24 Zatížitelnosti mostu X525 po přepočtu zatížitelnosti	66
Tabulka 25 Výpočet průřezových charakteristik	67
Tabulka 26 Předpětí 1. fáze [20].....	69
Tabulka 27 Předpětí 2. fáze [20].....	69
Tabulka 28 Vyhodnocení napětí v mezním stavu použitelnosti při podepření v ½ nosník č. 2 a 10.....	77
Tabulka 29 Vyhodnocení napětí v mezním stavu použitelnosti při podepření v ½ a ¼ nosník č. 2 a 10	85
Tabulka 30 Vyhodnocení napětí v mezním stavu použitelnosti při podepření krajního pole po celé šířce v ½	92
Tabulka 31 Přehled zatížitelnosti krajních polí v závislosti na podepření	117
Tabulka 32 Reakce do podpěrné skruže od zatížení dopravou a chodci	118
Tabulka 33 Zatížitelnost středního pole mostu X525 po provedení přepočtu zatížitelnosti	132
Tabulka 34 Zhodnocení zatížitelnosti před a po provedení podepření krajních polí.....	132
Tabulka 35 Celková zatížitelnost mostu X525 po provedení podepření.....	133

14 Seznam použité literatury

1. **Ředitelství silnic a dálnic ČR - odbor silniční databanky a NDIC.** https://www.rsd.cz/wps/wcm/connect/d4f00eed-e6d7-4488-bac4-233113763473/prehledy_2021_1_cr.pdf?MOD=AJPERES. *www.rsd.cz*. [Online] 1. 1 2021. [Citace: 20. Zář 2021.]
2. **Stavebnictví 2007 - 2020 All rights reserved INFORMAČNÍ CENTRUM ČKAIT s.r.o.,** *casopisstavebnictvi.cz*. [Online] [Citace: 21. zář 2021.] <https://www.casopisstavebnictvi.cz/clanky-petice-adresovana-peticnimu-vyboru-poslanecke-snemovny-parlamentu-cr-v-4c221cd6da-a-uzemi-cr.html>.
3. **CTN PRAGOPROJEKT a. s., IČ 45272387, ve spolupráci se spol. Pontex s r. o., Ing. Vladislav Vodička.** *ČSN 73 6221 - Prohlídky mostů pozemních komunikací*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
4. **Kloknerův ústav ČVUT v Praze, IČ 68407700, Doc. Ing. Vlastimil Kukaň, CSc., Doc. Ing. Jiří Krátký, CSc., ČSN 73 6222 - Zatížitelnost mostů pozemních komunikací.** Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
5. **Pontex spol. s.r.o.** *Technické podmínky TP72 Diagnostický průzkum mostů PK* . Praha : Ministerstvo dopravy, 2008.
6. **Vlastimil Kukaň, Michal Drahorád, Tomáš Dvorský.** *Betonové mosty Zatížitelnost* . Praha : České vysoké učení technické v Praze, nakladatelství ČVUT , 2007. ISBN 978-80-01-03633-4.
7. **ČVUT v Praze, Fakulta stavební** . *Technické podmínky TP200, Stanovení zatížitelnosti mostů PK* . Praha : Ministerstvo dopravy, 2009.
8. **Jan English, Josef Mazač.** *Základy stavby zatímních železničních mostů z materiálu PIŽMO a ŽM*. PRAHA : Ministerstvo dopravy, 2008.
9. **Blažek, Jan.** *Technologie výstavby betonových mostů* . Praha : Čvut fsv , 2021.
10. **PERI GmbH.** *Stavebnice pro inženýrské stavby VARIOKIT*. Weissenhorn : PERI GmbH, 2010.
11. **PERI spol.** *VST Vysokopevnostní věže podpěrná věž*. Praha : PERI spol s.r.o., 2017.
12. **Pontex** . *Most DI-035 v km 29.161 Dálnice D1 PROVIZORNÍ PODEPŘENÍ MOSTU*. Praha : PONTEX s.r.o., 2015.
13. —. *Most DI-035 v km 29.191 Dálnice D1 - Provizorní podepření mostu Tenzometrický monitoring*. místo neznámé : Pontex s.r.o., 2015.
14. **HOCHTIEF CZ.** *Hochtief Praha, podepření mostu X022 Budenská u metra Vltavská* . [Online] 2015. <https://www.hochtief.cz/nase-projekty/referencni-projekty/dopravni-infrastruktura/praha-podepreni-mostu-x022-bubenska-u-metra-vltavska>.

15. Pontex . *D5-016 Podepření Technická zpráva*. Praha : Pontex spol s.r.o., 2018.
16. HOBST, Stavbní firma. *Podepření stativ na mostě D5/016*. Loděnice : 2019.
17. BMS Clevera . [Online] <http://bms.clevera.cz/Public>.
18. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE . *X525 Libošovická, X672 Podjezd u Hl. nádraží - Sokolská, Y505 Kolbenova - provedení studijní diagnostické nedestruktivní zkoušky, ověření stavu objektu s ohledem na kvalitu betonů, výztuže a ostatních materiálů*. Praha : ČVUT v Praze, Fakulta stavební , 2020.
19. Drahorád, Michal. *Mimořádná prohlídka Most X-525* . 2020.
20. Dopravoprojekt. *Konstrukce cestných a diaľničných mostov z prefabrikátov KA-73 dĺžky 9-12-15-18 m*. Bratislava : autor neznámý, 1973.
21. 2009 Mostní a silniční, s.r.o. <http://www.mostni-silnicni.cz/cs/detail-reference/2007-ivancice-letkovice>. [Online] 2009. [Citace: 23. zaří 2021.]
22. HOBST, Stavební firma. *Podepření Mostu Hvězdonice*. Hvězdonice : 2015.
23. Roman, Šafář. *Přednáška podpěrné konstrukce mostů* . Praha : ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 2018.
24. PERI spol. *Výkresová dokumentace podepření mostu X525* Praha : PERI spol s.r.o., 2021.