

# ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

## Fakulta stavební

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí



### Parametrická studie dynamického chování VRT mostních konstrukcí

Parametric study of the dynamic behaviour of HSR bridges

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

Studijní program: Stavební inženýrství  
Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby  
Zaměření: Ocelové a dřevěné konstrukce  
Akademický rok: 2016/2017  
Vedoucí práce: doc. Ing. Pavel Ryjáček, PhD.

**Michal Rotter**

Praha 2017



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Rotter</u>	Jméno: <u>Michal</u>	Osobní číslo: <u>396700</u>
Zadávací katedra: <u>Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí</u>		
Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor: <u>Konstrukce a dopravní stavby</u>		

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: <u>Parametrická studie dynamického chování VRT mostních konstrukcí</u>	
Název diplomové práce anglicky: <u>Parametric study of the dynamic behaviour of HSR bridges</u>	
Pokyny pro vypracování: Zpracování koncepčních uspořádání mostů pro VTR tratě, příčné řezy. Stanovení sledovaných parametrů včetně štíhlosti. Dynamická analýza HSLM a MU vlaků s ohledem na zajištění mezního zrychlení. Vyhodnocení studie. Výkresy příčných řezů mostů.	
Seznam doporučené literatury: Frýba, L. Dynamika železničních mostů. 1. vyd. Praha: Academia, 1992. 328 s. ISBN 80-200-0262-6	
Jméno vedoucího diplomové práce: <u>doc. Ing. Pavel Ryjáček, Ph.D.</u>	
Datum zadání diplomové práce: <u>7.10.2016</u>	Termín odevzdání diplomové práce: <u>8.1.2017</u> <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
_____ 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 jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s výjimkou poskytnutých konzultací vedoucím práce. Veškeré použité podklady, ze kterých jsem čerpal informace, jsou uvedeny v seznamu použité literatury a citovány v textu podle normy ČSN ISO 690.

V Praze dne 8. 1. 2017

.....  
Michal Rotter

## **Poděkování**

Děkuji doc. Ing. Pavlu Ryjáčkovi, PhD. za odborné vedení práce, věcné připomínky, dobré rady a vstřícnost při konzultacích a při vypracovávání této diplomové práce.

Děkuji Ing. Robertu Járovi za poskytnutí a asistenci při přístupu k výpočetní technice pro provedení první poloviny parametrické studie.

Děkuji společnosti SUDOP Praha a.s. za poskytnutí zázemí a výpočetní techniky pro provedení druhé poloviny parametrické studie.

Děkuji Ing. Martinu Vlasákovi za vstřícnou pomoc a dobré rady při první práci v programu midas/Civil.

## **Abstrakt**

Cílem této práce je provedení parametrické studie dynamického chování mostních konstrukcí pro vysokorychlostní tratě. Dále pak sestavení přehledné tabulky extrémních zrychlení vyvolaných přejezdem zatěžovacích souprav vysokorychlostních vlaků ve stanovených rychlostech. Posledním cílem je porovnání vhodnosti, přesnosti a použitelnosti zvolených statických programů pro provedení této studie.

Mosty byly reprezentovány prutovými modely v programech CSiBridge a midas/Civil s rozpětími od 10 do 55 metrů o průřezech železobetonové desky, předpjatého betonového dvoutrámu a komory a ocelobetonového spřaženého dvoutrámu a komory, vždy ve dvou variantách výšky. Zatíženy byly modelovými soupravami HSLM, MU a skutečnou soupravou ICE s doplněním o vlak s lokomotivou 109E1 od Škody Transportation při rychlostech v rozsahu 200 až 420 km/hod.

Vyhodnocení ukázalo při jakých rozpětích a do jakých rychlostí se dají pro vysokorychlostní tratě navrhovat mosty o určených průřezech. Dokázal se pozitivní vliv rostoucího rozpětí a hmotnosti konstrukce na snižování zrychlení konstrukce. Porovnání mezi programy prokázalo řádovou podobnost výsledků z příslušných modelů.

## **Klíčová slova:**

VRT, Vysokorychlostní trať, železniční most, železobetonová deska, ocelobetonový spřažený dvoutrám, ocelobetonová spřažená komora, předpjatý betonový dvoutrám, předpjatá železobetonová komora, parametrická studie, dynamická analýza, HSLM, MUClass, CSiBridge, midas/Civil, zrychlení konstrukce, vlastní frekvence, porovnání programů, prutový model

## **Abstract**

The main aim of this paper is conducting a parametric study of the dynamic behaviour of HSR bridges. Another one is compilation of data into organised table of acceleration extremes forced by high-speed load models of trains in stated speeds of crossing. Last aim is comparison of suitability, accuracy and usability of chosen static programs for performing of this study.

Bridges were represented by beam models in CSiBridge and midas/Civil with span range of 10 to 55 meters, with cross-sections containing reinforced concrete slab, prestressed concrete doublebeam and box, and composite steel-concrete doublebeam and box, of two height variants. They were loaded by HSLM, and MU train models and real train ICE, with addition of train containing Skoda Transportation locomotive 109E1 – Emil Zatopek, in speed ranges from 200 to 420 kmph.

Evaluation showed spans and speed limits in which it's still possible to design HSR bridges of stated cross-sections. It proved positive influence of rising span and structure mass on lowering the acceleration of structure. Comparison between programs demonstrated similarity of results of relevant models.

## **Keywords:**

HSR, High-Speed Railroad, railway bridge, reinforced concrete slab, composite steel-concrete doublebeam, composite steel-concrete box, prestressed concrete doublebeam, prestressed concrete box, parametric study, dynamic analysis, HSLM, MUClass, CSiBridge, midas/Civil, acceleration of structure, natural frequency, program comparison, beam model

# **Obsah**

1 Úvod.....	9
2 Cíle práce.....	9
3 Vysokorychlostní tratě.....	10
4 Parametry studie.....	12
4.1 Průřezy.....	12
4.1.1 Železobetonová deska.....	13
4.1.2 Předpjatý betonový dvoutrám.....	14
4.1.3 Předpjatá betonová komora.....	15
4.1.4 Ocelobetonový spřažený dvoutrám.....	17
4.1.5 Ocelobetonová spřažená komora.....	18
4.2 Statická schémata a rozpětí.....	20
4.3 Zatěžovací soupravy.....	21
4.4 Rychlosti přejezdu.....	23
5 Výpočetní programy.....	24
5.1 CSi.....	24
5.2 Midas.....	24
5.3 Scia Engineer.....	25
5.4 Varianty výpočtu.....	25
6 Zvolený model.....	27
7 Útlum.....	28
8 Tvorba modelu v CSi Bridge.....	30
8.1 Nastavení.....	30
8.2 Průřezy.....	32
8.2.1 Železobetonová deska.....	32
8.2.2 Předpjatý betonový dvoutrám.....	33
8.2.3 Předpjatá betonová komora.....	33
8.2.4 Ocelobetonový spřažený dvoutrám.....	33
8.2.5 Ocelobetonová spřažená komora.....	35
8.3 Konstrukce.....	35
8.4 Podepření.....	38
8.5 Zatížení.....	39
8.5.1 Zatížení stálé.....	39
8.5.2 Zatěžovací soupravy.....	40
8.5.3 Zatěžovací schémata.....	42
8.5.4 Zatěžovací stavy.....	44
8.5.5 Spojitá hmota.....	47
8.6 Analýza.....	49
8.7 Varianty výpočtu.....	49
9 Výstupy z CSi.....	52
9.1 Získání výstupů.....	52
9.2 Vlastní frekvence.....	58
9.3 Ukázky výstupů.....	58

9.4 Zpracování výstupů.....	64
9.5 Škoda 109E1 – Emil Zátpek.....	71
9.6 Výsledná maximální zrychlení.....	72
10 Tvorba modelu v midasu.....	74
10.1 Nastavení.....	75
10.2 Konstrukce.....	76
10.3 Průřezy.....	77
10.3.1 Materiál.....	78
10.3.2 Železobetonová deska.....	79
10.3.3 Předpjatý betonový dvoutrám.....	80
10.3.4 Předpjatá betonová komora.....	81
10.3.5 Úprava vlastností.....	81
10.4 Podepření.....	82
10.5 Zatížení.....	82
10.5.1 Zatížení stálé.....	83
10.5.2 Dynamické zatěžovací stavy.....	86
10.5.3 Zatěžovací soupravy.....	87
10.5.4 Zatížení uzlů.....	92
10.6 Analýza.....	95
10.7 Varianty výpočtu.....	96
11 Výstupy z midasu.....	99
11.1 Získání výstupů.....	99
11.2 Vlastní frekvence.....	103
11.3 Ukázky výstupů.....	103
11.4 Zpracování výstupů.....	105
11.5 Výsledná maximální zrychlení.....	108
12 Porovnání mezi programy.....	110
12.1 Model a výstupy.....	110
12.2 Vlastní frekvence.....	111
12.3 Maximální zrychlení.....	112
13 Závěr.....	115
14 Literatura.....	116
15 Seznam tabulek.....	116
16 Seznam obrázků.....	117
Příloha A - Výkresy příčných řezů.....	120
Příloha A.1 - Železobetonová deska.....	120
Příloha A.2 - Předpjatý betonový dvoutrám.....	121
Příloha A.3 - Předpjatá betonová komora.....	122
Příloha A.4 - Ocelobetonový spřažený dvoutrám.....	123
Příloha A.5 - Ocelobetonová spřažená komora.....	124



# **1 Úvod**

Je známo, že VRT železnice se skládají s ohledem na vysoké rychlosti zejména z mostních objektů a tunelů. Proto je pro rozvoj vysokorychlostních železnic v České republice potřeba optimalizovat ekonomický a technicky vhodný návrh mostních konstrukcí. Vzhledem k tomu, že určujícím parametrem při návrhu a posouzení mostu je zde jeho dynamické chování, bylo základě diskuze s vedoucím diplomové práce a společností SUDOP Praha a.s. vybráno 5 typických průřezů mostů pro VRT, a to jak podle zkušeností ze zahraničí, tak podle již uskutečněných mostních staveb v tuzemsku, na kterých byla provedena parametrická studie jejich dynamického chování při přejezdu normových modelů zatěžovacích vysokorychlostních souprav.

Jelikož byla tato studie zpracovávána kontinuálně i během diplomového semináře bez výraznějších změn v postupu, je tato diplomová práce zároveň i výstupem ze zmíněného semináře.

## **2 Cíle práce**

Hlavním cílem této práce je sestavení přehledné tabulky maximálních zrychlení, kterých dosahuje konstrukce mostů ve svých zvolených variantách průřezů při přejezdu normových vysokorychlostních zatěžovacích souprav, v závislosti jak na zmíněných variantách průřezu, tak na rozpětí mostu a přejezdové rychlosti souprav, čehož bude dosaženo nezávisle ve dvou programech určených pro dynamickou analýzu. Tato tabulka výsledků by měla v budoucnu sloužit jako projektová pomůcka při návrhu mostních konstrukcí pro vysokorychlostní tratě, určující maximální rychlost, pro kterou daný průřez při svém rozpětí vyhoví kritériím doporučeným normou.

Dalším cílem je porovnání výsledků z dynamické analýzy získaných ze dvou modelů ve dvou různých výpočetních programech a zjištění poměru získaných hodnot, případně zjištění důvodu většího rozdílu mezi těmito hodnotami.

Poslední cíl práce, který přímo souvisí s předchozím, je porovnání programů nejen z hlediska výstupů, ale celkově z hlediska ovládání programu, tvorby modelu a zadávání analýzy.

### **3 Vysokorychlostní tratě**

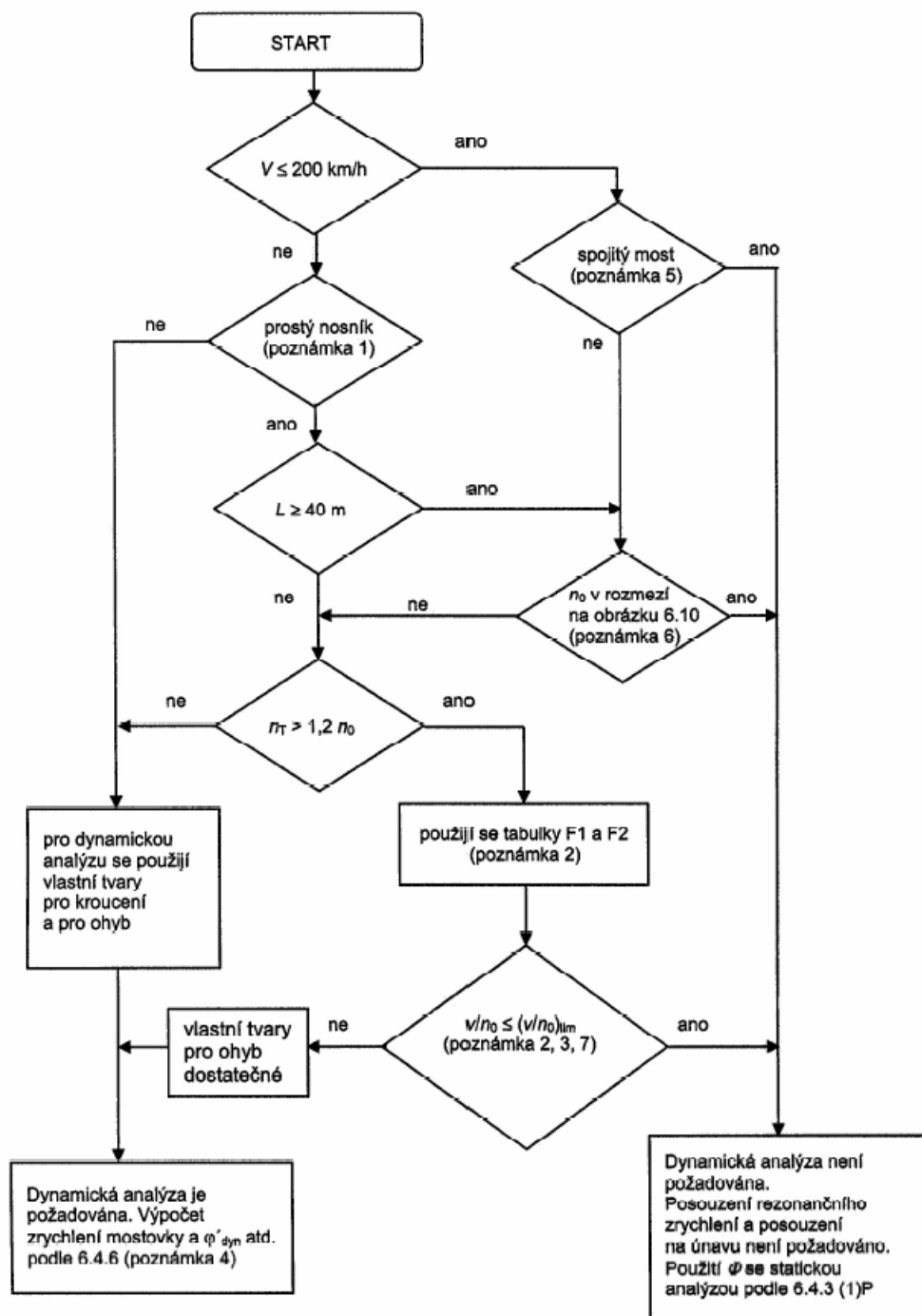
Jako vysokorychlostní tratě se na území České republiky označují železniční tratě vystavěné pro rychlost jízdy 250 km/h a vyšší nebo tratě modernizované umožňující rychlosti 200 km/h a vyšší. Jako minimální povolená rychlost na těchto tratích se uvádí 160 km/h, s výjimkou úseků určených pro připojení konvenční trati na vysokorychlostní, které se podle zákona považují za jejich součást, nebo při nezbytném průjezdu městskou oblastí, a jsou budovány převážně pro provoz vysokorychlostních vlaků.

Mezi vysokorychlostní vlaky patří například francouzské TGV nebo německý Intercity-Express (ICE). ICE obsluhuje kromě Německa i blízké země umožňující vysokorychlostní provoz (Rakousko, Švýcarsko, Francie a další státy západní Evropy) a je pro svou geografickou blízkost k České republice zvolený jako zástupce skutečných vlaků v této studii. V současné době u nás není v provozu žádný vysokorychlostní úsek železnice.

Pro zatížení mostů pro VRT se musí použít soupravy, umožňující rychlost vyšší než 200 km/hod. Slouží k tomu jak soupravy HSLM A a HSLM B [1], tak i vlaky MUCClass, dosahující rychlosti až 420 km/hod, nebo skutečné soupravy (např. zmíněná ICE) u nichž se předpokládá rychlost nad 200 km/hod.

Pro železniční mosty, zvláště pro vysokorychlostní tratě, je rozhodující zpravidla mezní stav použitelnosti. Jeho kritérii jsou třeba průhyb a zkroucení, ale hlavně zrychlení konstrukce. Pro tuto práci je zrychlení důležité, neboť jde o hlavní vstupní údaj pro tvorbu tabulky, která je cílem této práce. Konstrukce mostu smí dosáhnout zrychlení do hodnoty  $3,5 \text{ m/s}^2$  při použití kolejového lože nebo  $5 \text{ m/s}^2$  při přímo pojížděné trati a pevné jízdni dráze. Tyto hodnoty budou použity jako limitní při vyhodnocování dat z analýzy.

Na následujícím obrázku je diagram 6.9 z normy ČSN EN 1991-2 – Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 2: Zatížení mostů dopravou [1], podle kterého se určuje nutnost dynamické analýzy. Pro konvenční tratě splňující konstrukční kritéria podle obrázku 6.10 zmíněné normy není dynamická analýza vyžadována, použije se pouze statická analýza s dynamickým součinitelem podle dalších předpisů dle normy. Vysokorychlostní tratě s rychlostí nad 200 km/hod ale ve většině případů spadají do oblasti, ve které je dynamická analýza nutná, ať už s pouze ohybovými vlastními tvary nebo i vlastními tvary pro zkroucení.



Obrázek 6.9 – Vývojový diagram pro rozhodnutí, zda se požaduje dynamická analýza

Obr. 1 - Obrázek 6.9 normy [1] – Diagram pro rozhodnutí o nutnosti dynamické analýzy

- kde  $V$  maximální rychlosti trati v daném místě v [km/hod]  
 $L$  rozpětí vyšetřovaného pole  
 $n_0$  první vlastní ohybová frekvence mostu [Hz]  
 $n_r$  první vlastní kroucí frekvence mostu [Hz]

## 4 Parametry studie

Jelikož je tato práce zaměřená na parametrickou studii dynamického chování mostů pro vysokorychlostní tratě, má několik parametrů, na jejichž základě se vyvozují výsledky. Pro tuto studii jsou těmito parametry:

- použité průřezy mostních konstrukcí a jejich varianty;
- statická schémata mostů a rozpětí jejich polí;
- zatěžovací modely vysokorychlostních vlakových souprav;
- přejezdová rychlost těchto souprav.

Tato kapitola se těmito parametry zabývá z hlediska jejich výpisu a popisu, dále je pak popsáno, jak se zadávají do výpočtových programů a jak se s nimi dále pracuje.

### 4.1 Průřezy

Pro tuto práci byly vybrány průřezy mostních konstrukcí, které se pro vysokorychlostní tratě používají v zahraničí a některé typické z tuzemska. Ve všech případech šlo o mosty konstantního průřezu po délce rozpětí. Jejich výběru předcházela diskuze s vedoucím práce a se zástupcem společnosti SUDOP Praha a.s., a studium publikace Steel bridges for high speed railways in Europe [3].

Konkrétně jde o těchto pět, dále důkladněji popsanych průřezů:

- železobetonový deskový průřez;
- předpjatý betonový dvoutrám;
- předpjatá betonová komora;
- ocelobetonový spřažený dvoutrám;
- ocelobetonová spřažená komora.

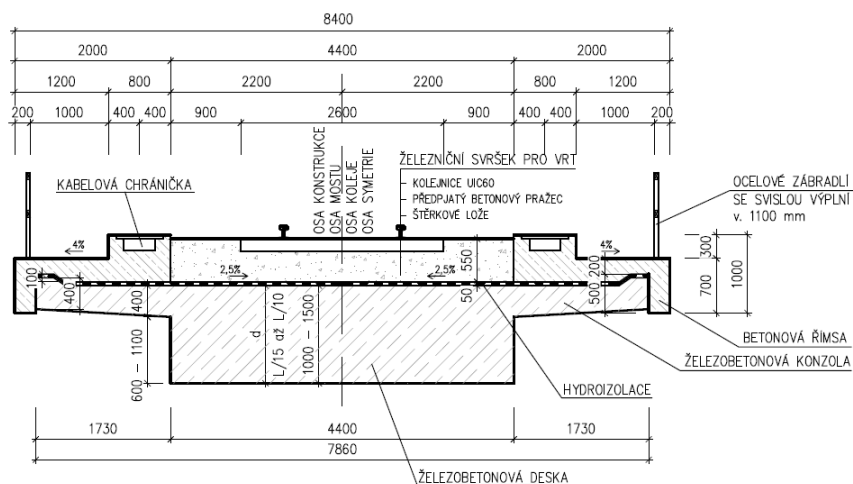
Všechny tyto průřezy jsou zpracovány vždy ve dvou variantách o výšce průřezu  $d$  v závislosti na rozpětí mostu, a to sice desetina rozpětí a patnáctina rozpětí. Dále jsou tyto varianty označovány zkráceně jako L/10 a L/15, popř. d10 a d15 (jelikož to omezí použití lomítek, která v názvech souborů nelze použít).

Součástí průřezu je dvojice prefabrikovaných betonových říms, na každé straně jedna, a kompletní železniční svršek, obsahujícím šterkové lože, pražce, kolejnice a veškerá upevnění. Detailní výkresy všech použitých průřezů ve své základní podobě

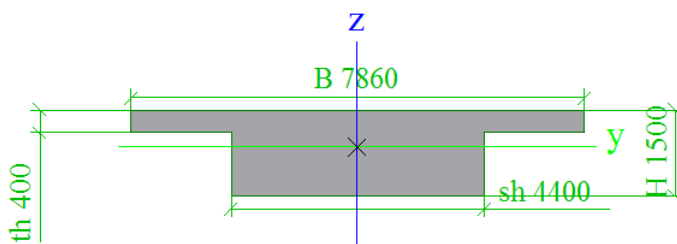
s popisem jsou součástí této práce v Příloze A. Jejich zmenšené schématické rysy jsou součástí každé následující podkapitoly spolu s modelem z programu Scia Engineer, sloužícím pro ověření průřezových charakteristik těchto průřezů.

#### 4.1.1 Železobetonová deska

Základní rozpětí pro deskový průřez je 15 metrů. Celková výška průřezu proto činí 1,5 m pro d10 (L/10) a 1,0 m pro d15 (L/15). Šířka střední části průřezu činila 4,4 m, takže zbylá délka převisů konzol byla 1,73 m na každou stranu. Zjednodušeně byla jejich tloušťka 0,4 m na konci i u středu průřezu, což umožnilo použít upravený předdefinovaný průřez bez nutnosti jeho vlastní grafické modelace v obou programech použitých pro analýzu.



Obr. 2 - Železobetonová deska



Obr. 3 - Železobetonová deska, náhled modelu z programu Scia Engineer

V následující tabulce je přehled základních průřezových charakteristik pro obě výškové varianty průřezu pro základní i zvětšené, resp. zmenšené rozpětí prostých polí. Details o těchto rozpětích jsou v kapitole 4.2 - Statická schémata.

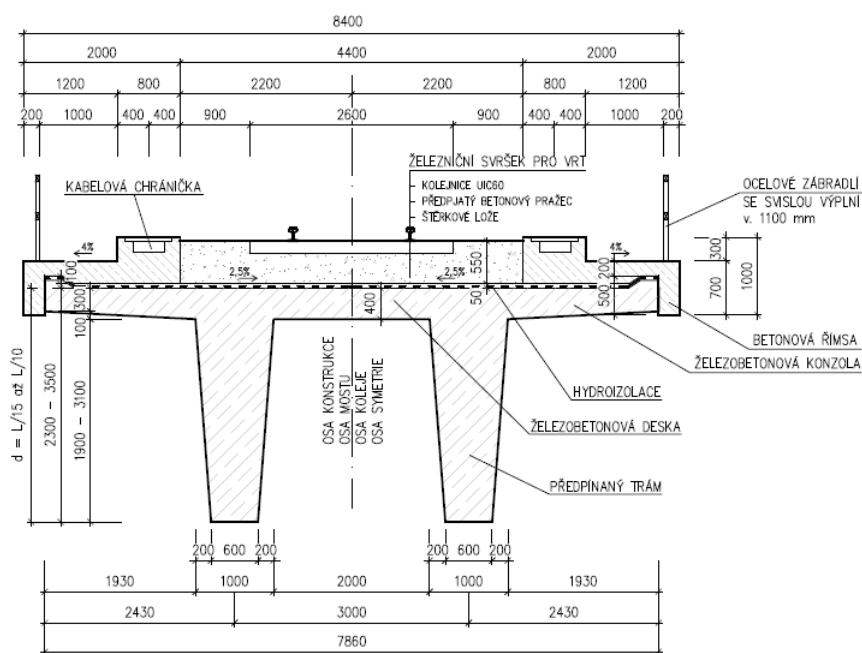
Tab.1 - Základní průřezové charakteristiky ŽB desky

Rozpětí	Varianta	Výška d	Plocha A	Mom setrv. $I_y$	Těžiště
10 m	d10	1000 mm	5,784 m <sup>2</sup>	0,479 88 m <sup>4</sup>	572 mm
	d15	700 mm	4,464 m <sup>2</sup>	0,165 71 m <sup>4</sup>	397 mm
15 m	d10	1500 mm	7,984 m <sup>2</sup>	1,602 00 m <sup>4</sup>	845 mm
	d15	1000 mm	5,784 m <sup>2</sup>	0,479 88 m <sup>4</sup>	572 mm
20 m	d10	2000 mm	10,184 m <sup>2</sup>	3,717 20 m <sup>4</sup>	1109 mm
	d15	1300 mm	7,104 m <sup>2</sup>	1,049 70 m <sup>4</sup>	738 mm

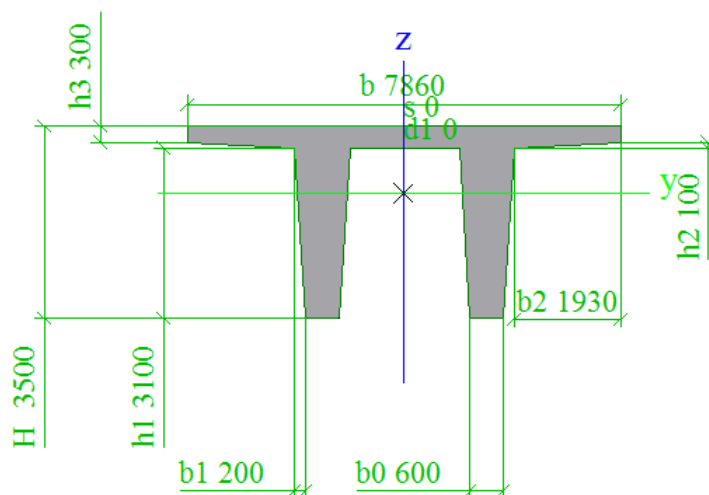
Pozn.: Na šedém pozadí jsou hodnoty platné pro základní rozpětí.

#### 4.1.2 Předpjatý betonový dvoutrám

Pro dvoutrámové průřezy je základní rozpětí 35 metrů. Celková výška tak činí 3,5 metru pro průřez o výšce d10 a 2,3 metru při výšce d15. Hodnota 2,3 metru je zaokrouhlením na celé decimetry hodnoty  $\frac{7}{3}$  odpovídající číslu 2,33. Oba trámy mostu měly ve své patě šířku 60 cm, v místě napojení na vrchní desku rovný 1 metr a jsou symetricky kosené. Světlá vzdálenost mezi trámy je 2 metry, což zanechává konzolám délku 1,93 m na každou stranu. Tloušťka konzol je 0,3 metru na volném konci a 0,4 metru v místě napojení na vrchní desku stejně tloušťky.



Obr. 4 - Předpjatý betonový dvoutrám



Obr. 5 - Předpjatý betonový dvoutrám, náhled modelu z programu Scia Engineer

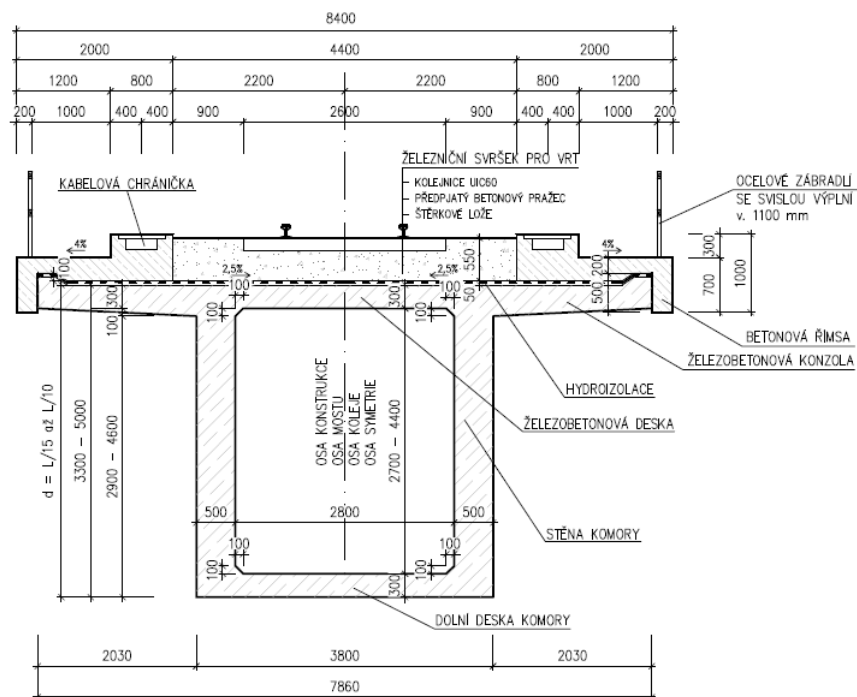
Tab.2 - Základní průřezové charakteristiky PJB dvoutrámu

Rozpětí	Varianta	Výška d	Plocha A	Mom setrv. $I_y$	Těžiště
30 m	d10	3000 mm	7,111 m <sup>2</sup>	5,726 80 m <sup>4</sup>	1990 mm
	d15	2000 mm	5,511 m <sup>2</sup>	1,793 00 m <sup>4</sup>	1372 mm
35 m	d10	3500 mm	7,911 m <sup>2</sup>	8,851 70 m <sup>4</sup>	2288 mm
	d15	2300 mm	5,991 m <sup>2</sup>	2,683 80 m <sup>4</sup>	1562 mm
40 m	d10	4000 mm	8,711 m <sup>2</sup>	12,885 00 m <sup>4</sup>	2580 mm
	d15	2600 mm	6,471 m <sup>2</sup>	3,812 50 m <sup>4</sup>	1748 mm

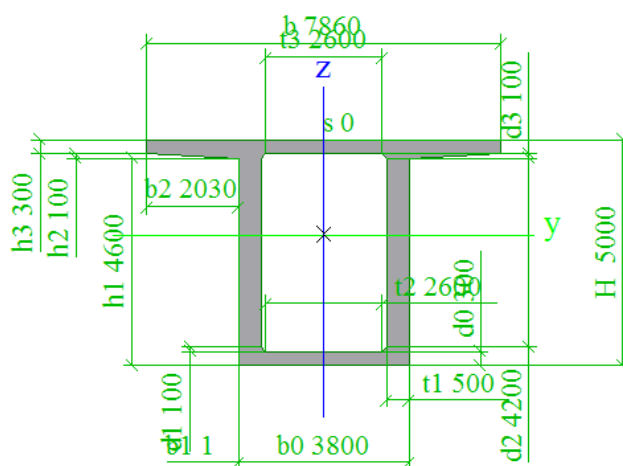
Pozn.: Na šedém pozadí jsou hodnoty platné pro základní rozpětí.

### 4.1.3 Předpjatá betonová komora

Komorové průřezy mají základní zadané rozpětí 50 m, proto je celková výška 5,0 m pro průřez s výškou d10 a 3,3 metru pro d15. Podobně jako u dvoutrámu je hodnota 3,3 zaokrouhlením hodnoty 10/3 odpovídající číslu 3,33. Stěny komory jsou uvažované svislé, konstantní šířky 50 cm. Horní deska i spodní deska mají tloušťku 30 cm. Konstruktivní zkosení vnitřních úhlů je vyřešeno náběhy 100x100 mm. Šířka komory je 3,8 metru, konzoly jsou proto dlouhé 2,03 m každá. Jejich tloušťka je 0,4 metru v místě napojení a na volném konci 0,3 m.



Obr. 6 - Předpjetá betonová komora



Obr. 7 - Předpjetá betonová komora, náhled modelu z programu Scia Engineer

Tab.3 - Základní průřezové charakteristiky PJB komory

Rozpětí	Varianta	Výška d	Plocha A	Mom setrv. $I_y$	Těžiště
45 m	d10	4500 mm	7,6218 m <sup>2</sup>	20,077 00 m <sup>4</sup>	2637 mm
	d15	3000 mm	6,1218 m <sup>2</sup>	7,279 40 m <sup>4</sup>	1807 mm
50 m	d10	5000 mm	8,1218 m <sup>2</sup>	26,148 00 m <sup>4</sup>	2907 mm
	d15	3300 mm	6,4218 m <sup>2</sup>	9,241 20 m <sup>4</sup>	1976 mm
55 m	d10	5500 mm	8,6218 m <sup>2</sup>	33,229 00 m <sup>4</sup>	3174 mm
	d15	3600 mm	6,7218 m <sup>2</sup>	11,488 00 m <sup>4</sup>	2143 mm

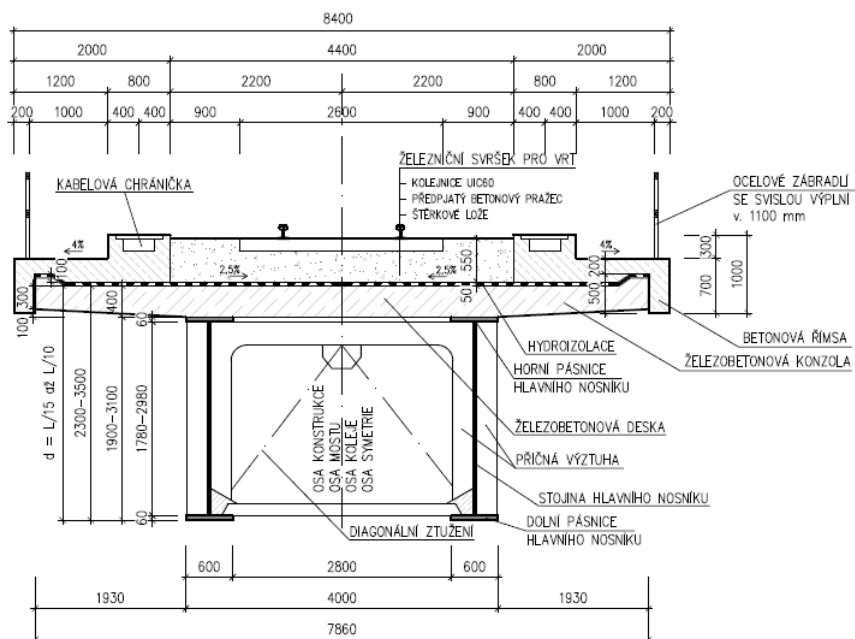
Pozn.: Na šedém pozadí jsou hodnoty platné pro základní rozpětí.



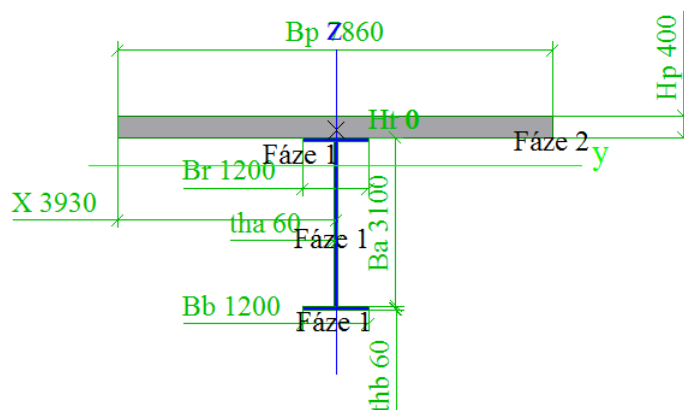
#### 4.1.4 Ocelobetonový spřažený dvoutrám

Druhým průřezem ze skupiny dvoutrámových průřezů je ocelobetonový spřažený dvoutrám, tvořený dvojicí svislých ocelových svařovaných I profilů a vodorovné železobetonové vrchní desky. Celková výška průřezu je stejná jako u předpjatého železobetonového dvoutrámu, tedy 3,5 metru a 2,3 metru. Tloušťka vrchní desky je konstantní - 0,4 m, na ocelové nosníky tak zůstává 3,1 metru v případě průřezu varianty d10 a 1,9 metru u d15. Pásnice jsou široké 600 mm o tloušťce plechu 60 mm, stojina těchto nosníků pak je vysoká 2 980 mm pro d10 a 1 780 mm pro d15 s tloušťkou 30 mm pro oba případy.

Výztužné prvky bránící boulení stěn a klopení i překlopení nosníků nejsou do průřezu zahrnuty, ale předpokládá se, že jsou dostatečné, aby tyto stabilitní problémy nehrály během analýzy roli. Tento předpoklad umožňuje pro výpočet charakteristik zjednodušený návrh průřezu, neovlivňující parametry použité k výpočtu, jako jsou plocha průřezu, moment setrvačnosti ve svislém směru (k vodorovné ose) či hodnota svislé pořadnice těžiště. Zmíněný zjednodušený návrh tedy obsahuje jen jeden trám, ale o dvojnásobných šířkách, nahrazující dvojici trámů. Náhled je na následujícím obrázku jako grafický výstup z programu Scia Engineer. V samotné analýze se průřez použije úplný, bez této šířkové změny.



Obr. 8 - Ocelobetonový spřažený dvoutrám



Obr. 9 - Spřažený ocelobetonový dvoutrám, náhled modelu z programu Scia Engineer

Tab.4 - Základní průřezové charakteristiky OcBet dvoutrámu

Rozpětí	Varianta	Výška d	Plocha A	Mom setrv. $I_y$	Těžiště
30 m	d10	3000 mm	5,0073 m <sup>2</sup>	4,637 80 m <sup>4</sup>	2242 mm
	d15	2000 mm	4,6255 m <sup>2</sup>	1,695 60 m <sup>4</sup>	1480 mm
35 m	d10	3500 mm	5,1982 m <sup>2</sup>	6,806 30 m <sup>4</sup>	2608 mm
	d15	2300 mm	4,7400 m <sup>2</sup>	2,397 30 m <sup>4</sup>	1713 mm
40 m	d10	4000 mm	5,3891 m <sup>2</sup>	9,493 20 m <sup>4</sup>	2967 mm
	d15	2600 mm	4,8545 m <sup>2</sup>	3,249 90 m <sup>4</sup>	1942 mm

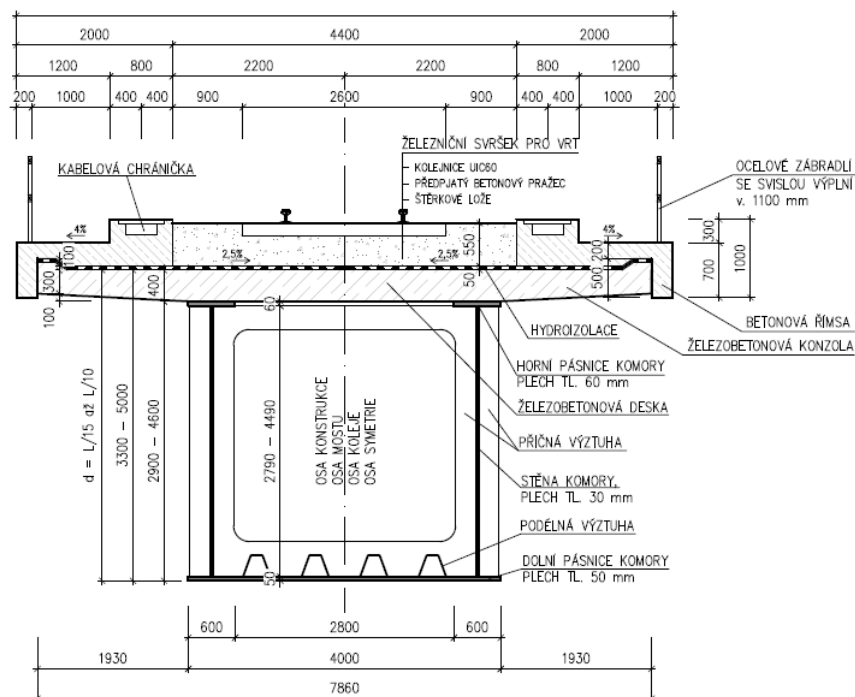
Pozn.: Na šedém pozadí jsou hodnoty platné pro základní rozpětí.

#### 4.1.5 Ocelobetonová spřažená komora

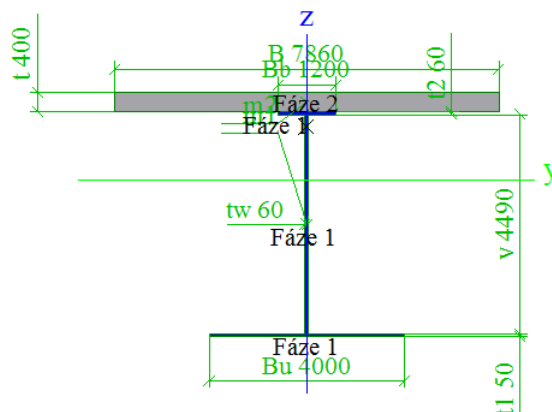
Druhým průřezem, nesoucím přívlástek komorový a zároveň posledním vyšetřovaným, je ocelobetonová spřažená komora stejných výšek, jako železobetonová předpjatá, tedy s výškou 5,0 metru a 3,3 metru pro průřez varianty d10 a d15, tvořená ocelovým „U“ profilem a vrchní železobetonovou deskou, podobně jako u spřaženého ocelobetonového dvoutrámu, o tloušťce 400 mm. Ocelový U profil je tvořený horními pásnicemi o šířce 600 mm a tloušťce 60 mm, kterými je připojena na zmíněnou betonovou desku, dolní pásnicí – dolní deskou komory, která je z plechu tl. 50 mm na šířku 4 metrů. Stojiny – stěny komory – jsou z plechu o tloušťce 30 mm a s výškou plechu 4 490 mm pro vyšší variantu a 2 790 mm pro nižší.

Stejně jako u ocelobetonového spřaženého dvoutrámu se i u tohoto průřezu výztuhy nenavrhují, ale uvažují se dostatečné, aby nebylo třeba se zabývat stabilitními problémy.

Další, co mají tyto průřezy společné, je možnost jejich zjednodušeného modelování pro výpočet průřezových charakteristik, a sice že se obě stěny ocelové komory (či truhlíku) srazí v jednu o dvojnásobné šířce a obě horní pásnice, sloužící pro sprážení s betonovou deskou, také nahradí jediná dvakrát širší pásnice. Oproti tomu dolní deska komory se ponechá, ta byla už z původního návrhu jen jedna. Tato úprava zaručí, že všechny pro výpočet potřebné průřezové charakteristiky, tedy ty, kde hraje roli plocha průřezu nebo umístění hmoty ve svislém směru, zůstanou stejné. Náhled je možné vidět na obrázku 11. Stejně tak platí i to, že se v pravé dynamické analýze jako takové použije úplný průřez bez této šířkové úpravy.



Obr. 10 - Ocelobetonová sprážená komora



Obr. 11 - Sprážená ocelobetonová komora, náhled z programu Scia Engineer

Tab.5 - Základní průřezové charakteristiky OcBet komory

Rozpětí	Varianta	Výška d	Plocha A	Mom setrv. $I_y$	Těžiště
45 m	d10	4500 mm	6,5142 m <sup>2</sup>	20,648 50 m <sup>4</sup>	2917 mm
	d15	3000 mm	5,9414 m <sup>2</sup>	8,151 00 m <sup>4</sup>	1943 mm
50 m	d10	5000 mm	6,7051 m <sup>2</sup>	26,278 00 m <sup>4</sup>	3234 mm
	d15	3300 mm	6,0560 m <sup>2</sup>	10,146 20 m <sup>4</sup>	2141 mm
55 m	d10	5500 mm	6,8960 m <sup>2</sup>	32,692 70 m <sup>4</sup>	3546 mm
	d15	3600 mm	6,1705 m <sup>2</sup>	12,386 70 m <sup>4</sup>	2338 mm

Pozn.: Na šedém pozadí jsou hodnoty platné pro základní rozpětí.

## 4.2 Statická schémata a rozpětí

Základní statické schéma, pro které se provede parametrická studie dynamického chování, je prostý nosník s převislými konci. Vzhledem k velikosti prvků v analýze jsou v programu tyto konce dlouhé 1 m, přestože se na reálných konstrukcích pohybují v hodnotách 60 až 80 cm. Toto je dále popsáno v kapitolách 8 a 10 - Tvorba modelu v CSI, resp. v midasu, podkapitoly Konstrukce.

Velikosti rozpětí závisí na průřezu. Pro deskový průřez je základní rozpětí 15 m, pro průřezy dvoutrámů je 35 m a pro komorové průřezy 50 m. Tyto hodnoty byly v dalších fázích zvětšeny, resp. zmenšeny o 5 m. Tímto zvětšením a zmenšením se dosáhne toho, že studie vystihne chování mostních konstrukcí v rozsahu jejich rozpětí od 10 do 55 metrů, vždy po 5 metrech, s výjimkou hodnoty 25 m.

Všechna rozpětí jsou shrnuta v následující tabulce:

Tab.6 - Tabulka rozpětí pro průřezy

Průřezy	Rozpětí		
	Zmenšené	Základní	Zvětšené
Deskové	10 m	15 m	20 m
Dvoutrámové	30 m	35 m	40 m
Komorové	45 m	50 m	55 m

Poslední fází parametrické studie byl spojitý nosník o 4 polích, jeho rozpětí je popsáno v kapitole 10.7 - Tvorba modelu v midasu - Varianty výpočtu.

### 4.3 Zatěžovací soupravy

Tato práce je zaměřená na mosty pro vysokorychlostní železniční tratě. Základním modelem, kterým se nechaly mostní konstrukce pojíždět, je proto model HSLM ve svých 10 variantách HSLM A1 až HSLM A10 (dle normy ČSN EN 1991-2 Zatížení mostů dopravou [1]). Dalšími modely jsou 3 soupravy MU, u kterých se uvažuje jízda vysokými rychlostmi do 420 km/hod, tedy modely MU-Class AB\_4, MU-Class CB\_2 a MU-Class SA\_2 s nápravovým zatížením  $P_{MUclass} = 21,5$  tuny [2]. Poslední soupravou uvažovanou pro všechny průřezy je skutečný vlak typu C14 – ICE-T1 411. Celkem tak u každé konstrukce, pro každou variantu průřezu, proběhla analýza 14 vlakových souprav.

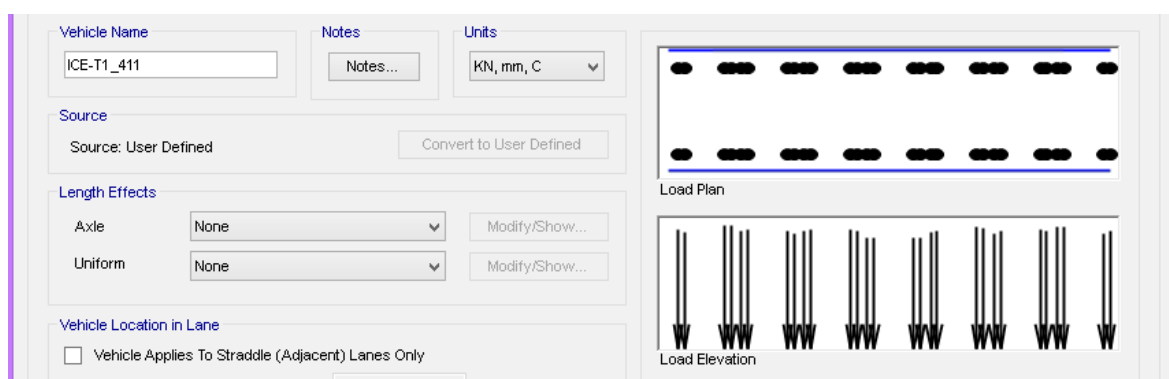
Z důvodu zájmu o analýzu přejezdu nové lokomotivy Škoda transportation – 109E1 s obchodním názvem Emil Zátpek, byl pro železobetonový předpjatý dvoutrám do studie zařazen i zatěžovací model obsahující tuto lokomotivu v soupravě specifikované společností Škoda transportation.

Tab.7 - Tabulka zatěžovacích souprav

Model	Délka	Délka vagonu	Počet náprav	Nápravová síla
HSLM A1	397,5 m	18,0 m	50	170 kN
HSLM A2	398,5 m	19,0 m	48	200 kN
HSLM A3	397,5 m	20,0 m	46	180 kN
HSLM A4	394,5 m	21,0 m	44	190 kN
HSLM A5	389,5 m	22,0 m	42	170 kN
HSLM A6	382,5 m	23,0 m	40	180 kN
HSLM A7	397,5 m	24,0 m	40	190 kN
HSLM A8	387,5 m	25,0 m	38	190 kN
HSLM A9	375,5 m	26,0 m	36	210 kN
HSLM A10	388,5 m	27,0 m	36	210 kN
MU – AB4	437,0 m	17,0 m	56	211 kN
MU – CB2	373,0 m	16,0 m	56	211 kN
MU – SA2	391,0 m	13,0 m	46	211 kN
C14 - ICE	184,4 m	16,3 m	28	152 – 170 kN
109E1 - EZ	334,8 m	26,4 m	52	120 – 220 kN

V tabulce je vidět, že všechny soupravy, s výjimkou vlaku C14 a 109E1, mají konstantní hodnotu nápravové síly. U vlaku C14 – ICE T1 411 jsou tyto síly rozdělené ve „vlnách“ podle konstrukce vlaku. Představu o jejich rozdělení lze graficky najít v pravé části na následujícím obrázku ze zadávání soupravy do programu CSi Bridge.

Souprava 109E1 – EZ pojmenovaná podle lokomotivy od společnosti Škoda transportation má 4 síly v hodnotě 220 kN od lokomotivy a 48 sil 120 kN od vagonů. Všechny vozy jsou na dvounápravách s rozvorem 2,5 metru ve světlé vzdálenosti 16,5 metru. Vzdálenost mezi nápravami sousedních vozů je 4,9 m.



Obr. 12 - Rozdělení sil v zatěžovacím modelu soupravy ICE

Díky tomu, že mají tyto zatěžovací modely konstantní délku vagonů, dá se zatížení od jejich přejezdu považovat za periodické dynamické zatížení.

Jak lze dále z tabulky vyčíst, soupravy plynule pokrývají délkou svých vagonů hodnoty od 16 do 27 metrů s drobným odskokem hodnoty 13 metrů u soupravy SA2 třídy MU. Jelikož je budící frekvence dynamického zatížení dána nepřímo úměrně touto délkou a přímo úměrně rychlostí přejezdu soupravy, pokrývají tyto zatěžovací modely i široké frekvenční spektrum v rozsahu od 2,06 Hz při přejezdu soupravy s největší délkou vagonu, což je model HSLM A10, při nejnižší rychlosti, tedy 200 km/hod, do 7,29 Hz při přejezdu soupravy CB2 třídy MU při nejvyšší rychlosti 420 km/hod. Mírně odsunutý model MUClass – SA2 svou délkou vagonu 13 metrů způsobí při nejvyšší rychlosti ještě vyšší frekvenci než ostatní modely, a to téměř 9 Hz. Tyto hodnoty jsou spolu s rychlostmi zaznamenány v tabulce 8 – Tabulce přejezdových rychlostí v následující kapitole.

## 4.4 Rychlosti přejezdu

Během úvodní diskuze se za nejvhodnější určilo, aby byly všechny mostní konstrukce s příslušnými průřezy a jejich variantami zatíženy v rychlostech od 200 km/hod do 420 km/hod, včetně těchto krajních hodnot. Šlo o všechny násobky 20 km/hod v tomto intervalu doplněné o rychlosti 250 km/hod a 350 km/hod, celkem tedy 14 rychlostmi. Rozsah 200 až 420 km/hod nebyl zvolen náhodou, jde totiž o rychlosti, kterými se vyznačují vysokorychlostní tratě. Na konvenčních tratích do rychlosti 200 km/hod není při splnění konstrukčních parametrů nutné dělat dynamickou analýzu. Vysokorychlostní vlakové soupravy se navrhují na maximální rychlost 420 km/hod, což odpovídá předepsané maximální rychlosti souprav MUClass zmíněných v předchozí kapitole.

Jak bylo nastíněno v předchozí kapitole, rychlost je jedním z velmi důležitých parametrů, určujících budící frekvenci periodického dynamického zatížení, a to přímo úměrně, s rostoucí rychlostí roste i budící frekvence. V následující tabulce jsou použité rychlosti uvedené v jednotkách km/hod i m/s, ve kterých se zadávaly do programů.

Tab.8 - Tabulka přejezdových rychlostí

Rychlost		Budící frekvence [Hz]	
km/hod	m/s	Min	Max
<b>200</b>	<b>55,56</b>	<b>2,06</b>	<b>4,27</b>
220	61,11	2,26	4,70
240	66,67	2,47	5,13
<b>250</b>	<b>69,44</b>	<b>2,57</b>	<b>5,34</b>
260	72,22	2,68	5,56
280	77,78	2,88	5,98
<b>300</b>	<b>83,33</b>	<b>3,09</b>	<b>6,41</b>
320	88,89	3,29	6,84
340	94,44	3,50	7,27
<b>350</b>	<b>97,22</b>	<b>3,60</b>	<b>7,48</b>
360	100,00	3,70	7,69
380	105,56	3,91	8,12
<b>400</b>	<b>111,11</b>	<b>4,12</b>	<b>8,55</b>
420	116,67	4,32	8,97

Pozn.: Pro přehlednost jsou násobky 50 km/hod vyznačeny tučně na šedém pozadí

## **5 Výpočetní programy**

Pro parametrickou studii jako takovou byly použity dva výpočetní programy, prvním z nich je CSi Bridge a druhým midas/Civil, jejichž výstupy budou vzájemně porovnány pro ověření výsledků. V každém z těchto programů se konstrukce a její zatížení, zvláště pak to dynamické, důležité pro tuto analýzu, zadává jiným způsobem, čehož pak bylo využito při rozšiřování parametrů analýzy. Zatímco v programu midas se snadno ovlivňuje vlastní hmotnost, tuhost a další parametry průřezu, u CSi se zase velmi rychle a snadno mění parametry konstrukce, jako je rozpětí, ale hlavně zatížení, konkrétně zatěžovací souprava a její rychlost. Velkou výhodou midasu je zase mimořádná rychlost, jakou se zadané zatížení počítá. Množstvím vstupních dat srovnatelné výpočty trvaly o mnoho řádů kratší dobu, než v CSi. Zatímco v CSi se totiž počítal čas výpočtu na desítky minut až hodiny, v programu midas trval výpočet maximálně desítky vteřin.

Pro zjištění základních průřezových charakteristik zadaných průřezů a ověření vlastních frekvencí konstrukcí mostů z prvních dvou posloužil program Scia Engineer.

### **5.1 CSi**

Základním programem pro výpočtovou část parametrické studie dynamického chování mostů pro vysokorychlostní tratě je program CSiBridge 2016 společnosti CSi (Computer & Science, inc). Licenci k programu pro provedení této studie zapůjčila Fakulta stavební ČVUT.

### **5.2 Midas**

Druhotným programem, určeným převážně pro ověření výsledků z CSiBridge, ale pro poslední fázi základním programem, je midas/Civil 2016. Licenci k programu pro provedení této studie zapůjčila společnost SUDOP Praha a.s.



### **5.3 Scia Engineer**

Dalším využitým výpočetním programem je Scia Engineer společnosti Nemetschek. Ten posloužil pro ověření vlastních frekvencí a pro zjištění průřezových charakteristik průřezů. Licence k tomuto programu je studentská, zdarma poskytovaná studentům vysokých technických škol pro výukové účely.

### **5.4 Varianty výpočtu**

V každém z použitých programů se dá nějaká část upravovat nebo zadávat snáze. Na základě časové náročnosti nebo naopak časové výhodnosti úprav některých parametrů této studie bylo určeno, v jakém programu se tyto parametry budou měnit a sledovat výsledky. Pro připomenutí, parametry této studie jsou průřezy a jejich varianty, statická schémata a příslušná rozpětí, modely zatěžovacích souprav a přejezdové rychlosti těchto souprav.

Varianty výpočtu spočívají ve změně některých parametrů studie. Zatímco zatěžovací soupravy a jejich rychlosti jsou pevně dané, štíhlosti mostů, určené výškou jejich průřezů, jsou jedním z proměnných parametrů. Dalším proměnným parametrem je statické schéma. U něj změna znamená nejen čistě změnu upevnění, konkrétně z prostého nosníku na spojitý čtyřpolový nosník, ale i změnu velikosti rozpětí původně zadaného prostého pole o +/- 5 metrů, jak je blíže popsáno v kapitole Parametry studie, podkapitole Statická schémata.

Jak bylo zmíněno na začátku kapitoly, oprava rozpětí se v programu CSi provádí mnohem snáze než v programu midas, proto se změna rozpětí, popsaná výše, provedla právě v CSi. Tato změna je popsána v kapitole 8.7 – Tvorba modelu v CSi – Varianty výpočtu. Stejně tak snadno by se dal v tomto programu zadat i spojitý nosník, ale za cenu přílišné doby výpočtu, na kterou už by nedostačoval časový fond poskytnutý pro tvorbu této práce. Změna statického schématu na spojitý nosník, u kterého k dalším změnám rozpětí nedocházelo, tak byla provedena v midasu.

V něm se velmi snadno dají ovlivňovat parametry průřezu. To se sice v CSi dá provádět také, ale vzhledem k tomu, že tam je to náročnější a hlavně k době výpočtu potřebné v CSi, se změny průřezových charakteristik provedly právě v midasu.

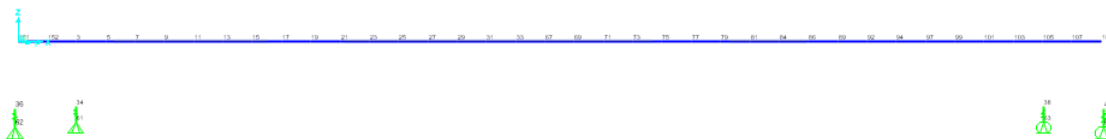
Tyto změny průřezových charakteristik byly dvojího typu. Prvním typem, který je snáze pochopitelný, je změna štíhlosti mostu ovlivněním celkové výšky průřezu, což znamená doplnění základních výšek průřezu, označených jako d10 a d15 podle toho, zda je zmíněná celková výška průřezu  $d$  desetinou nebo patnáctinou rozpětí hlavního pole, o další výšky průřezu a tím tedy i štíhlosti mostu. K těm ale došlo pouze u spojitých nosníků a k tomu jen u železobetonového a předpjatých betonových průřezů, jelikož pouze tyto byly původně v midasu ověřovány. Pro železobetonovou desku tak ve výsledku (se zaokrouhlením na celá čísla) šlo o průřezy s označením podle poměru k rozpětí v hodnotách d10, d13, d15 a d20. U předpjatého betonového dvoutrámu jsou to průřezy d10, d12, d15 a d17 a nakonec u předpjaté betonové komory o průřezy d10, d15, d18 a d20. Tyto výšky jsou shrnuty v tabulce v kapitole Tvorba modelu v midasu – Varianty včetně rozpětí, ze kterého vycházejí. Toto rozpětí neodpovídá ve všech případech základnímu podle kapitoly Statická schémata, ale je upravené a jde o větší z polí spojitých nosníků. Upravené hodnoty rozpětí pro spojitý nosník jsou v tabulce ve stejné kapitole.

Druhým způsobem, kterým byly ovlivněny vlastnosti průřezů, je ovlivnění vlastní hmotnosti průřezu a tím poklesu zatížení od vlastní tíhy (za zachování ostatních stálých zatížení nezměněných). Toto simuluje přiblížení se poměru tuhosti a hmotnosti mostů pro vícekolejně tratě, kde je zpravidla dosahováno vyšší tuhosti při menší hmotnosti připadající na jednu kolej, než je tomu u mostů jednokolejných. Podobně jako u změny rozpětí u CSi přidaly i tyto úpravy hmotnosti další dvě do celkových tří variant výpočtu, konkrétně v hodnotách 100 %, 90 % a 80 % původní vlastní hmotnosti průřezu, tedy plná tíha a vždy po 10% skocích snižená.

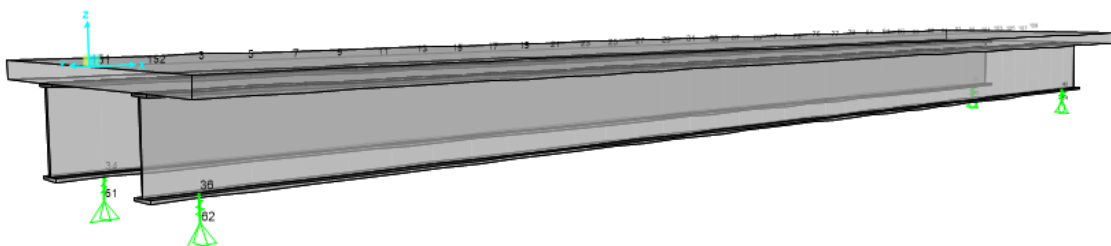
## 6 Zvolený model

Základním výstupem této práce je maximální zrychlení konstrukce mostu jako celku v závislosti na rychlosti od každé z uvažovaných souprav pro každý ze zadaných průřezů a každé rozpětí. Pro účely práce proto nejsou dílčí hodnoty kmitání, například pásnic nebo ztužidel, důležité a pro analýzu postačí pouze prutový model, tedy model, který uvažuje konstrukci jen ke střednici se všemi průřezovými charakteristikami, čímž uvažuje průřez naprosto neměnný. Oproti tomu deskostěnový model, skořepina nebo nějaká kombinace zmíněných umožňuje zjištění chování modelu v několika místech průřezu, jeho deformaci, zkosení a třeba i všechna dílčí kmitání, ale za cenu mnohonásobné doby výpočtu, a to navíc, jak je popsáno výše, zbytečně.

Všechny zadané mosty jsou přímé a zajímá nás jen kmitání svislé. Boční ani torzní kmitání tak není předmětem studie a lze proto analýzu zjednodušit z modelu s prostorovým chováním na model s rovinným chováním v souřadné rovině XZ, tedy ve směru osy mostu a ve svislém směru. Toho se dá v obou zmíněných programech, ve kterých je dynamická analýza prováděna, docílit v nastavení, jak je dále popsáno v kapitolách rozebírajících popis tvorby modelu.



Obr. 13 - Prutový model v programu CSi Bridge



Obr. 14 - Prutový model s vykreslením průřezu v programu CSi Bridge

Na obrázcích výše je náhled modelu z programu CSi Bridge, v obou případech je v perspektivě, proto dvojice podpor na prvním obrázku působí, jako by připadala jiným uzlům. Na druhém obrázku je vidět, že tomu tak ale není.

## 7 Útlum

Každá existující konstrukce má nějakou hodnotu útlumu, což je schopnost konstrukce převádět kinetickou energii na jiné formy energie, nejčastěji tepelnou, případně i na zvuk. Útlum patří do trojice spjatých vlastností každé konstrukce – vlastní frekvence nebo perioda, vlastní tvary kmitání a útlum, uváděný jako poměrný útlum nebo logaritmický dekrement útlumu. Přestože je s každou vlastní frekvencí a tvarem spojen jiný útlum, často se bezpečně a pro zjednodušení používá jen první hodnota. Hodnota útlumu vyšších vlastních tvarů má totiž rostoucí tendenci, stejně jako vlastní frekvence.

V současné době neexistuje způsob, jak útlum spolehlivě spočítat, lze jej pouze vyčíst z výsledků dynamických zkoušek konstrukce nebo přibližně určit na základě empirických vzorců. Jelikož nebyly k dispozici žádné výsledky zkoušek na mostech se stejnými parametry, jako mají mosty z této parametrické studie, bylo třeba k útlumu dojít přes zmíněné empirické vzorce. Ty se nacházejí v normě [1] ČSN EN 1991-2 – Zatížení mostů dopravou, v Tabulce 6.6 (na obrázku níže), a určují dolní mezní hodnoty útlumu, která bude konzervativně použita jako hodnota útlumu pro účely výpočtu.

ČSN EN 1991-2

**Tabulka 6.6 – Hodnoty útlumu předpokládané pro účely návrhu**

Typ mostu	$\zeta$ dolní mez procenta kritického útlumu [%]	
	rozpětí $L < 20$ m	rozpětí $L \geq 20$ m
ocelové a spřažené	$\zeta = 0,5 + 0,125 (20 - L)$	$\zeta = 0,5$
předpjatý beton	$\zeta = 1,0 + 0,07 (20 - L)$	$\zeta = 1,0$
zabetonované ocelové nosníky a železobeton	$\zeta = 1,5 + 0,07 (20 - L)$	$\zeta = 1,5$

*Obr. 15 - Určení dolní meze útlumu podle normy [1]*

Z obrázku je patrné, že dolní mez útlumu závisí na materiálu a rozpětí konstrukce a že je proměnná jen do rozpětí 20 m a dále je už konstantní. Pro dvoutrámové a komorové průřezy, jejichž rozpětí v této studii nikdy neklesnou pod 30 metrů, jsou tak tyto hodnoty pevně určeny. Ocelobetonové spřažené průřezy, tedy dvoutrám i komora, mají hodnotu pro všechny varianty rovnou 0,5 %. Předpjaté betonové průřezy, dvoutrám i komora, setrvávají svým útlumem na hodnotě 1,0 %. Jen železobetonová deska se svým rozpětím pohybuje pod hranicí 20 m a má proto proměnné hodnoty útlumu.

Pro rozpětí pod třicet metrů se navíc k útlumu podle zmíněných vzorců používá ještě dodatečný útlum dle vzorce 6.12 a 6.13 nebo obrázku 6.15 ze stejné normy [1]. Ty jsou na obrázcích níže. Dále pak následuje tabulka útlumů použitých při výpočtu pro všechny průřezy a rozpětí včetně započítaného dodatečného útlumu, který je maximální právě pro rozpětí 15 m.

$$\zeta_{\text{TOTAL}} = \zeta + \Delta\zeta \quad (6.12)$$

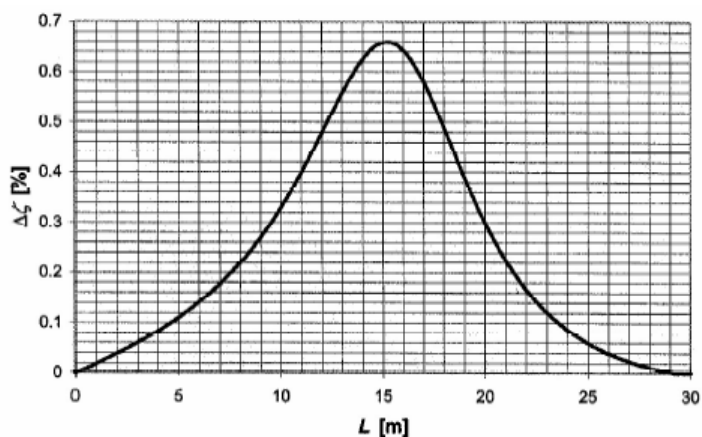
kde

$$\Delta\zeta = \frac{0,0187L - 0,00064L^2}{1 - 0,0441L - 0,0044L^2 + 0,000255L^3} [\%] \quad (6.13)$$

$\zeta$  je dolní mez kritického útlumu v procentech [%] definovaná v 6.4.6.3.1.

Obr. 16 - Dodatečný útlum – vzorec z normy [1]

ČSN EN 1991-2



Obrázek 6.15 – Přidavný útlum  $\Delta\zeta$  [%] jako funkce rozpětí  $L$  [m]

Obr. 17 - Dodatečný útlum – křivka z normy [1]

Tab.9 - Tabulka použitých útlumů

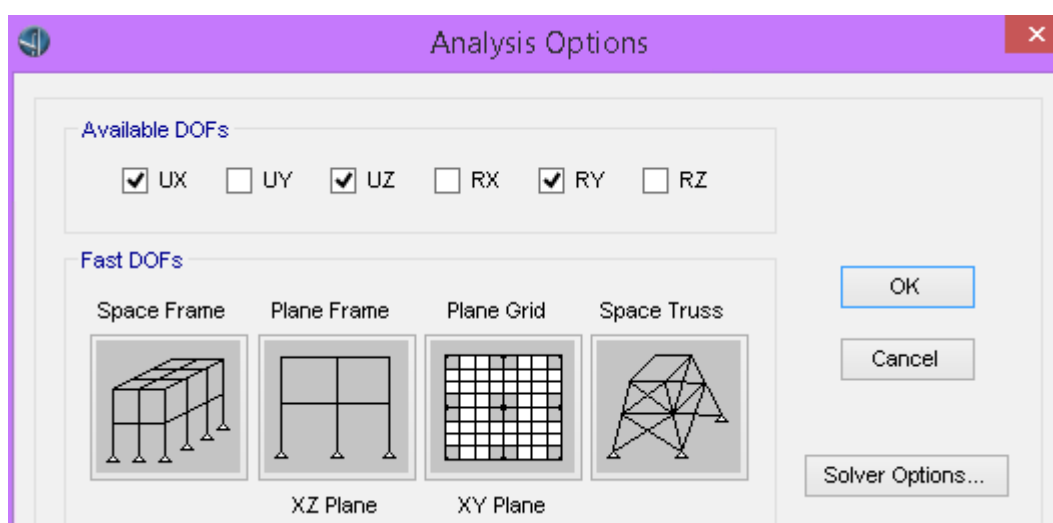
Průřez	Hodnota útlumu [-] pro rozpětí		
	Zmenšené	Základní	Zvětšené
Železobetonová deska	0,025	0,025	0,018
Předpjatý bet. dvoutrám	0,010	0,010	0,010
Ocelobetonový dvoutrám	0,005	0,005	0,005
Předpjatá bet. komora	0,010	0,010	0,010
Ocelobetonová komora	0,005	0,005	0,005

## 8 Tvorba modelu v CSi Bridge

Tvorba základního modelu mostní konstrukce v CSiBridge sledovala funkci Bridge Wizard, která umožňuje rychlejší zadání a změnu parametrů jednoduchých modelů. Vzhledem k tomu, že průřezy jsou po délce rozpětí i celé konstrukce konstantní, že jsou všechny mosty reprezentovány prutovým modelem a že je potřeba v modelu několikrát měnit parametry jako rozpětí a průřez či jeho varianta, je pro zadávání tato funkce ideální.

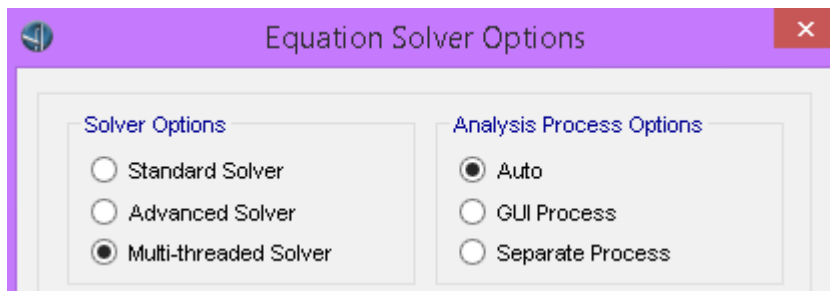
### 8.1 Nastavení

Jak je zmíněno výše, analýzu lze zjednodušit na rovinnou úlohu. Proto byla v nastavení analýzy vybrána možnost Plane frame (vizte obrázek 18 – Nastavení analýzy), neboli rovinný rám, se stupni volnosti UX, UZ, RY, tedy posun ve směru osy mostu, posun ve svislém směru a natočení v rovině dané těmito dvěma směry.



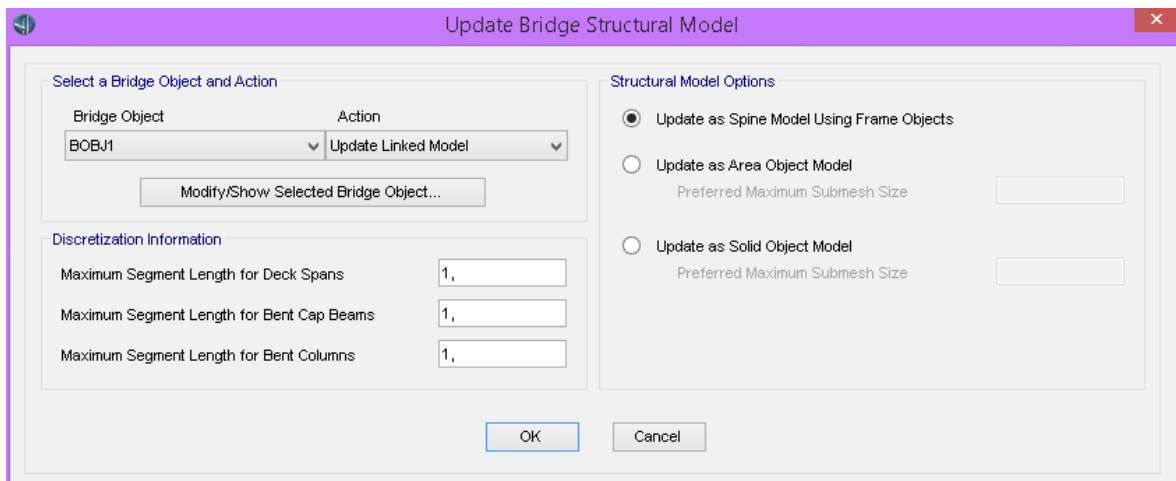
Obr. 18 - Nastavení analýzy – volba stupňů volnosti UX, UZ, RY

Dalším nastavením je nastavení řešiče (vizte obrázek 19 – Nastavení řešiče), kde bylo nastaveno Multi-threaded Solver, což je možnost umožňující rychlejší výpočet u počítačů s vícejádrovými procesory, ale za cenu ztráty informace o případné nestabilitě konstrukce. Vzhledem k jednoduchosti podepření řešených konstrukcí však toto nebezpečí nehrozilo.



Obr. 19 - Nastavení řešiče

Velmi důležitým krokem je nastavení diskretizačního kroku pomocí vzdálenosti uzlů konstrukce, tedy maximální délkou segmentů. Tato možnost se nastavuje pod volbou Update Bridge Structural Model (vizte Obr. 20) v panelu Bridge. Aby počty uzlů z programu CSiBridge odpovídaly programu midas/Civil, byla délka segmentu nastavena na 1,0 m pro všechny průřezy s výjimkou železobetonové desky, kde je nastavena na 0,5 m. Tyto hodnoty byly zvoleny, protože se z nich dá sestavit každé ze zadaných rozpětí a zároveň se příliš neliší od délky převislých konců. Jelikož se v programu midas/Civil musí zachovat konstantní vzdálenost uzlů, aby bylo možné zadat dynamickou analýzu, byla pro porovnatelnost uzlů zachována i v CSi. U desky (v CSi i v midasu) byla tato hodnota poloviční kvůli zachování dostatečné plynulosti dělení, protože její rozpětí byla zdaleka nejmenší.



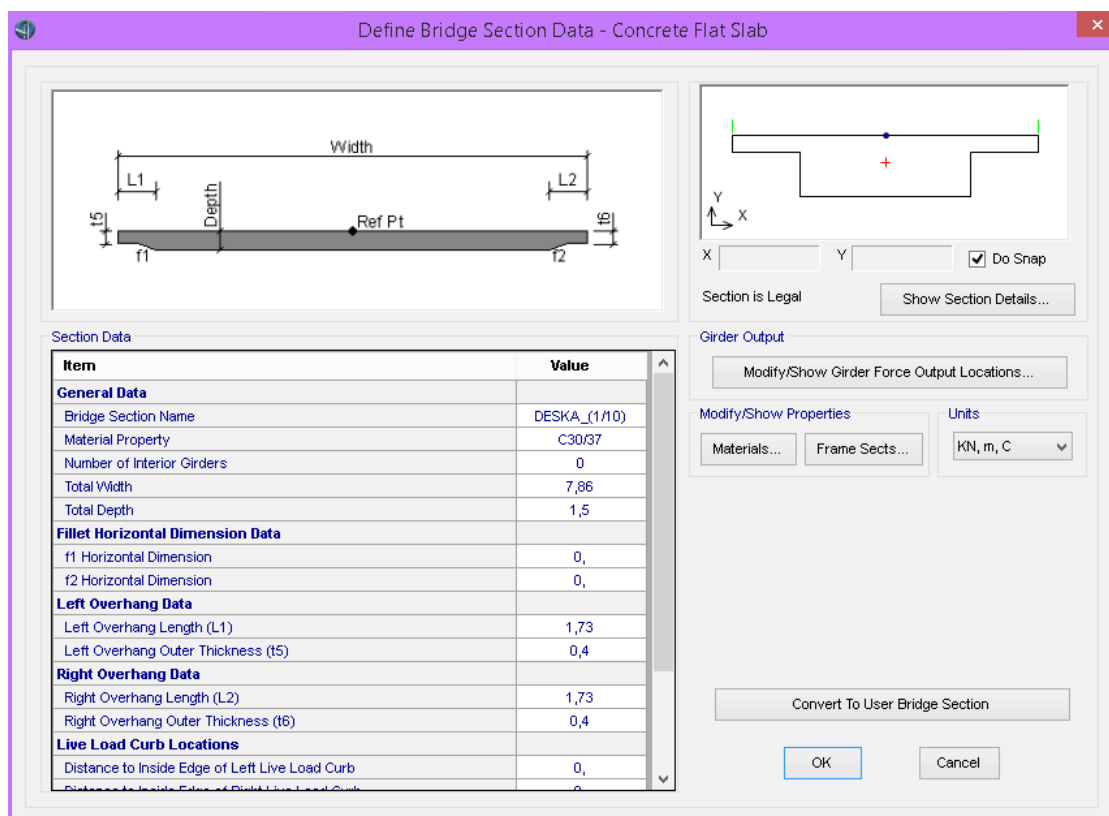
Obr. 20 - Nastavení velikosti dílců a volba konstrukčního modelu

## 8.2 Průřezy

V CSi Bridge proběhla analýza pro všech 5 vybraných průřezů, tedy deskový průřez, dva dvoutrámové a dva komorové. Jejich výška odpovídá desetíně, resp. patnáctině příslušného rozpětí. Následující schémata platí jen pro základní rozpětí, pro zvětšená a zmenšená se celková výška průřezu proporcionálně mění. Konzoly průřezu, velikosti pásnic a šířky nosníků zůstávají stejné, stejně jako železniční svršek a římsy. Šířka průřezů (bez říms) byla určena podle vzoru společnosti SUDOP Praha a.s. na 7,86 m a byla stejná pro všechny průřezy. Průřezy jsou tvořeny dvěma materiály, betonem třídy C30/37 a ocelí třídy S355, tedy základními materiály pro konstrukce mostů.

### 8.2.1 Železobetonová deska

Na ilustraci níže je vidět zadávání průřezu s hodnotami pro železobetonovou desku o výšce v hodnotě jedné desetiny rozpětí. Tento způsob zadávání neumožňuje zmenšující se výšku konzol, proto byla jejich tloušťka zvolena jako konstantní, jak bylo zmíněno v kapitole 4.1 – Parametry Studie - Průřezy.

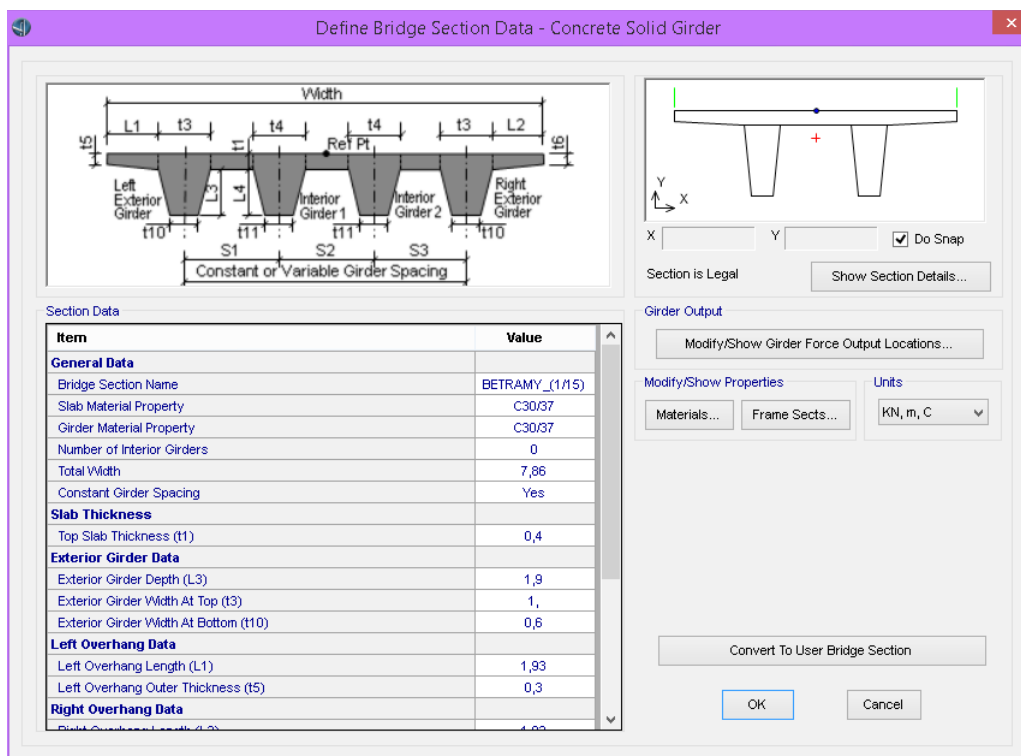


Obr. 21 - Zadávání průřezu železobetonové desky v programu CSiBridge



## 8.2.2 Předpjatý betonový dvoutrám

Na následujícím schématu je vidět možnost zadávání železobetonového vícetrámového průřezu. Pro dvoutrám v této analýze je tak počet vnitřních trámů roven nule a uvažují se pouze dva krajní.



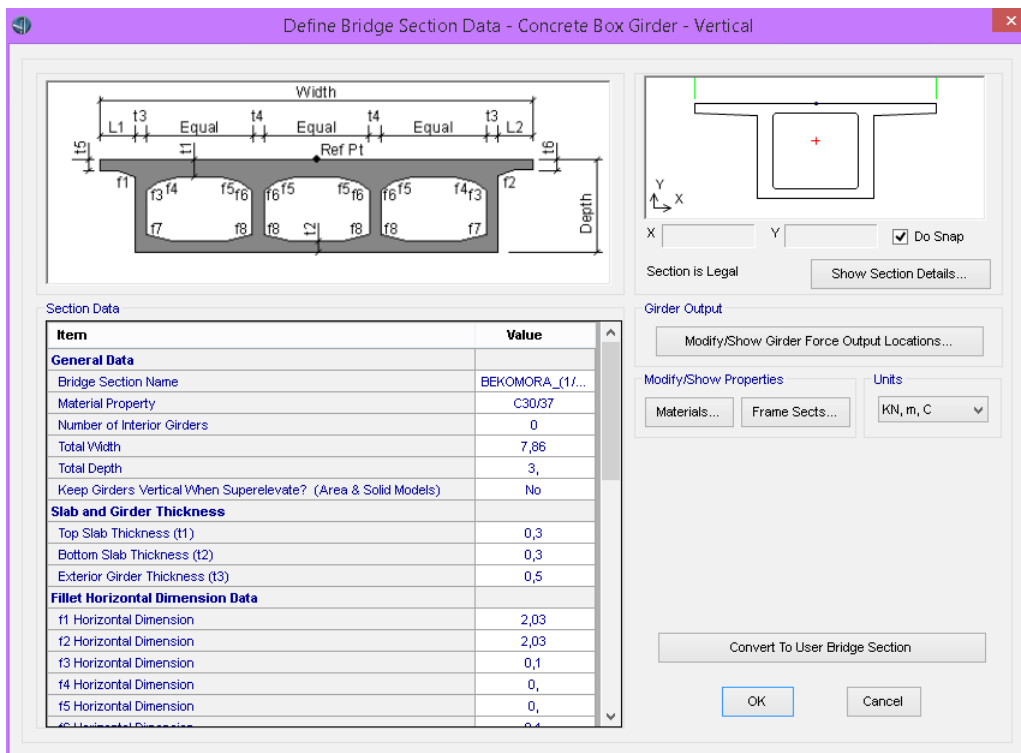
Obr. 22 - Zadávání průřezu předpjatého betonového dvoutrámu v programu CSiBridge

## 8.2.3 Předpjatá betonová komora

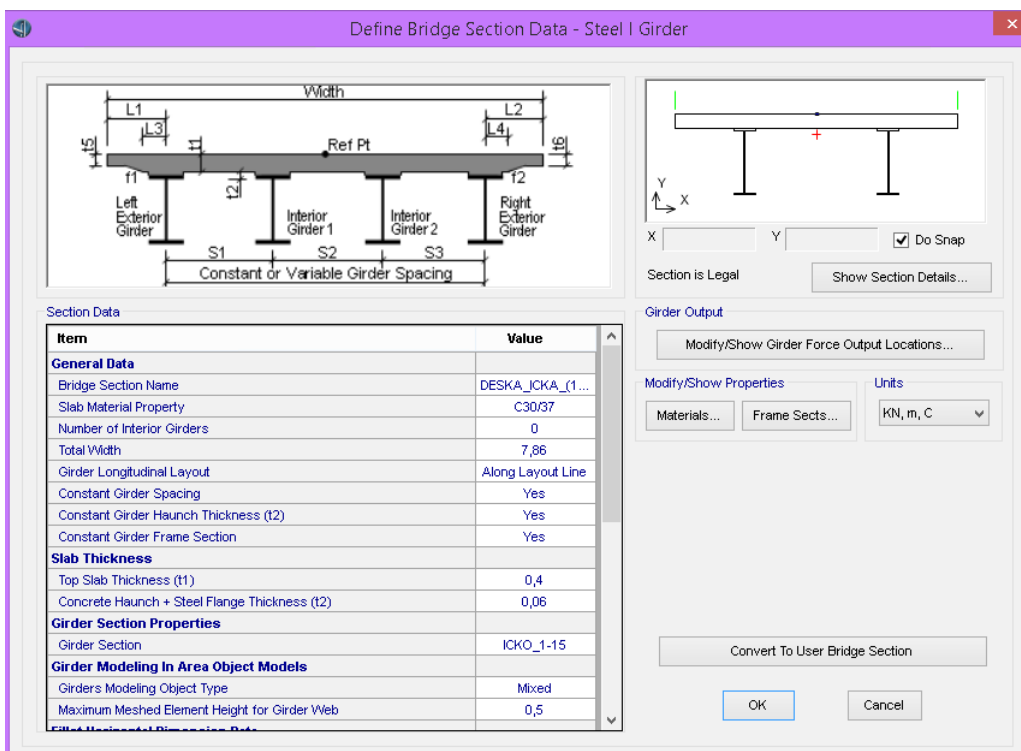
Na schématu níže je vidět zadávání průřezu pro železobetonovou komoru. V tomto případě jde o zadávání u zkráceného rozpětí, které činí 45 m, proto je výška průřezu na ilustraci 3,0 m místo 3,3 m, která by byla u základního rozpětí.

## 8.2.4 Ocelobetonový spřažený dvoutrám

Na schématu na obrázku 24 je vidět zadávání tohoto průřezu. Vlastnosti ocelové části průřezu se zadávají zvlášť v Section Designeru, v tomto dialogu se pouze vybere ze seznamu použitelných prvků (viditelné v dolní části zvané Girder Section).



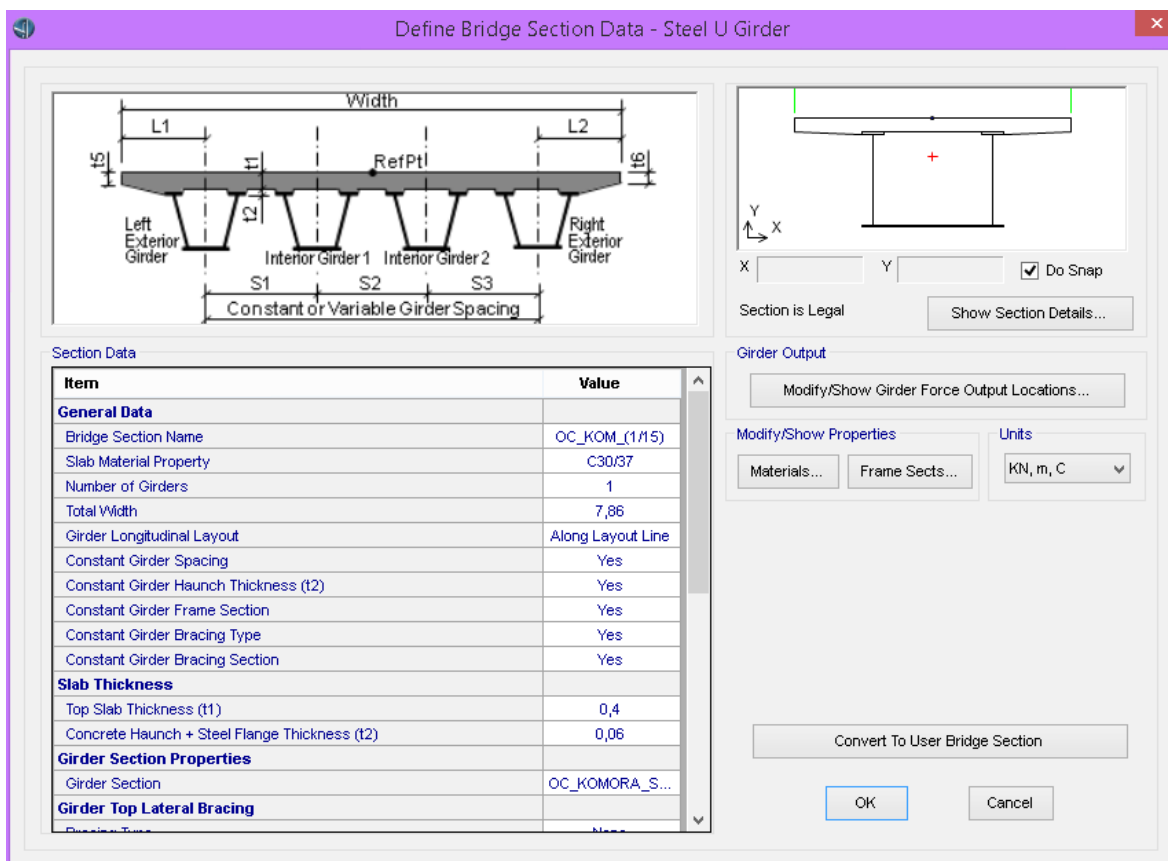
Obr. 23 - Zadávání průřezu předpjaté betonové komory v programu CSiBridge



Obr. 24 - Zadávání spráženého ocelobetonového průřezu s dvěma ocelovými nosníky

## 8.2.5 Ocelobetonová spřažená komora

Na následující ilustraci je opět vidět zadávací dialog průřezu a stejně, jako tomu bylo u ocelového spřaženého dvoutrámu se ani zde nezadáva ocelová část průřezu přímo, ale samostatnou editací a následným výběrem vhodného prvku v kolonce Girder Section.



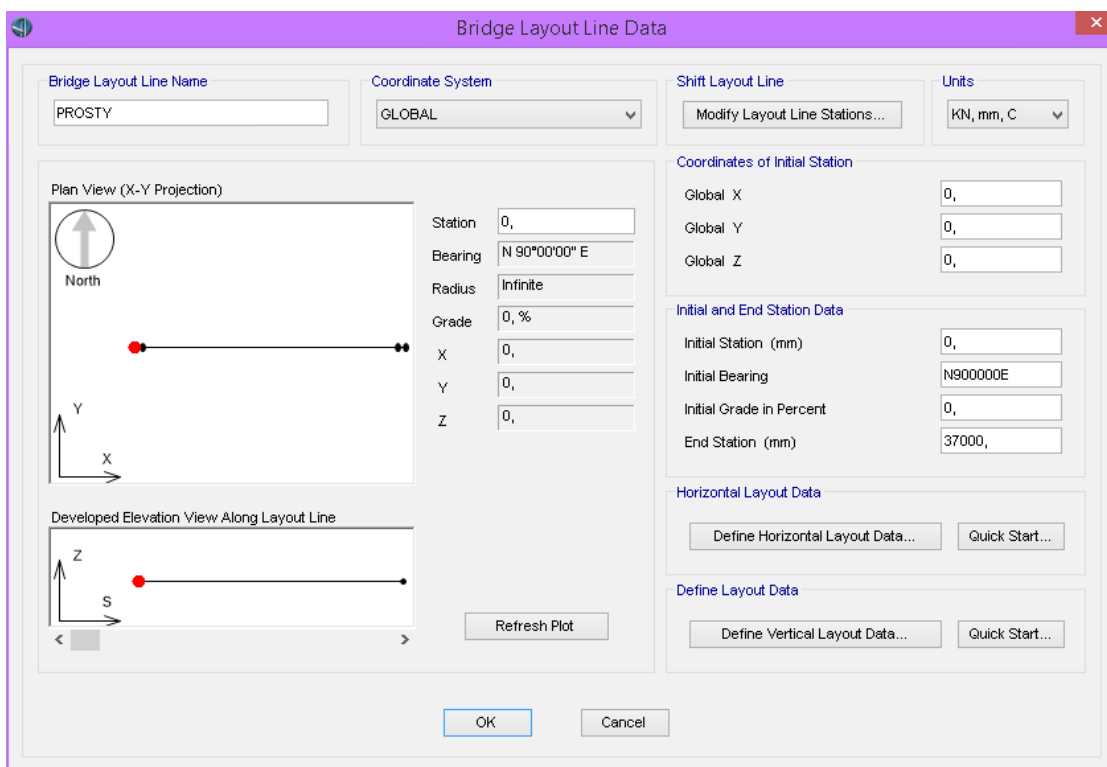
Obr. 25 - Zadávání spřaženého ocelobetonového průřezu s ocelovou komorou

## 8.3 Konstrukce

Začátek zadávání konstrukce v programu CSiBridge spočívá v nastavení geometrického vedení osy mostu pomocí Bridge Layout Line Data. Jak bylo zmíněno v kapitolách 6 – Zvolený model a 8.1 – Tvorba modelu v CSi - Nastavení, konstrukce se, ač zadaná v prostoru, bude vyšetřovat jen rovinnou analýzou, takže je nežádoucí směr zadávat jiný, než přímý a ve vodorovném směru programové souřadné osy X. Lze zde (jak vidno na obrázku 26) však vybrat i zakřivení osy, pro případ mostů v oblouku či jiné směrové i výškové změně.

Prvním krokem je stanovení souřadnic začátku mostu (v tomto případě v počátku souřadnic na 0, 0, 0) a jeho staničení. Dále pak směrový a výškový úhel a koncové

staničení mostu, které se, vzhledem ke stanovenému převislému konci v délce 1,0 metru pro všechny konstrukce, rovná velikosti momentálního rozpětí zvětšené o 2 metry, tedy dvojnásobek délky převisů.



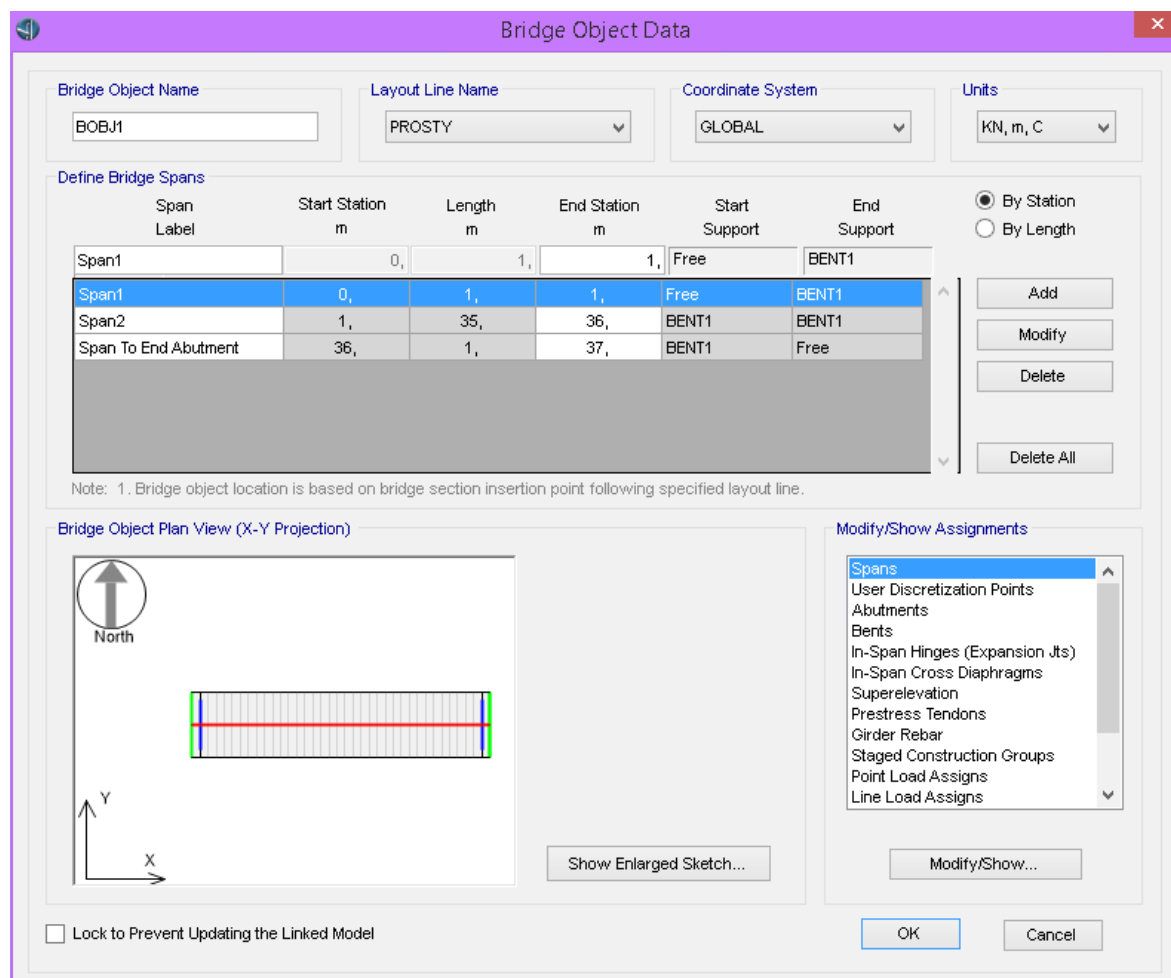
Obr. 26 - Nastavení směrového a výškového vedení osy mostu

Následně se zde pod tlačítkem „Define Horizontal Layout Data...“ nastaví rozdělení konstrukce na „segmenty“, neboli úseky rozdělené ložisky. První bod ve staničení 0 mm odpovídá počátku, bodu umístěnému na levé opěře, která se však neuvažuje, aby umožnila převis – volný konec. Druhý bod ve vzdálenosti 1000 mm pak odpovídá prvnímu ložisku a tedy první vnitřní podpoře. Třetí bod je ve vzdálenosti o 1 metr kratší, než je délka mostní konstrukce (na obrázku 27 je 36 metrů na konstrukci s délkou 37 m), a poslední bod by byl, stejně jako ten první, umístěný na nyní nezadané opěře umožňující tak volný konec.

Layout Line Segment Data			
Layout Line Segment Type	Station mm	Radius mm	Bearing PI to EC
	0,		N900000E
1 Initial Station and Bearing	0,		N900000E
2 Straight at Previous Bearing To Station	1000,		N900000E
3 Straight at Previous Bearing To Station	36000,		N900000E
4 Straight at Previous Bearing to End	37000,		N900000E

Obr. 27 - Dělení mostní konstrukce na úseky

Typ podpory na začátku a konci každého úseku se určí v tvorbě Bridge Objectu, kde se zadané údaje s předchozích odstavců dají dohromady. Start Support a End support určují typ upevnění na obou koncích každého úseku. Na začátku i na konci mostu je vybráno Free, což znamená, že tam žádná opěra nebude a místo toho zde vzniknou zamýšlené volné konce. BENT1 je výchozí název pro vytvořenou podporu, které ale nebylo třeba věnovat pozornost, jelikož se stejně tato odmaže, aby se nahradila prostým omezením stupňů volnosti, jak je vysvětleno v následující kapitole.

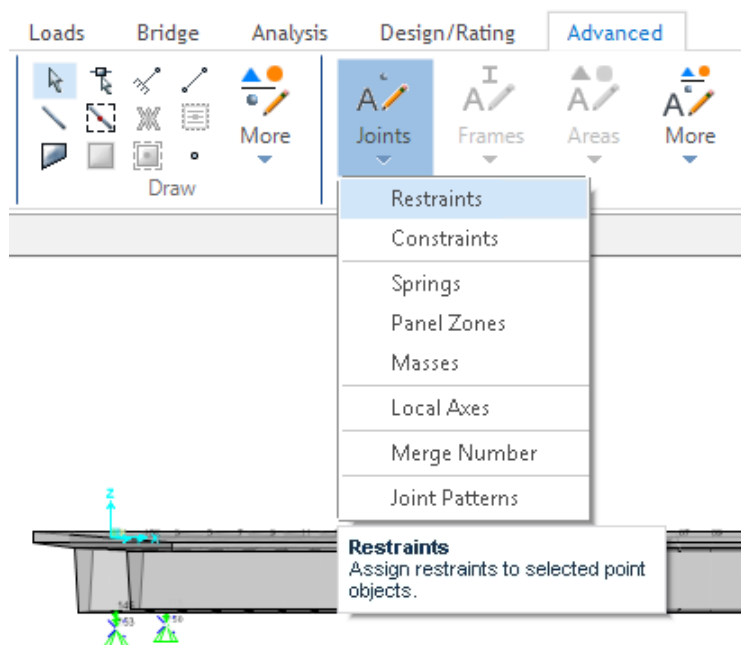


Obr. 28 - Tvorba Bridge Objectu

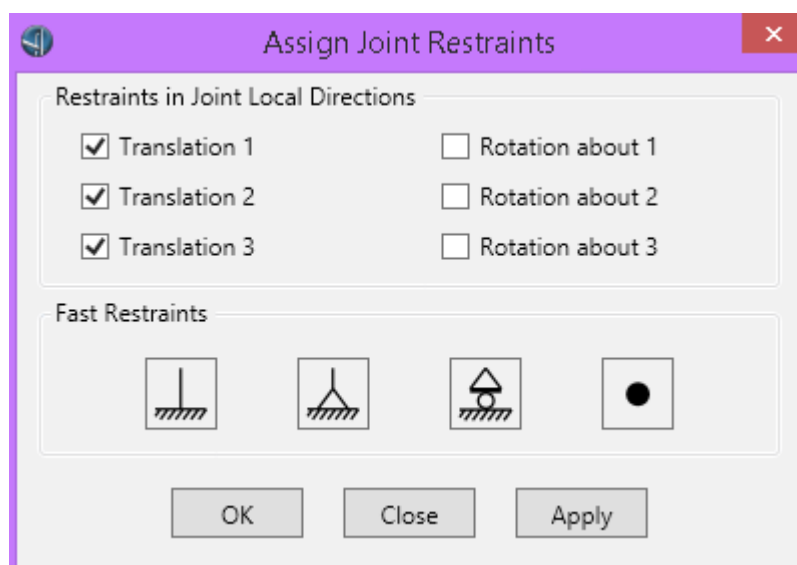
## 8.4 Podepření

Sekce Bent poslouží k nastavení upevnění a přiřazení spodní stavby. Jelikož tato práce nezohledňuje tuhost spodní stavby, je její nastavení naprosto libovolné, v dalším kroku totiž dojde k jejímu manuálnímu odstranění. Hlavním parametrem, který se zde pro účely této analýzy nastavuje, je link - spojnice mezi konstrukcí a spodní stavbou, určující jejich vzájemnou vzdálenost a tím ovlivňující vlastní frekvenci mostu jako takového. Je rozdíl mezi kmitáním čistě prostého nosníku a nosníku, který má podpory odsazené od své střednice. Tento rozdíl je dobře viditelný při porovnání výstupů z programu CSi Bridge s výstupy z programu midas/Civil. Zatímco v CSi byla konstrukce od svých podpor odsazena od střednice ke svému spodnímu kraji + 0,5 m, v programu midas se podpory umístily přímo na střednici konstrukce. Tomu se dále věnuje kapitola 12 – Porovnání mezi programy.

Spodní stavba se, aby neovlivňovala výsledky, smazáním odstraní a nahradí se jednoduchými výpočtovými podporami, pevným kloubem na jedné a posuvným kloubem na druhé straně. Toho se docílí označením uzlů, pro které chci podporu přidat, a vybráním zabránění konkrétních stupňů volnosti pod odkazem Restraints v sekci Joints v záložce Advanced hlavní nabídky.



Obr. 29 - Přiřazení podepření k označeným uzlům



Obr. 30 - Výběr stupňů volnosti pro odebrání

## 8.5 Zatížení

Zatížení na mosty v této analýze je trojího typu:

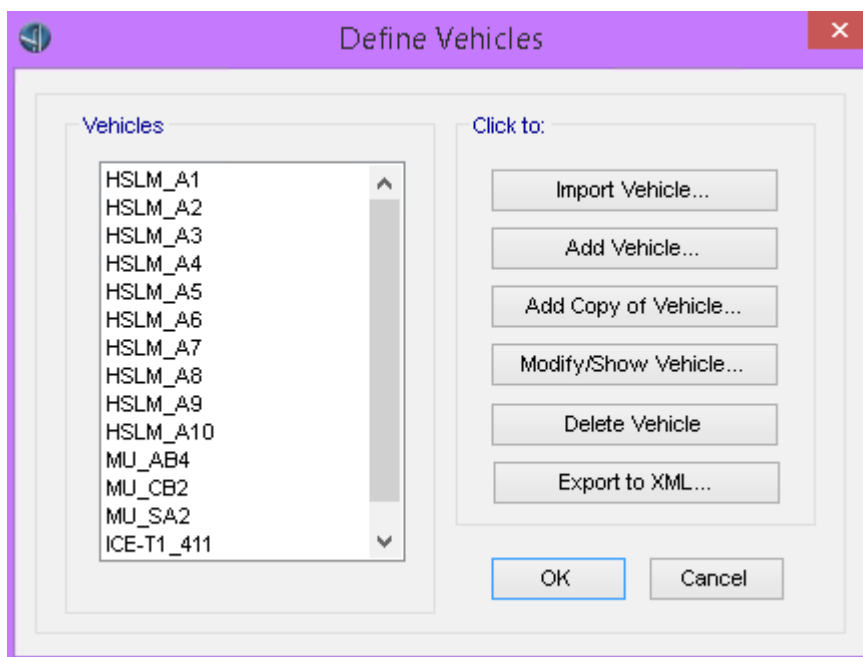
- Stálé zatížení vlastní vahou (kap. 8.5.1)
- Stálé zatížení od říms a kolejového svršku (kap. 8.5.1)
- Pohyblivé dynamické zatížení od zatěžovacích souprav (kap. 8.5.2 až 8.5.4)

### 8.5.1 Zatížení stálé

Zatímco vlastní tíha se v modelu zadává jednoduše koeficientem 1,0 ve stálém (DEAD) zatížení a tím zahrnutím 100 % hmotnosti průřezu (případně i vyšší hodnotou, je-li nutné přidat třeba hmotnost ztužidel proporcionalně s hmotností průřezu), kolejový svršek a římsy, které nejsou pevnou a nosnou součástí průřezů, se musí zadat ručně svojí hodnotou, zde vždy dosahující 130 kN/m. Jelikož je totiž z počáteční diskuze stanovena pevně, stačí ji zadat do dialogu ve funkci Bridge Wizard pod odkazem Load Distribution a následně v Line Load Assignments určit, od které části po kterou se toto zatížení bude uvažovat. Logicky se samozřejmě určí zatížení na celý most, tedy od 0 m po L+2 m, kde dva metry navíc opět značí oba převislé konce.

## 8.5.2 Zatěžovací soupravy

Jak bylo zmíněno v kapitole 4.3 - Parametry studie - Zatěžovací soupravy, pro analýzu bylo vybráno 14 zatěžovacích vlakových souprav, z toho 10 souprav HSLM (HSLM A1 až A10), 3 soupravy MU-Class a jedna souprava ICE. Pro železobetonový předpjatý dvoutrám navíc i vlak s lokomotivou Škoda 109E1 – Emil Zátpek.

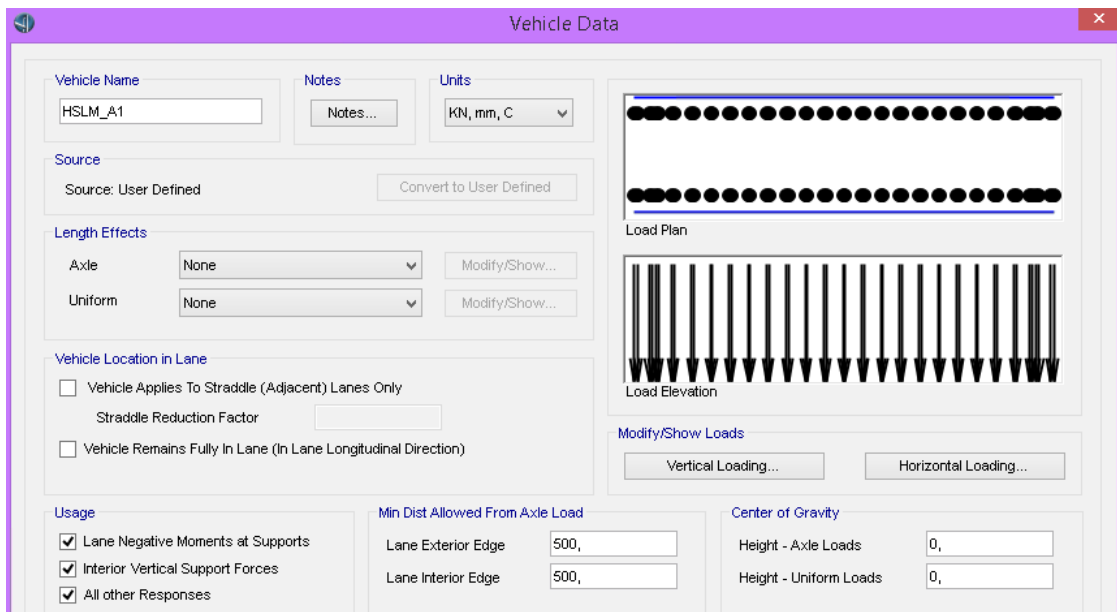


Obr. 31 - Použité zatěžovací soupravy

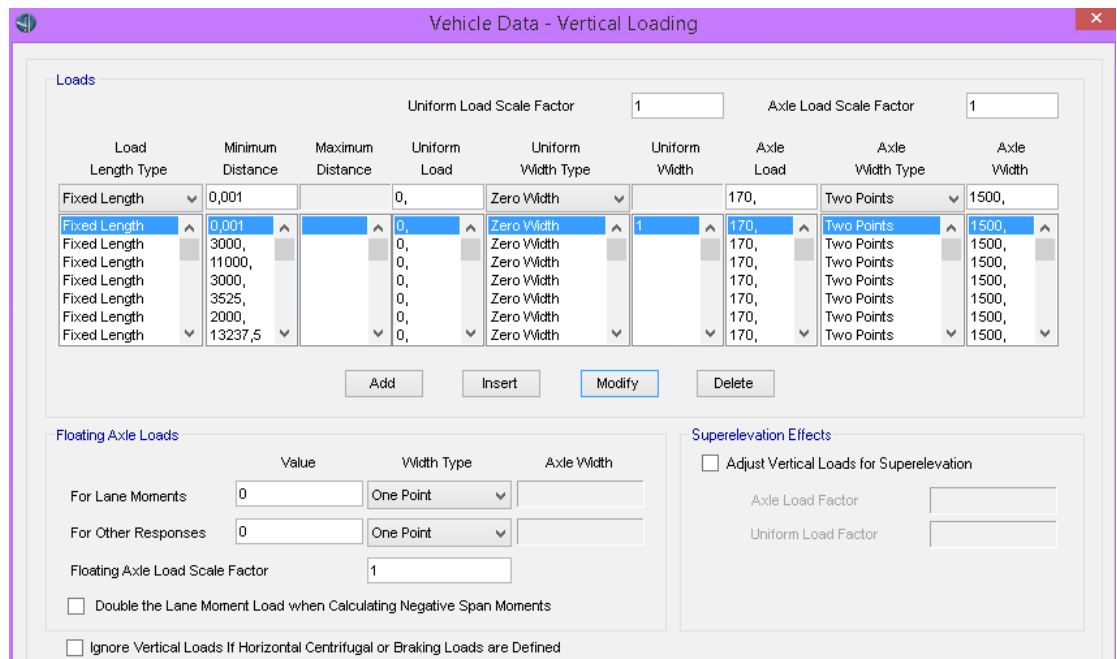
Tvorba zatěžovacích modelů těchto souprav spočívala napřed ve vytvoření vozidla, které se potom nahradilo vlastní soupravou. Ta se zadávala pomocí Vertical Loading, popř. Horizontal Loading, v dialogu Vehicle Data (obrázek 33 - Zadávání nápravových sil). Vodorovné síly ale nejsou součástí analýzy, takže svislé síly budou jediné působící. Svislé síly byly zadány vždy svou pozicí od předchozí síly soupravy, svojí hodnotou a, protože jde o nápravu, vzdáleností dvojice sil. Ta sice nehraje roli, protože je most reprezentován jen prutovým modelem, takže se stejně vztáhne ke střednici, ale v případě změny modelu na deskostěnový nebude třeba měnit všechny soupravy.

Na obrázku 34 je vidět zatěžovací model MU – AB4, ukazující, že nejsou všechny vnitřní vozy stejné, ale že je tento vlak sestaven ze dvou stejných menších, s vnitřními lokomotivami. Ostatní soupravy jsou popsány ve zmíněné kapitole 4.3 – Parametry studie - Zatěžovací soupravy.

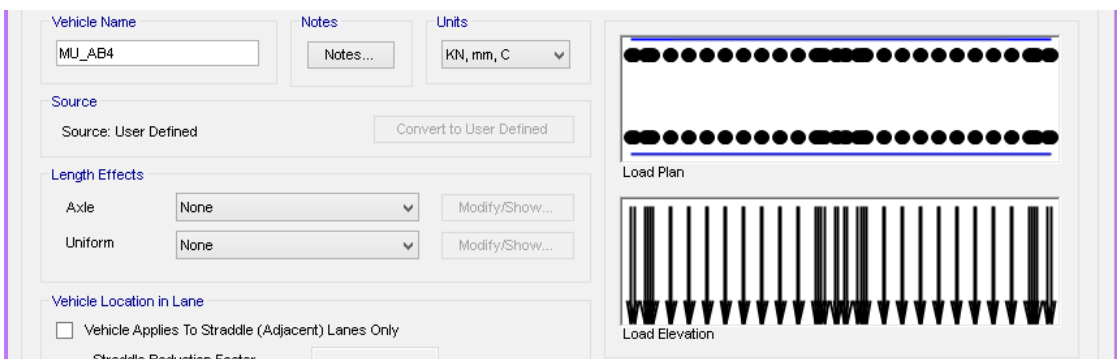




Obr. 32 - Vytváření zatěžovacího „vozidla“, ukázka z HSLM A1



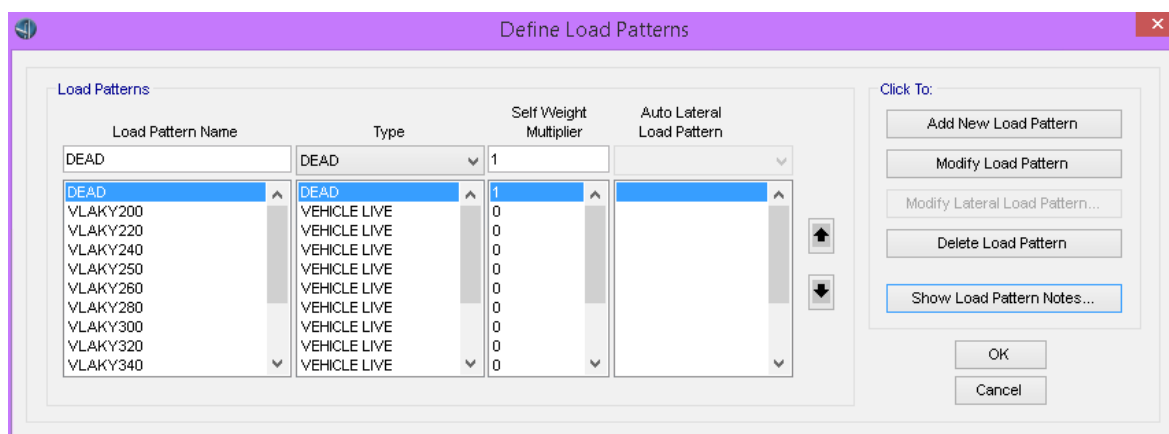
Obr. 33 - Zadávání nápravových sil



Obr. 34 - Náhled soupravy MU – AB4, nápravové síly odpovídají hmotnosti 21,5 tuny.

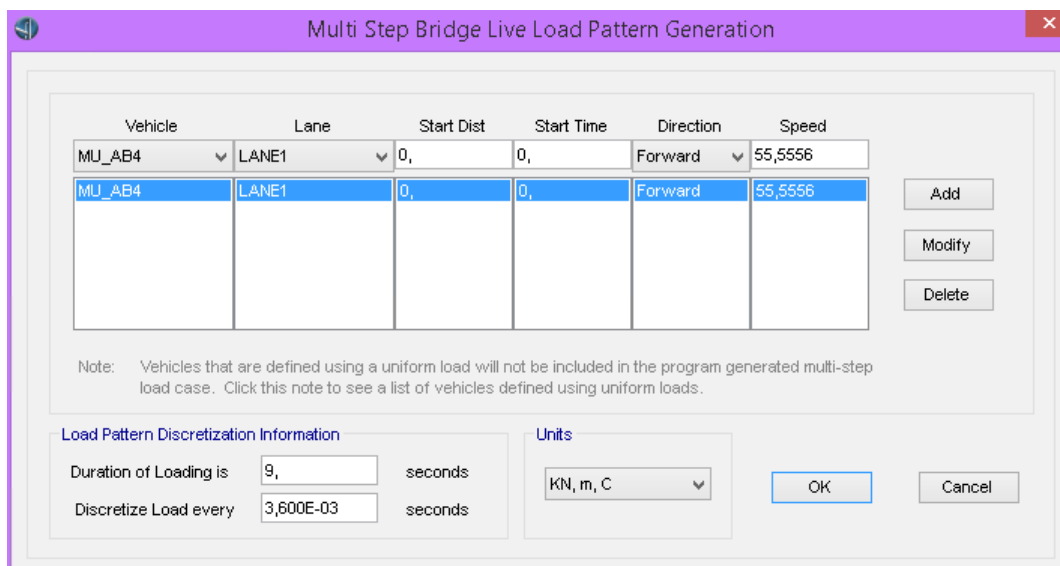
### 8.5.3 Zatěžovací schémata

Stálé zatížení i zatěžovací soupravy bylo třeba dát do zatěžovacích schémat, což se provedlo u stálého zatížení prostým vytvořením stálé (DEAD) Load Pattern se self weight multiplierem rovným 1,0. V tomto zatížení už je schované jak zatížení vlastní hmotností, tak i ostatní stálé od kolejového svršku a bočních betonových říms.



Obr. 35 - Panel zatěžovacích schémat

Dále bylo třeba vytvořit schémata pro přejezdy souprav. Zatím je souprava hotová jen jako soustava mnoha sil, resp. dvojic sil reprezentujícími nápravu, nyní je třeba jim dodat přejezdovou rychlost a další parametry. Jak je vidět na obrázku 36, vytvoření a pak i případná editace je pomocí zadávacího okna snadná. Výběrem vozidla se určí, kterou soupravou bude zatížena konstrukce mostu. Volbou Lane se vybere, po které ose má souprava přejíždět. V tomto případě je zde jediná osa, označená defaultně jako LANE1, vedoucí v ose mostu od počátku konstrukce v bodě 0 až po její konec v bodě L+2 m. Start Dist a Start Time složí k posunu počátku přejezdu soupravy vzdálenostně a časově, což nemá v této analýze žádný důvod. Konstrukce jsou symetrické, takže výběr Forward nebo Backward v políčku Direction také není důležitý, výsledek se totiž neliší. Posledním a spolu s „vozidlem“ nejdůležitějším parametrem je rychlost. Ta se zde zadává v m/s, proto jsou to zpravidla periodicky se opakující čísla. Na obrázku je vidět zadaná rychlost 55,55 m/s, odpovídající rychlosti 200 km/hod, tedy nejnižší z prováděných.



Obr. 36 - Úprava pohyblivého zatížení

Pro každé pohyblivé schéma je třeba určit diskretizační časový krok. Ten by měl být dostatečně malý, aby podchytil dynamické chování konstrukce, ale zároveň by neměl zbytečně prodlužovat výpočet a zahlcovat procesor. Jeho velikost je založena na vzdálenosti uzlů konstrukce (podle dělení v kapitole 8.1 – Tvorba modelu v CSi - Nastavení) a přímo určuje množství výpočetních kroků analýzy. V tabulce 10 – Časový krok je k vidění přehled zvolených časových kroků na základě rychlosti a zmíněné vzdálenosti uzlů. Doba zatížení se pak odvíjí od rychlosti přejezdu a celkové délky mostu a soupravy.

Z obrázku load pattern je vidět, že je vytvořené zatěžovací schéma pro každou uvažovanou rychlost. To má jednoduchý důvod, a to sice že je mnohem rychlejší měnit přejezdovou soupravu pro každé z těchto schémat pouhým překliknutím, než přepisovat všechny rychlosti a podle nich se odvíjející doby zatížení a časové kroky, a tím nechávat prostor pro chybu z nepozornosti či prostého „překliku“. Špatné zadání rychlosti způsobí samozřejmě nepoužitelnost výsledku, neboť hledáme chování konstrukce jen v určitých rychlostech. Špatná volba doby zatížení pak může způsobit, že souprava nepřejede celá a analýza nepokryje dokmitávání po plném přjetí mostu. Pokud navíc překročí dobu, která je vybraná v zatěžovacím stavu, může způsobit ukončení výpočtu a i instance programu fatální chybou a tím zničit i další výsledky. Chybná volba časového kroku v první řadě může způsobit nepodchycení extrémů kmitání, ale pokud dojde k nesouladu s časovým krokem mezi zatěžovacím schématem a zatěžovacím stavem, což je v případě přepisové chyby pravděpodobné, opět nastane scénář fatální chyby. Možnost změny soupravy výběrem z rolety bez změn rychlostí tak byla jasná volba.

Tab.10 - Časový krok

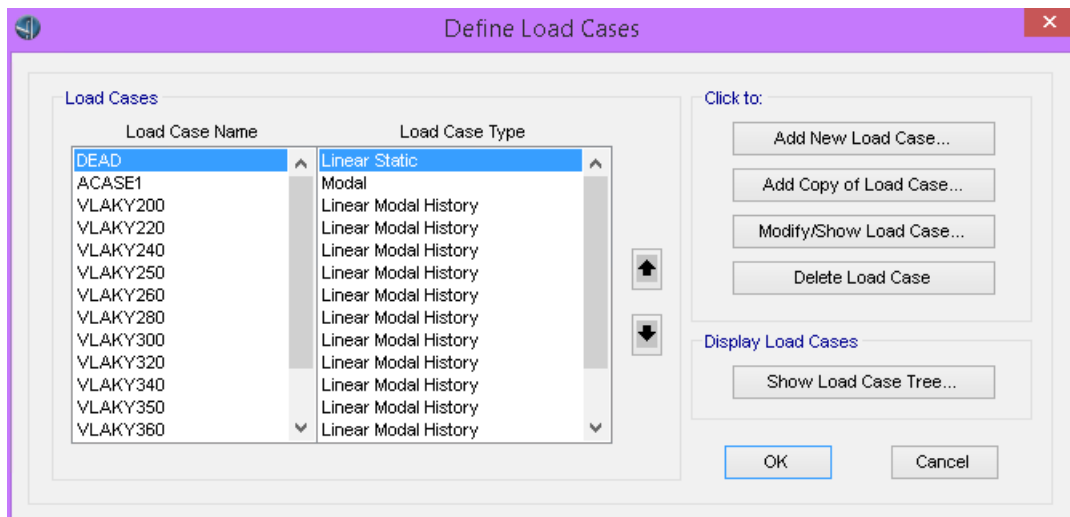
Rychlost		Časový krok [s] při vzdálenosti uzlů	
km/hod	m/s	á 0,5 m	á 1,0 m
<b>200</b>	<b>55,56</b>	<b>0,004 500</b>	<b>0,003 600</b>
220	61,11	0,004 091	0,003 273
240	66,67	0,003 750	0,003 000
<b>250</b>	<b>69,44</b>	<b>0,003 600</b>	<b>0,002 880</b>
260	72,22	0,003 462	0,002 769
280	77,78	0,003 214	0,002 571
<b>300</b>	<b>83,33</b>	<b>0,003 000</b>	<b>0,002 400</b>
320	88,89	0,002 813	0,002 250
340	94,44	0,002 647	0,002 118
<b>350</b>	<b>97,22</b>	<b>0,002 571</b>	<b>0,002 057</b>
360	100	0,002 500	0,002 000
380	105,56	0,002 368	0,001 895
<b>400</b>	<b>111,11</b>	<b>0,002 250</b>	<b>0,001 800</b>
420	116,67	0,002 143	0,001 714

Pozn.: Pro přehlednost jsou násobky 50 km/hod vyznačeny tučně na šedém pozadí

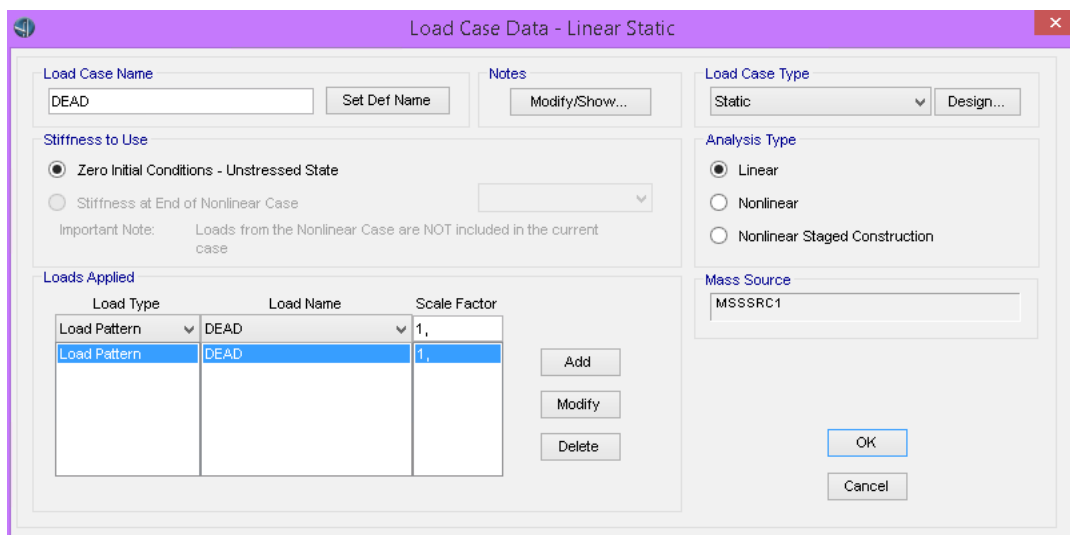
#### 8.5.4 Zatěžovací stavy

Zatížení určená zatěžovacími schématy musí mít svůj zatěžovací stav, jinak s nimi program nemůže počítat. Opět je zde stálé zatížení, opět pro jednoduchost označené DEAD, opět spočívá jen v jeho výběru a jednotkovém koeficientu. Logicky na rozdíl od přejezdových souprav spadá do sekce Static, konkrétně Linear Static, protože není důvod pro nelineární analýzu chování konstrukce od stálého zatížení.

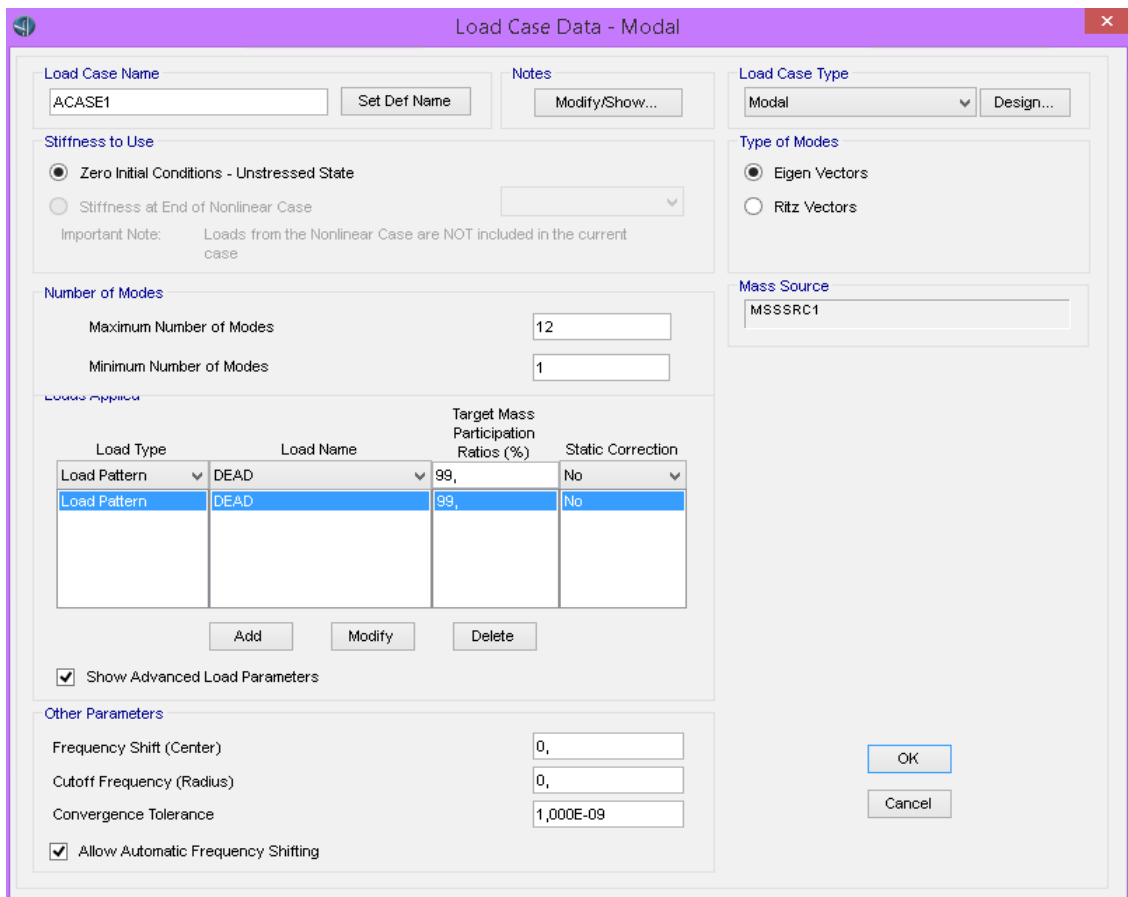
Dále je zde stav označený defaultně jako ACASE1, který provede modální analýzu a určí tak vlastní tvary a jim příslušné vlastní frekvence. Pro tento výpočet je důležitý počet vlastních tvarů, který nás zajímá, za dostatečný byl po konzultaci s vedoucím práce určen počet dvanácti vlastních tvarů, a výběr stálého zatížení, obsahujícího veškerou kmitající hmotu.



Obr. 37 - Zatěžovací stavy

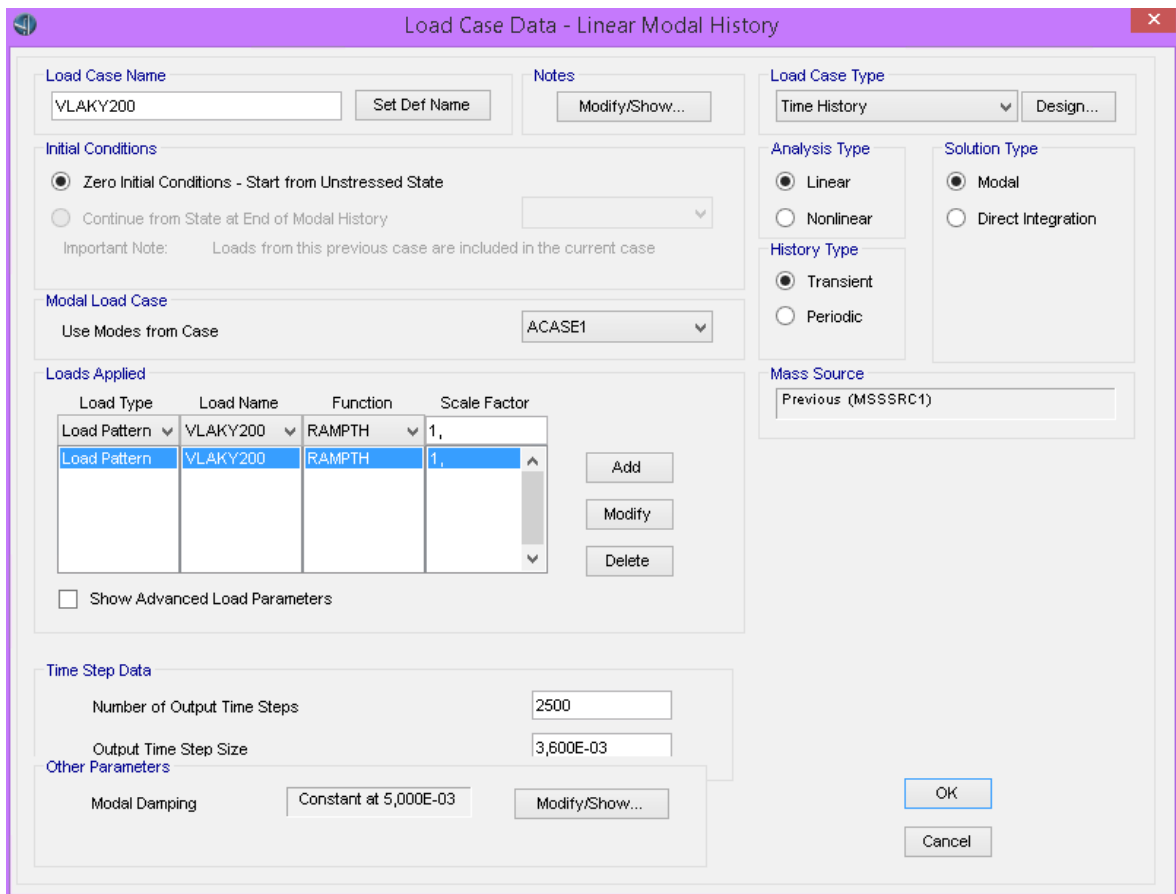


Obr. 38 - Úprava stálého zatížení



Obr. 39 - Stav pro provedení modální analýzy

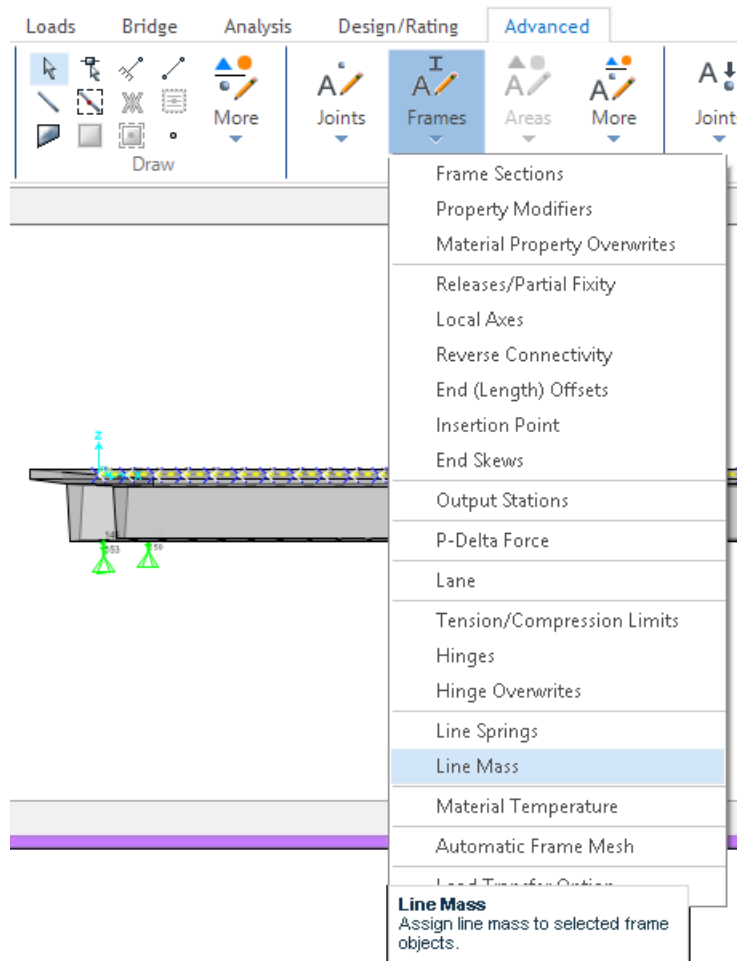
Posledním typem zatěžovacího stavu, který se účastnil analýzy, je zatěžovací stav Time History, nebo také Linear Modal History, ve kterém se vyberou zatěžovací schémata vlaků pro přejezd. Jak je vidět na obrázku 37 – Zatěžovací stavy, stejně jako u zatěžovacích schémat je zde i zatěžovací stav pro každou rychlost soupravy, což má za tentokrát za důvod jednoduše to, že není možné udělat zatěžovací stav pro schéma, které neexistuje, a tak si musí stavy a schémata odpovídat. Schéma je přiřazeno stavu jednoduchým výběrem z rolety v oddělení Loads Applied. Jelikož je vybrána pro svou rychlost výpočtu možnost řešit kmitání modálně, je třeba určit, odkud se vlastní tvary pro výpočet budou brát, tedy ze zatěžovacího stavu ACASE1, provádějící zmíněnou modální analýzu. Dále se jen opíše Output Time Step Size, který musí být stejný jako u zatěžovacího schématu, a napíše počet kroků výpočtu. Ten je odvozený od doby přejezdu soupravy (přímo úměrně) a výstupního časového kroku odpovídajícího časové diskretizaci zatížení (nepřímo úměrně). Posledním zadávaným parametrem je útlum. Ten, jak je zmíněno v kapitole 7 - Útlum, nelze spočítat, ale jen přibližně určit na základě normových empirických vzorců. Ve stejné kapitole jsou i hodnoty útlumu použitého pro jednotlivé průřezy a rozpětí v přehledné tabulce.



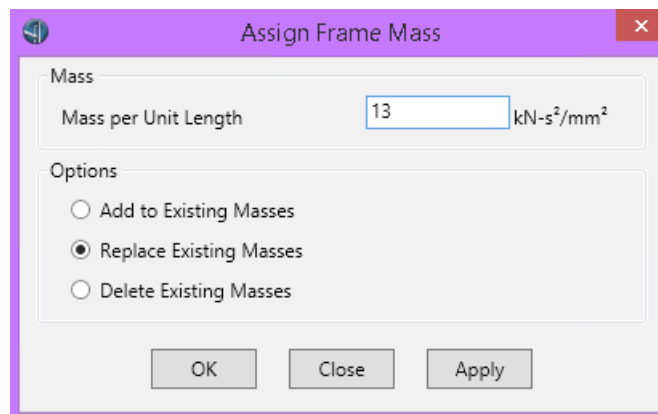
Obr. 40 - Zatěžovací stav pro pohyblivé zatížení

### 8.5.5 Spojitá hmota

Pro výpočet stálého zatížení je sice zadání hmotnosti naprosto dostatečné, jenže to pro tuto analýzu není rozhodující. Oproti tomu pro dynamickou analýzu je třeba zadat i kmitající hmotu. Hmotnost určená tíhou 130 kN/m se velmi výrazně podílí na vlastní frekvenci konstrukce, konkrétně na jejím velkém snížení, a je proto nutné ji přidat do Line Mass. Toho se docílí označením všech dílců (rozdělení podle kapitoly 8.1 – Nastavení), pro které se bude přidávat hmotnost, a zadání hodnoty této hmotnosti (v podivných jednotkách, ze kterých ale vychází tuna) pod odkazem Line Mass v sekci Frames záložky Advanced.



Obr. 41 -Přidávání spojité hmoty

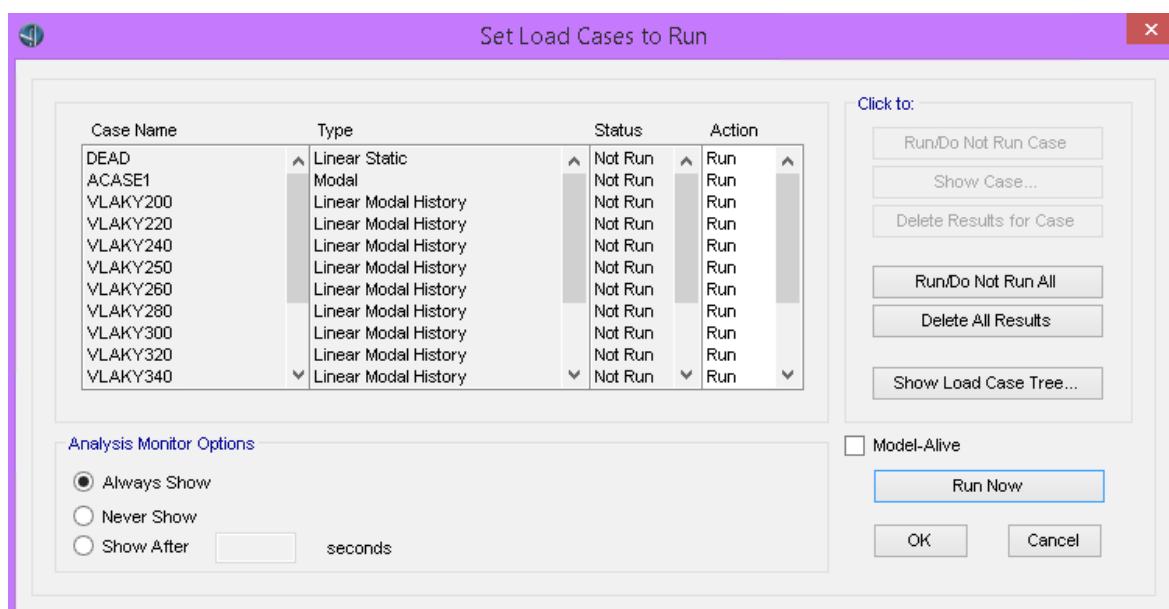


Obr. 42 -Přidávání spojité hmoty - dialog



## 8.6 Analýza

Veškerá provedená nastavení už byla popsána v kapitole 8.1 – Nastavení, nyní proto stačí vybrat zatěžovací stavy, které je třeba spočítat. Stálé zatížení, označené DEAD, je nutné, aby mohla proběhnout modální analýza (pojmenovaný defaultně ACASE1). Ta je zase základem pro dynamický výpočet (Time History), kde je vybráno, že se vychází z modální analýzy. Dalšími stavy pak jsou přejezdy souprav v různých rychlostech v zadaném rozpětí, které – přestože jsou pro analýzu nezbytné – už nejsou závislé jeden na druhém a není třeba je spouštět všechny najednou, ale lze vybírat postupně. Jejich nahromadění v jednom modelu pouze usnadňuje výpočet snadnou manipulací díky tomu, že jsou všechny rychlosti jedné vybrané soupravy pohromadě.



Obr. 43 -Výběr zatěžovacích stavů pro výpočet

## 8.7 Varianty výpočtu

Jak bylo popsáno v kapitole 5.4 – Varianty výpočtu, v programu CSi Bridge se pro výpočet upravilo rozpětí, a to sice jednou zmenšilo o 5 metrů a podruhé zvětšilo o 5 metrů oproti základní hodnotě. Velikosti základních i upravených rozpětí jsou k nahlédnutí v tabulce 6 – Tabulka rozpětí pro průřezy v kapitole 4.2 – Parametry studie – Statická schémata.

Pro změnu rozpětí o -5 metrů, tedy zmenšení, bylo třeba jen upravit délku v nastavení rozpětí, což je stejný postup jako při jeho zadávání popsaném v kapitole 8.3 – Tvorba modelu v CSi – Konstrukce, a pak upravit rozpětí v Bridge Object, přepsat tak umístění podpor a zkrátit zatěžovací trasu soupravy vždy stejným postupem, jako při zadávání.

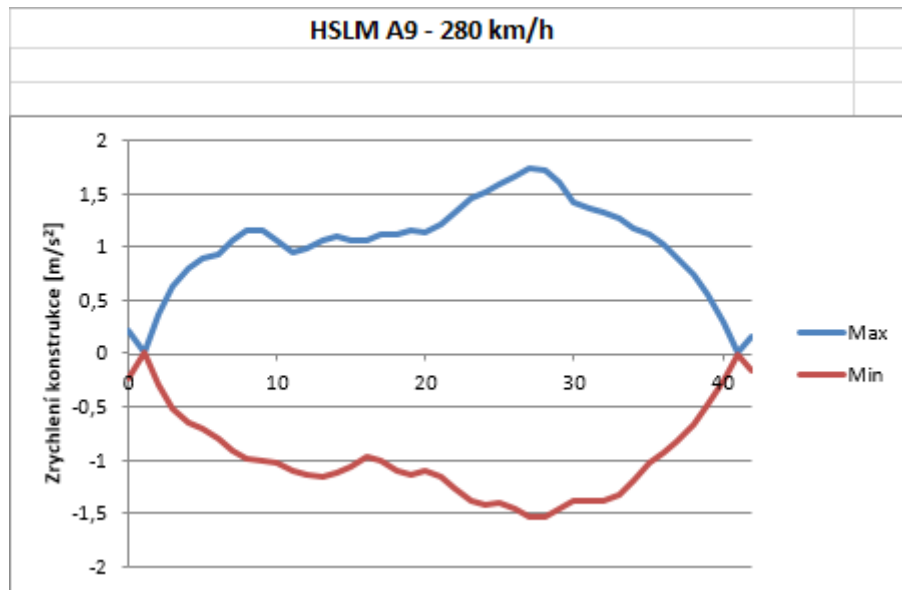
Oproti tomu při zvětšování rozpětí je třeba ještě jeden krok navíc. Změna půdorysné křivky, oprava Bridge Objectu, pozice upevnění a prodloužení zatěžovací trasy je stejná, ale zatímco při zkrácení se prostě kus mostu odstraní se všemi vlastnostmi, při prodloužení se o kus most zvětší, jenže bez přidanych vlastností. Na posledních pár metrů konstrukce se proto je potřeba pozorněji podívat a znovu ručně přidat spojitou hmotu, jak je popsáno v kapitole 8.5.5 – Spojitá hmota.

Opomenutí tohoto kroku je velmi jednoduché, protože na rozdíl od ostatních změn, jako je podepření, které jsou vidět na první pohled, je spojitá hmota schovaná až ve vlastnostech dílců mezi uzly. Přesto, že jde z pohledu zadávání o drobnost, dokáže s výsledkem pořádně pohnout. Kromě toho, že tato hmota ovlivňuje vlastní frekvenci konstrukce, ovlivňuje samozřejmě i vlastní tvary. A ty už díky nerovnoměrnému rozložení hmoty nebudou symetrické.

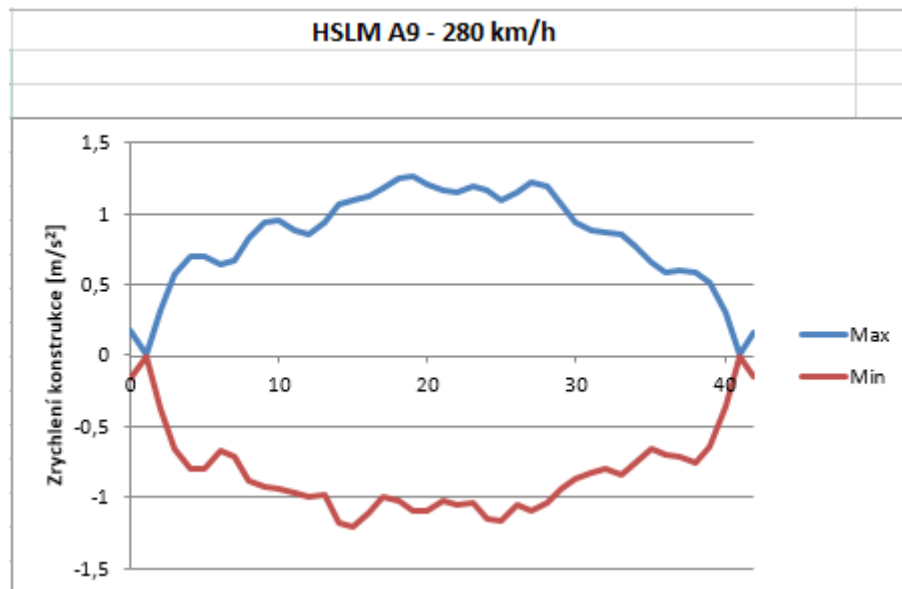
Na obrázcích dále je vystižený rozdíl, jaký to způsobí u ocelobetonového spřaženého dvoutrámu se zvětšeným rozpětím při přejezdu soupravy HSLM A9 při 280 km/hod. Na svislé ose je hodnota zrychlení uzlů konstrukce, na vodorovné je staničení mostu v metrech.

Na prvním obrázku je vidět převažující druhý vlastní tvar, který je naprosto jasně nesymetrický s teoretickým uzlem tvaru kolem 18. metru mostu, tedy před polovinou, a jehož druhá vlna je výrazně větší než ta první i ve výkmitu, což je způsobeno právě tím, že na posledních pěti metrech mostu chybí spojitá hmota, která by svou setrvačností brzdila kmitání konstrukce. Zatímco první vlna se pohybuje ve svém maximu kolem hodnoty zrychlení  $1,2 \text{ m/s}^2$ , u druhé vlny je maximum na hodnotě  $1,8 \text{ m/s}^2$ , tedy o polovinu více.

Druhý obrázek už ukazuje výsledek, jaký nastal při opravení opomenutí spojitě hmoty. Změnou vlastní frekvence konstrukce a tím jejím posunem od budící frekvence přejíždějící zatěžovací soupravy se změnil vlastní tvar, který byl vybuzen. Na první pohled jde jasně o první vlastní ohybový tvar s drobnými výstupky dalších výraznějších vlastních tvarů (podle počtu vrcholků se dá předpokládat, že jde hlavně o 8. vlastní tvar), jehož extrémy se pohybují kolem hodnoty zrychlení  $1,2 \text{ m/s}^2$ . Chyba se tak na výsledku podílela velmi výrazně, když původní hodnotu zvýšila o 50 %.



Obr. 44 - Průběh min/max zrychlení na konstrukci s chybějící spojitou hmotou



Obr. 45 - Průběh min/max zrychlení na konstrukci s doplněnou spojitou hmotou

## **9 Výstupy z CSi**

Z programu CSi Bridge se dají výstupy získat ve formě grafické, tedy jako obrázek s grafem kmitání konstrukce ve vybraných bodech od zvoleného zatěžovacího stavu, nebo tabelární, ve formě exportovatelné tabulky s vybranými veličinami a zatěžovacími stavy i schémata.

Grafická forma výstupu je vhodná, pokud je třeba získat detailní informace o chování určitého bodu nebo skupiny bodů od vybrané zatěžovací soupravy, například průhyb středu konstrukce v čase při přejezdu nebo průběh zrychlení v čase. Z průběhu zrychlení uzlu konstrukce v čase se dá vyčíst, zda dochází buzením od přejezdu soupravy k rezonanci, jakou frekvenci kmitání přejezd vyvolal nebo třeba zda jde o kmitání ustálené či neustálené. Ukázky zajímavých průběhů, pokrývající zmíněné zajímavé případy, jsou na obrázcích v kapitole 9.3 – Výstupy z CSi – Ukázky výstupů.

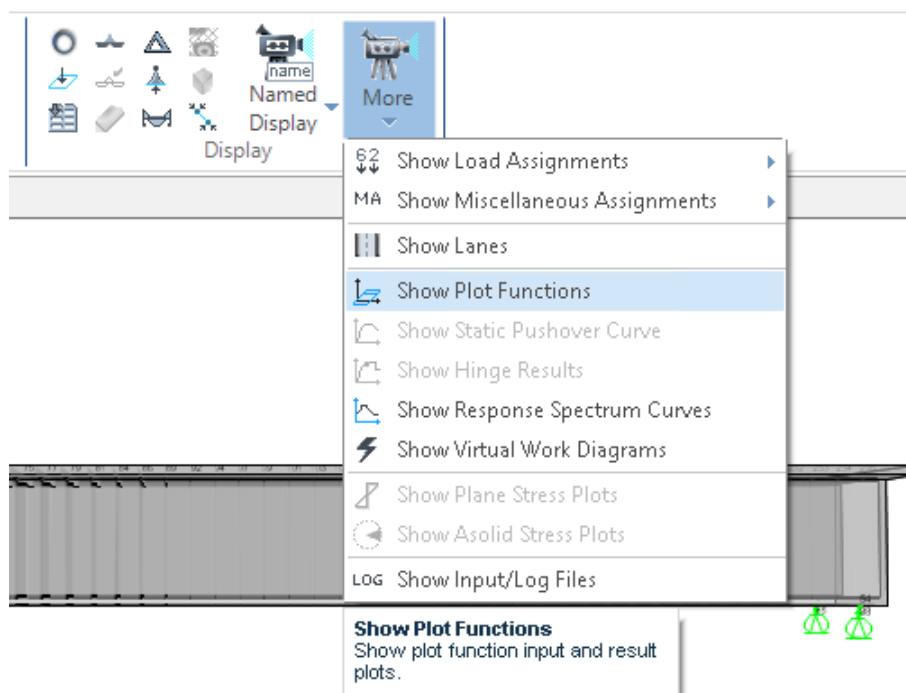
Nevýhodou těchto grafů ale je, že jsou jen pro omezený počet bodů a nezjistí se z nich extrém po délce konstrukce. Tabulková forma oproti tomu umožní export minimálních a maximálních hodnot průhybů, zrychlení nebo i rychlosti pro všechny body na konstrukci. Na první pohled z nich sice jen těžko je něco vidět, ale export do tabulkového procesoru typu Microsoft Office Excel nebo OpenOffice Calc umožní s daty pracovat a vykreslit je do přehledných grafů a dílčích tabulek.

### **9.1 Získání výstupů**

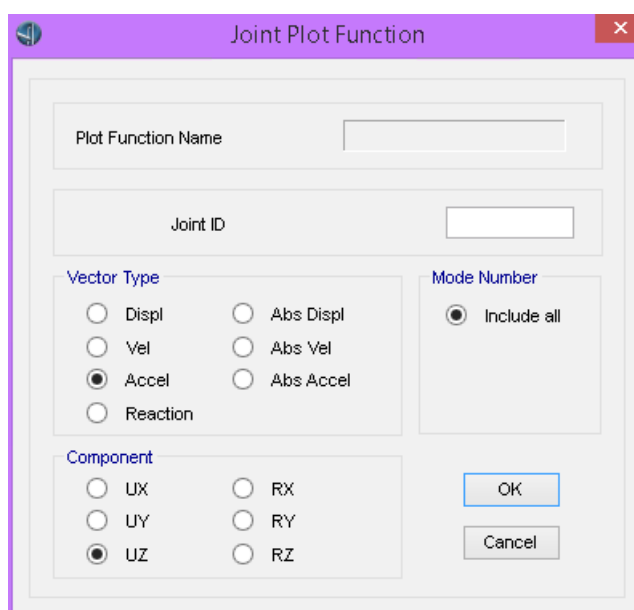
Vykreslení grafů s průhybem, zrychlením nebo i rychlostí vybraných uzlů se provede po dokončení výpočtu v záložce Home, kde se v pravé části nabídky vybere více možností pod tlačítkem More. Tam je pod názvem Show Plot Functions možnost vykreslit dříve popsané grafy.

V okně, které se pak objeví, se vybere zatěžovací stav (Load Case) z nabídky proměnných zatížení, v tomto případě tedy seznam rychlostí, jelikož, jak bylo popsáno dříve, je pro každou rychlost vytvořený jeden zatěžovací stav a mění se souprava, která touto rychlostí přejíždí přes most. Dále se tu určuje, pro které body konstrukce a jaká veličina se má vykreslit. Oboje se určí najednou výběrem Plot Function, tedy vykreslovací funkce, která se definuje před vykreslením. Její vytvoření se provede napřed výběrem Joint

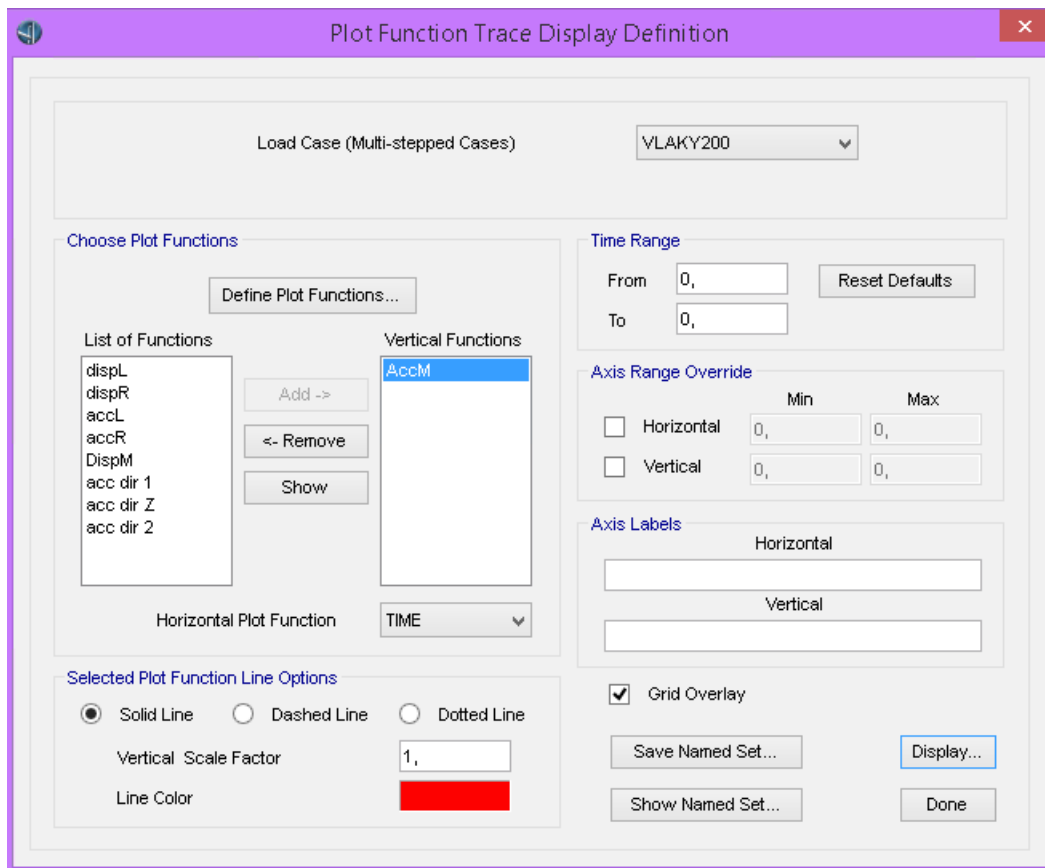
Disps/Forces, což je naše potřebná funkce. V té se pak vybere bod, pro který se veličina sleduje, sledovaná veličina jako taková a stupeň volnosti určující směr veličiny. Po vytvoření této funkce ji už není možné editovat úplně, jako je to v ostatních funkcích programu. Uzel (joint) konstrukce, který se zde vybere, se uzamkne jako neměnný parametr funkce a v případě přechíslování nebo touhy po grafu v jiném místě je třeba funkci vytvořit znovu.



Obr. 46 - Výběr vykreslování funkce v záložce Home



Obr. 47 - Zadávání nové funkce

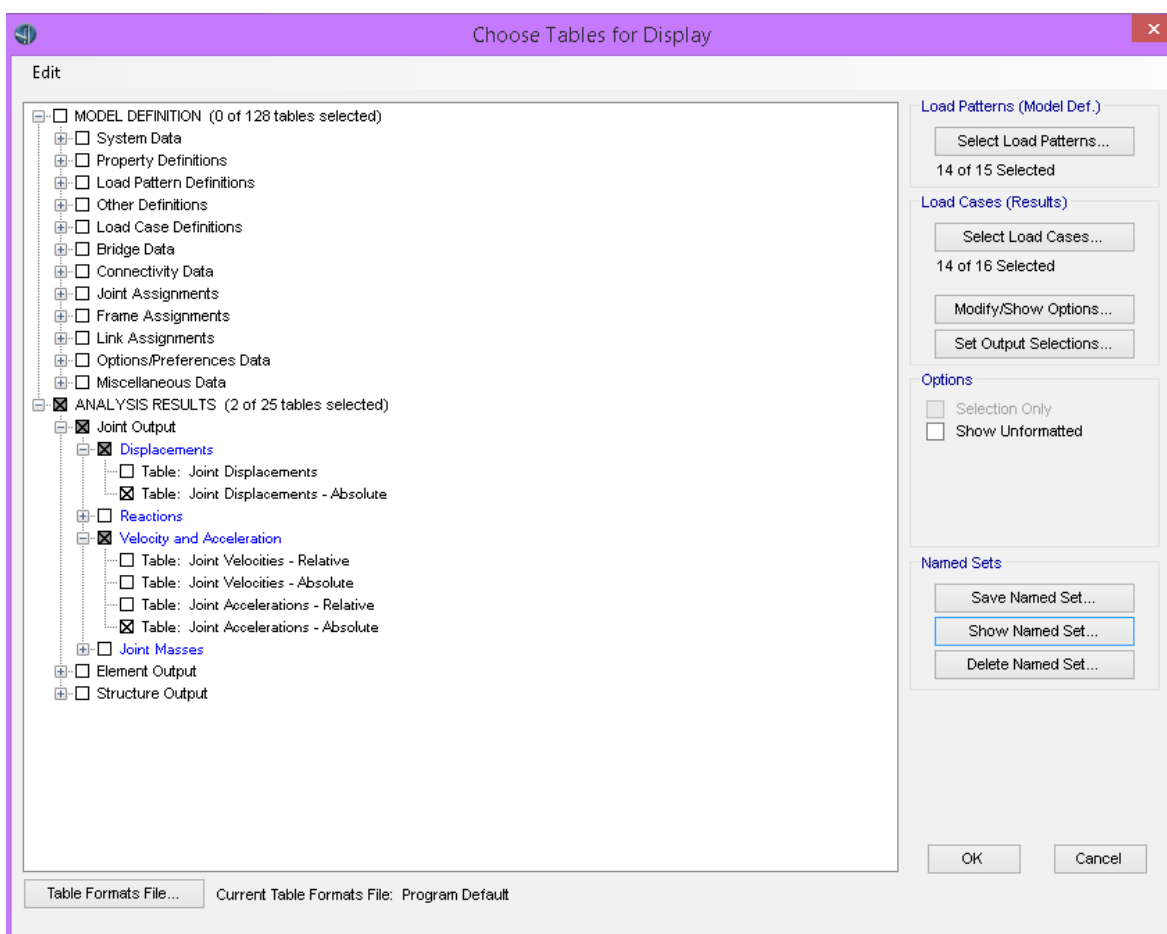


Obr. 48 - Okno volby pro vykreslení grafu

Dalšími možnostmi v okně pro vykreslení grafu je určení počátku a konce vykreslování. Výchozí nuly určují, že se bude začínat s vykreslováním na počátku zatěžování a končit v okamžiku ukončení zatěžování tak, jak bylo určeno při tvorbě Load Patterns a Load Cases, tedy zatěžovacích schémat a stavů. Samozřejmě se zde dá vybrat styl a barva čáry. Pro přehlednost jsou dále zrychlení vždy červeně a průhyby oranžově. Vybrané nastavení je v případě jeho opakování vhodné uložit volbou Save Name Set. Tlačítkem „Diplay...“ se zobrazí graf vybrané funkce. Jelikož ale chybí možnost tyto grafy uložit, ať už jako obrázek nebo jako soubor bodů, je třeba tyto soubory v případě potřeby ukládat přes Výstřižky nebo Screenshoty obrazovky. Ukázky grafů těchto funkcí pro dříve zmíněné zajímavé případy jsou v následující kapitole.

Druhou zmíněnou formou výstupu byly tabulky. Ty se zpřístupní pomocí ikonky tabulek, která je v panelu Home, stejně jako Plot functions. Na obrázku s postupem jejich dosažení se tato ikonka dá najít v levém dolním rohu panelu. Po jejím vybrání se zobrazí velké množství zaškrťovacích polí ve stromovém schématu. Pro tuto práci jsou důležité pouze hodnoty, které jsou schované v Analysis results, tedy výsledky analýzy, konkrétně Joint Output, což jsou hodnoty pro uzly. Zde jsou pak zaškrtnuté Joint Displacements a

Joint Accelerations, v obou případech Absolute, což má znamenat, že by se v případě dynamicky aktivního podloží braly hodnoty, které by se vztahovaly k tomuto pohybu. S možností Relative by pak tento pohyb podloží výstup ignoroval. Tato definice bohužel není stoprocentně uznávaná všemi a i v odborných kruzích se najdou lidé tvrdící, že je to naopak. V tomto případě se naštěstí hodnoty Absolute a Relative rovnají, takže není třeba se touto definicí dále zabývat a tyto neshody řešit. Pro vykreslení správných hodnot je třeba vybrat příslušná zatěžovací schémata a stavy. Lze je vypisovat a exportovat po jednom stavu, ale to je zbytečně zdlouhavé, jelikož byla pro tuto práci vytvořena v Excelu dále blíže popsaná třídící tabulka.



Obr. 49 - Okno s výběrem tabulkových výstupů pro export

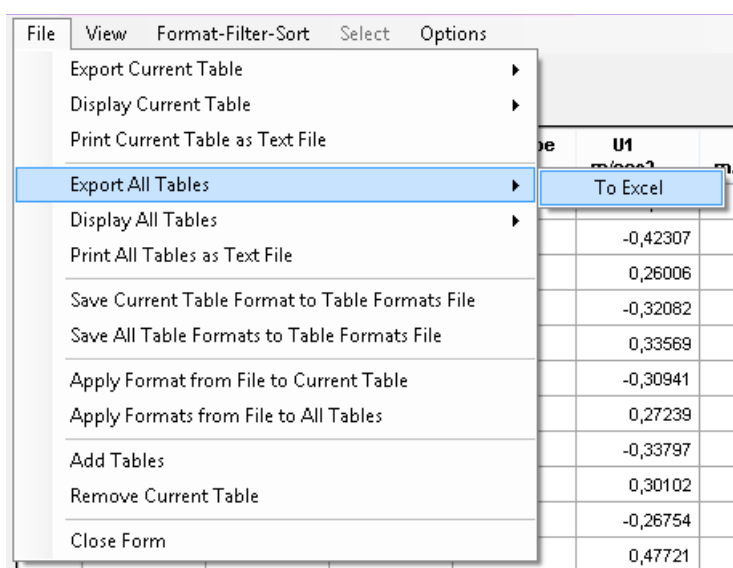
Sestavená tabulka má dvě stránky, tvořící po exportu dva listy, s hodnotami seřazenými podle čísla uzlu nebo jiného zvolené ho sloupce. Jednotky v této fázi nejdou změnit, pokud je třeba nutné dosazovat výstupy v metrech místo v milimetrech, musí se buď upravit až po exportu, nebo zavřít tuto tabulku, nastavit v hlavním okně jednotky a znovu projít postup k této tabulce. Program si sice pamatuje poslední vybraná zaškrtnutá

pole i schémata a stavy, ale i tak trvá nové vypsání tabulek až několik minut, podle množství uzlů na konstrukci.

The screenshot shows a software window titled "Joint Accelerations - Absolute". It features a menu bar with "File", "View", "Format-Filter-Sort", "Select", and "Options". Below the menu bar, there are fields for "Units: As Noted" and "Filter: Joint Accelerations - Absolute". The main area contains a table with the following columns: Joint Text, OutputCase, CaseType Text, StepType Text, U1 m/sec2, U2 m/sec2, U3 m/sec2, R1 rad/sec2, R2 rad/sec2, and R3 rad/sec2. The table lists 20 rows of data for joints VLAKY200 through VLAKY320. At the bottom, there is a "Record:" field showing "1 of 1848" and buttons for "Add Tables..." and "Done".

Joint Text	OutputCase	CaseType Text	StepType Text	U1 m/sec2	U2 m/sec2	U3 m/sec2	R1 rad/sec2	R2 rad/sec2	R3 rad/sec2
3	VLAKY200	LinModHist	Max	0,3328	0	0,05544	0	0,052	0
3	VLAKY200	LinModHist	Min	-0,42307	0	-0,06113	0	-0,067	0
3	VLAKY220	LinModHist	Max	0,26006	0	0,05177	0	0,04	0
3	VLAKY220	LinModHist	Min	-0,32082	0	-0,05084	0	-0,049	0
3	VLAKY240	LinModHist	Max	0,33569	0	0,06641	0	0,053	0
3	VLAKY240	LinModHist	Min	-0,30941	0	-0,05185	0	-0,051	0
3	VLAKY250	LinModHist	Max	0,27239	0	0,05993	0	0,043	0
3	VLAKY250	LinModHist	Min	-0,33797	0	-0,06488	0	-0,054	0
3	VLAKY260	LinModHist	Max	0,30102	0	0,06418	0	0,048	0
3	VLAKY260	LinModHist	Min	-0,26754	0	-0,06146	0	-0,043	0
3	VLAKY280	LinModHist	Max	0,47721	0	0,07832	0	0,072	0
3	VLAKY280	LinModHist	Min	-0,4803	0	-0,06587	0	-0,074	0
3	VLAKY300	LinModHist	Max	0,37514	0	0,0602	0	0,056	0
3	VLAKY300	LinModHist	Min	-0,43396	0	-0,05002	0	-0,067	0
3	VLAKY320	LinModHist	Max	0,25778	0	0,04356	0	0,038	0
3	VLAKY320	LinModHist	Min	-0,33037	0	-0,04447	0	-0,052	0

Obr. 50 - Náhled tabulkového výstupu pro export



Obr. 51 - Výběr exportu všech tabulek

Výběrem File – Export All Tables – To Excel tak, jak je vidět na předchozím obrázku, se spustí funkce, která všechny vybrané tabulky zkopíruje do nově otevřeného sešitu tohoto tabulkového editoru. Nikam to zatím hodnoty neukládá, takže je třeba tento sešit uložit. Uspořádání hodnot samozřejmě odpovídá tomu, jak vypadaly v programu CSi,



jen se vytvoří další list s názvem Program Control, zahrnující údaje o verzi a licenci programu, ze které bylo exportováno.

Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Text	Text	m/sec2	m/sec2	m/sec2	rad/sec2	rad/sec2	rad/sec2
3	VLAKY200	LinModHist	Max	0,83888	0	0,26463	0	0,188	0
3	VLAKY200	LinModHist	Min	-0,80692	0	-0,2484	0	-0,181	0
3	VLAKY220	LinModHist	Max	0,68764	0	0,20275	0	0,146	0
3	VLAKY220	LinModHist	Min	-0,94845	0	-0,23899	0	-0,196	0
3	VLAKY240	LinModHist	Max	0,67173	0	0,2709	0	0,134	0
3	VLAKY240	LinModHist	Min	-0,89516	0	-0,33168	0	-0,187	0
3	VLAKY250	LinModHist	Max	0,81831	0	0,39527	0	0,157	0
3	VLAKY250	LinModHist	Min	-0,8884	0	-0,41006	0	-0,17	0
3	VLAKY260	LinModHist	Max	0,5175	0	0,17423	0	0,119	0
3	VLAKY260	LinModHist	Min	-0,65463	0	-0,2429	0	-0,135	0
3	VLAKY280	LinModHist	Max	0,97572	0	0,30363	0	0,192	0

Obr. 52 - Exportované hodnoty do programu Microsoft Office Excel

Poslední typ výstupu, který lze získat, je textový protokol o výpočtu, jehož součástí je výpis vlastních frekvencí a period. Tyto frekvence jsou vypsané do tabulky v následující podkapitole. Jejich získání ze zmíněného souboru protokolu je možné prostým kopírováním hodnot v textovém editoru.

Found mode	of	12:	EV=	f=	T=
Found mode 1	of 12:	EV= 4.8463522E+02,	f= 3.503706,	T= 0.285412	
Found mode 2	of 12:	EV= 3.4917713E+03,	f= 9.404658,	T= 0.106330	
Found mode 3	of 12:	EV= 9.6865930E+03,	f= 15.664108,	T= 0.063840	
Found mode 4	of 12:	EV= 2.8064214E+04,	f= 26.662236,	T= 0.037506	
Found mode 5	of 12:	EV= 5.5104060E+04,	f= 37.360436,	T= 0.026766	
Found mode 6	of 12:	EV= 6.5192232E+04,	f= 40.636665,	T= 0.024608	
Found mode 7	of 12:	EV= 1.1194890E+05,	f= 53.251279,	T= 0.018779	
Found mode 8	of 12:	EV= 1.7228657E+05,	f= 66.061106,	T= 0.015138	
Found mode 9	of 12:	EV= 1.8335340E+05,	f= 68.149805,	T= 0.014674	
Found mode 10	of 12:	EV= 2.4874523E+05,	f= 79.377517,	T= 0.012598	
Found mode 11	of 12:	EV= 3.3518769E+05,	f= 92.143385,	T= 0.010853	
Found mode 12	of 12:	EV= 3.6953435E+05,	f= 96.749234,	T= 0.010336	

NUMBER OF EIGEN MODES FOUND	=	12
NUMBER OF ITERATIONS PERFORMED	=	9
NUMBER OF STIFFNESS SHIFTS	=	0

A N A L Y S I S   C O M P L E T E 2017/01/06 15:02:58

Obr. 53 - Zobrazení protokolu o výpočtu – výpis vlastních frekvencí a period

## 9.2 Vlastní frekvence

Vlastní frekvence konstrukce, neboli počet kmitů konstrukce v příslušném vlastním tvaru za 1 sekundu, odpovídá převrácené hodnotě vlastní periody, tedy době trvání jednoho kmitu. Hodnoty prvních vlastních frekvencí pro každý průřez ve svých příslušných variantách a rozpětích jsou vypsány v následující tabulce.

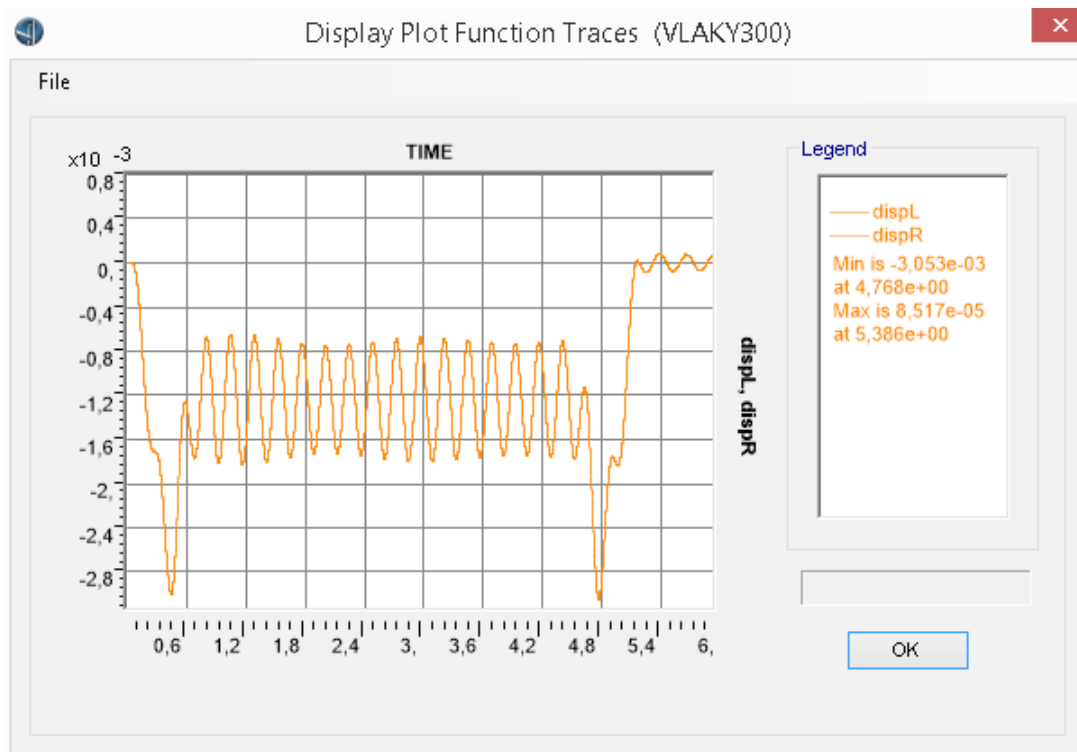
Tab.11 - První vlastní frekvence

Průřez	Varianta	1. vlastní frekvence [Hz] při rozpětí		
		zmenšeném	základním	zvětšeném
ŽB deska	d10	10,0781	7,8389	6,3436
	d15	6,6449	4,9207	3,9323
PJB dvoutrám	d10	3,7251	3,3025	2,9660
	d15	2,4193	2,1317	1,9078
PJB komora	d10	3,2318	2,9399	2,6958
	d15	2,1514	1,9429	1,7713
OB dvoutrám	d10	3,9281	3,5037	3,1707
	d15	2,5469	2,2304	1,9907
OB komora	d10	3,5765	3,2701	3,0139
	d15	2,4025	2,1741	1,9859

## 9.3 Ukázky výstupů

Grafické výstupy, tedy grafy časových průběhů průhybů a zrychlení konstrukce mostu, dávají, jak už bylo zmíněno, detailní informace o chování konstrukce, ale pouze pro malou část, jsou proto pro celou analýzu nepraktické a sestavit z nich celou konstrukci by bylo časově nezvládnutelné, ale stejně se, pro základní rozpětí a některé průřezy, pár grafů časových průběhů z prostředka konstrukce pro ověření chování dostalo až sem. Některé z nich sice už nejsou pro drobné změny v modelu ve své podobně platné pro tuto práci, ale jejich charakter jako ilustrace chování to nemění. Ke všem těmto případům na konstrukci dochází stále, jen při jiných rychlostech přejezdu souprav, s jinými extrémními hodnotami nebo v jiných bodech na konstrukci.

Na následujících obrázcích jsou vystiženy hlavní typy kmitání, ke kterým docházelo. Nachází se zde jak ustálené kmitání, tak i kmitání naprosto neustálené, kmitání spíše kvazistálé i rezonanční, a to jak pro průhyb, který prozrazoval, kdy je na konstrukci lokomotiva a kdy jen vagony, tak pro často zajímavější zrychlení.



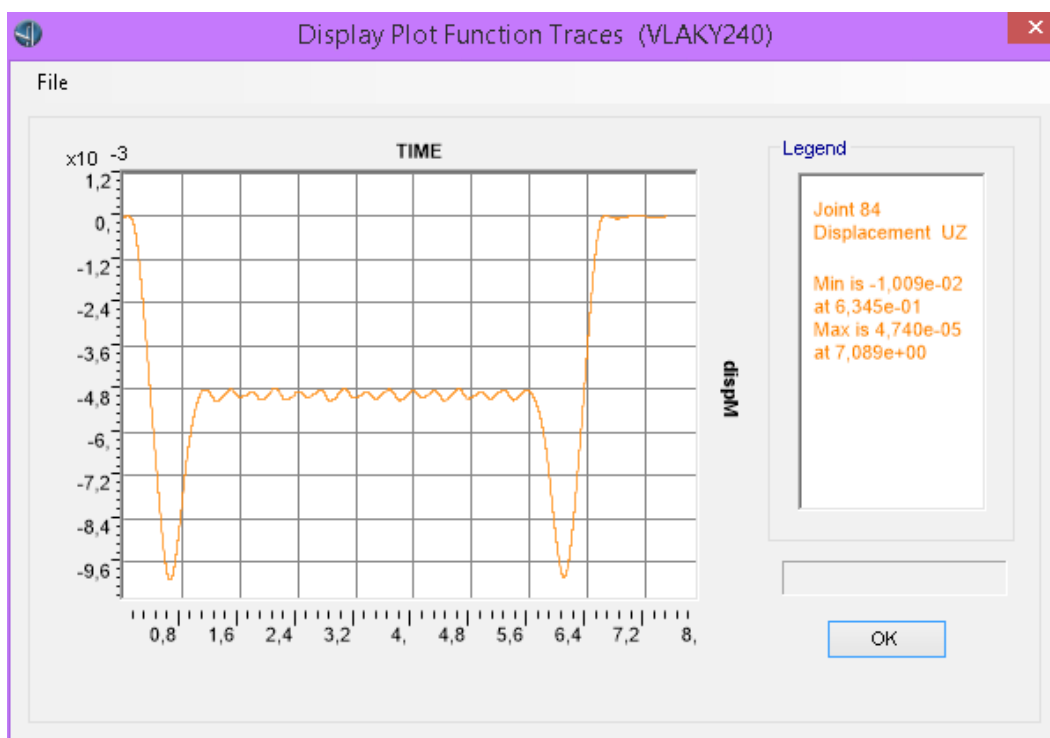
Obr. 54 - Časový průběh průhybu kolem středu konstrukce

*PJB dvoutrám, souprava HSLM A3, výška d10, rychlost 300 km/hod*

Na prvním obrázku (Obr. 54) je vidět průhyb v oblasti kolem středu konstrukce na předpjatém betonovém dvoutrámu o výšce průřezu  $L/10$  od soupravy HSLM A3 při rychlosti 300 km/hod. Na začátku a na konci průběhu je výrazně větší průhyb, jelikož se na most vejde celá lokomotiva, uprostřed průběhu je průhyb menší, protože se na most vejde, díky jejich vzdálenosti u vagonů, méně náprav. Kmitání je zde viditelně ustálené, po odjezdu zatěžovací soupravy z mostu nedochází k žádnému výraznějším výkmitu. Dokmitávání není podchyceno celé, protože se nedá předpokládat, že by v něm došlo k extrémním hodnotám zrychlení nebo průhybu, ale naopak se plynule utlumí.

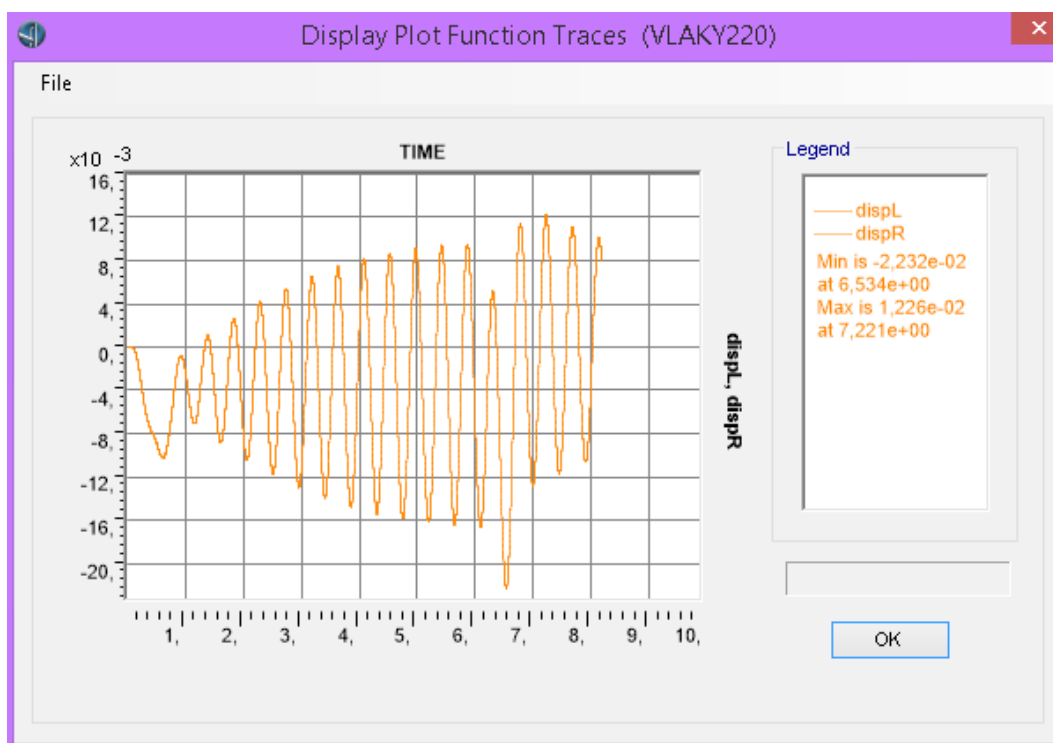
Předpjatá betonová komora má díky svému velkému rozpětí i velkou setrvačnou hmotu, je proto dost těžké ji donutit k nějaké dynamické akci. Na obr. 55 je vidět, že dynamická složka kmitání je v době přejezdu vagonů soupravy minimální (kolem dvou desetín milimetru) oproti kvazistatické složce (půl centimetru až centimetr). O dokmitávání

konstrukce zde také téměř nemůže být řeč. Poté, co model soupravy opustí most, se konstrukce okamžitě vrátí do původního stavu.



Obr. 55 - Časový průběh průhybu středu konstrukce

*PJB komora, souprava HSLM A4, výška d15, rychlost 240 km/hod*

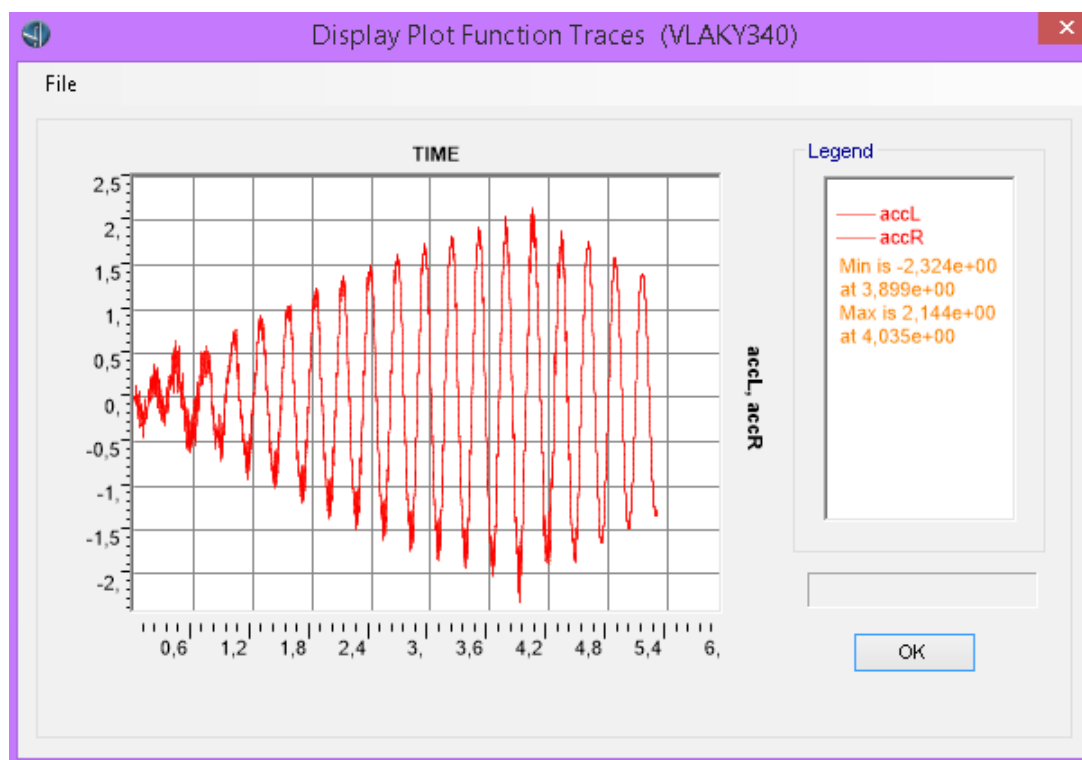


Obr. 56 - Časový průběh průhybu kolem středu konstrukce

*PJB dvoutrám, souprava HSLM A10, výška d15, rychlost 220 km/hod*

Naopak na obrázku 56 je zachyceno kmitání středu konstrukce mostu, když jsou budící a vlastní frekvence svými hodnotami blízko a dochází tak k rezonanci. Díky tomu se začne střed konstrukce nadzvedávat, a to i přesto, že na něm stále přejíždí zatěžovací souprava, a to v hodnotách, které jsou srovnatelné s dokmitáním. Toto nadzvedávání konstrukce je z hlediska únavy velmi nepříznivé, jelikož se dá předpokládat, že se díky tomu bude měnit smysl napětí (kladné/záporné) a tím přidávat více cyklů do únavového namáhání mostu.

Ke kmitání blízkému rezonanci dochází i v případě následujícího obrázku, kdy je vidět téměř lineární nárůst amplitudy zrychlení po celou dobu, co je souprava na konstrukci. Čím blíže je budící frekvence od zatěžovací soupravy vlastní frekvenci konstrukce mostu, tím prudší je nárůst a delší doba, po kterou je lineární než se začne zmírňovat a ustalovat.

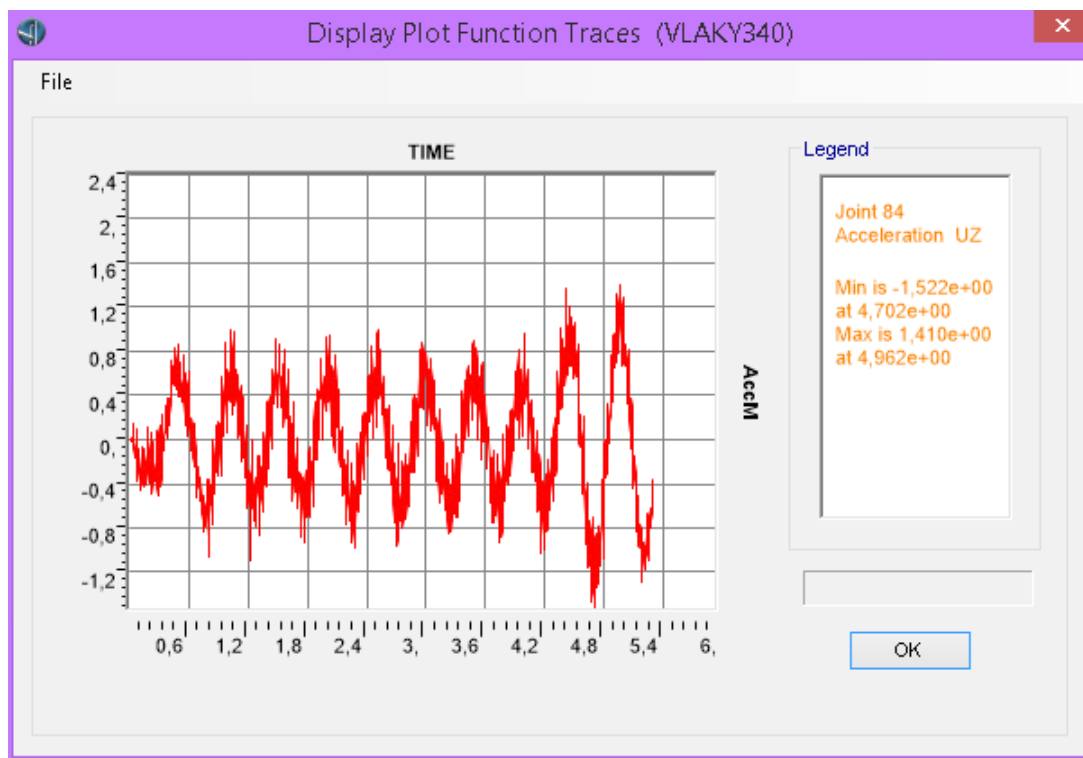


Obr. 57 - Časový průběh zrychlení kolem středu konstrukce

*PJB dvoutrám, souprava HSLM A9, výška d10, rychlost 340 km/hod*

Na následujícím obrázku je vidět ustálené kmitání, kdy je po celou dobu přejezdu soupravy amplituda zrychlení téměř stejná a až výkmit poté, co souprava opustí most, hodnoty o cca polovinu zvedne. Kromě tohoto je vidět, že je čára průběhu dost „chlupatá“, což je způsobeno tím, že se zde hodně projevuje vyšší vlastní frekvence, ale ne jako

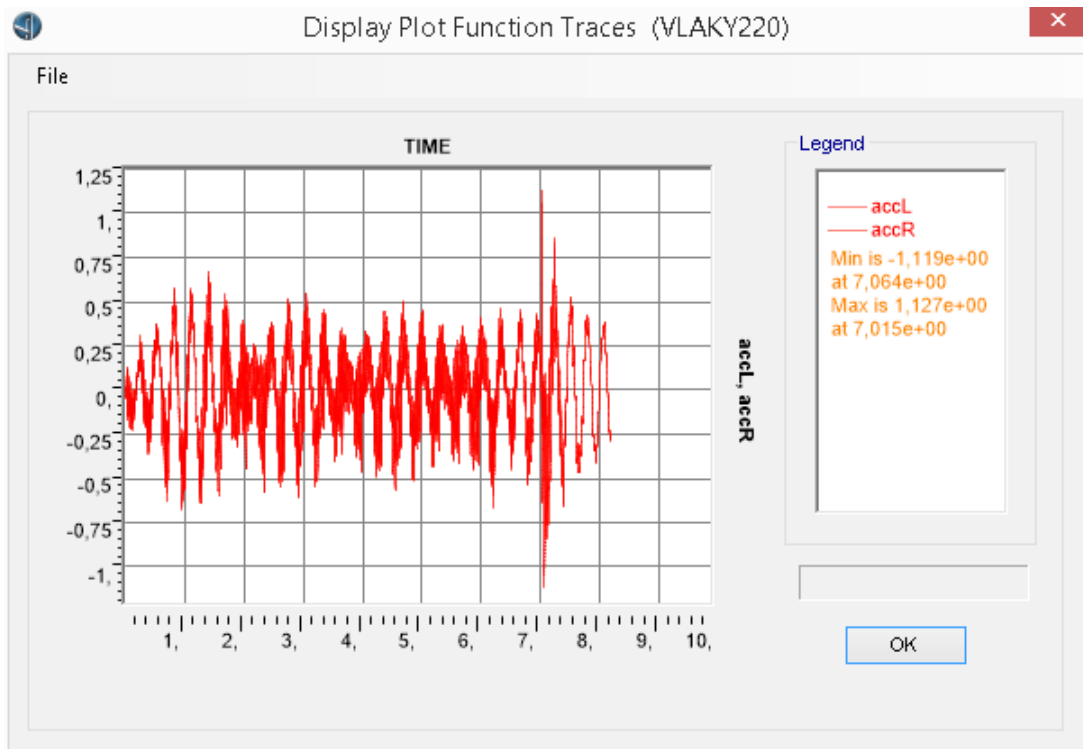
převažující. Zatímco převažující frekvence je cca 2 Hz (jsou vidět cca 2 úplné kmity za 1 vteřinu), vyšší frekvence způsobující chlupatost křivky může mít frekvenci kolem 30 Hz. Na části dokmitávání od doby mezi čtvrtou a pátou vteřinou je také vidět, že vyšší frekvence se rychleji utlumí, což způsobí, že se čára vyčistí a bude si dokmitávat ve tvaru příslušnému nejbližší vlastní frekvenci.



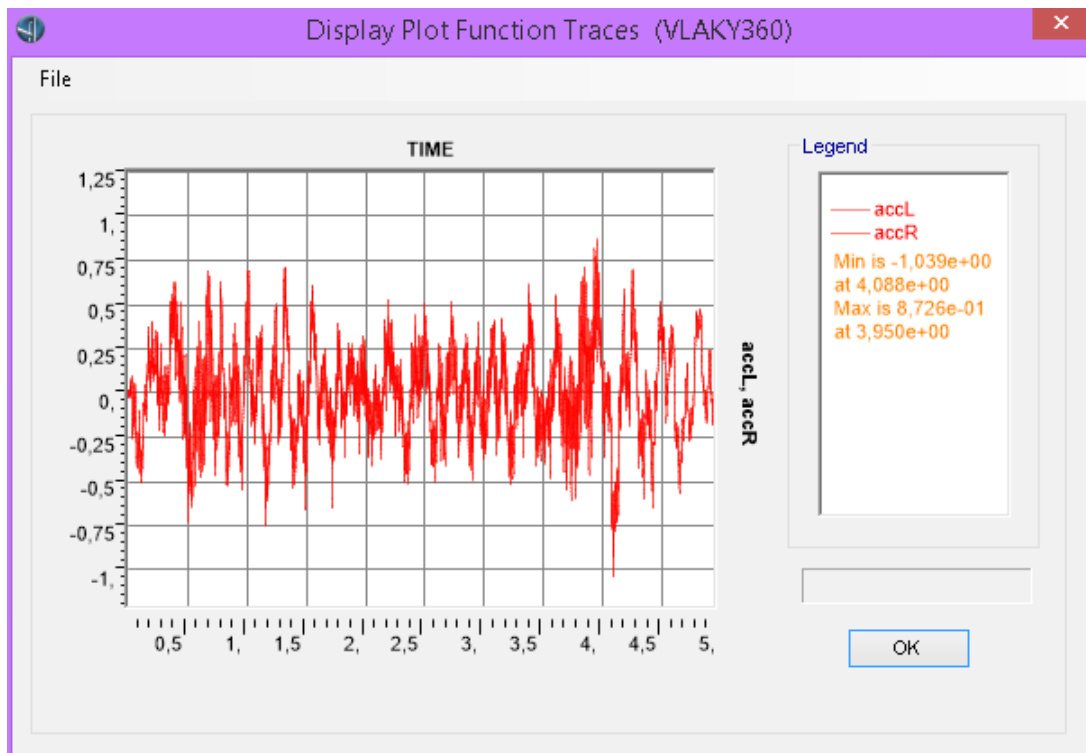
Obr. 58 - Časový průběh zrychlení středu konstrukce

*OcBet spřaž. komora, souprava HSLM A3, výška d15, rychlost 340 km/hod*

Jako další je tu ukázka zrychlení, které sice má stálou frekvenci, ale liší se mu amplituda podobně, jako u záznejí. Co je na tomto průběhu nejzajímavější, je chování na konci přejezdu. Zatímco v době, kdy se na mostě nachází přejíždějící souprava, konkrétně zatěžovací model HSLM A3, dosahuje maximální zrychlení hodnotu kolem  $0,7 \text{ m/s}^2$  a po celou dobu přejezdu má mírně klesající tendenci k hodnotě  $0,5 \text{ m/s}^2$ , v okamžiku, kdy souprava most opustí, konstrukce „vystřelí“ se zrychlením více než dvojnásobným na hodnotě více než  $1,1 \text{ m/s}^2$ . Jak je ale dále vidět, tato dále už nebuzená hodnota velmi rychle klesla během jediné vteřiny a v pouhých pěti kmitech na zhruba čtvrtinu. Zajímavé také je, že tento průběh nastal v relativně nízké rychlosti 220 kilometrů v hodině, tedy velmi blízko spodní hranice rozsahu analýzy.



Obr. 59 - Časový průběh průhybu kolem středu konstrukce  
PJB dvoutrám, souprava HSLM A3, výška d10, rychlost 220 km/hod



Obr. 60 - Časový průběh průhybu kolem středu konstrukce  
OcBet spřaž. dvoutrám, souprava HSLM A6, výška d10, rychlost 360 km/hod

Posledním ze zajímavých případů je ten nejméně uspořádaný. Jde o naprosto neustálené kmitání, kdy není vidět žádná převažující frekvence a ani amplituda nemá chvíli stejnou hodnotu. Teprve v okamžiku, kdy souprava zcela přejede most, se začne po výrazném výkmitu rýsovat základ harmonického tlumeného kmitání o jedné převažující frekvenci a jedné vyšší, která by se však do několika vteřin utlumila zcela.

Co se týká ukázky tabulkových výstupů, ty jsou všechny stejné, jako poslední obrázek kapitoly 9.1 – Získání výstupů. Jediný rozdíl je v hodnotách, ale formátem jsou bez jakéhokoliv překvapení všechny stejné.

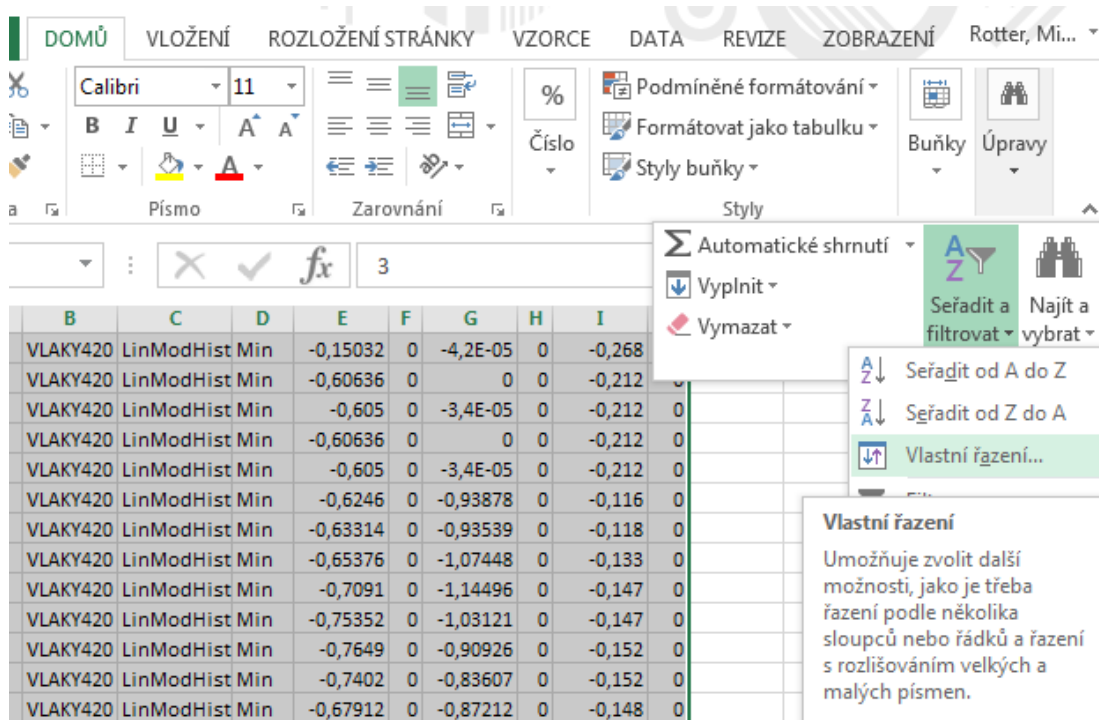
## **9.4 Zpracování výstupů**

V první fázi studie byly ověřeny jen maximální hodnoty zrychlení podle grafů, které ale všechny zobrazovaly časový průběh průhybu a zrychlení středu konstrukce. Domněnka, že se tak postihnou všechny extrémy, je ale pro sudé vlastní tvary lichá. Sudé vlastní tvary totiž zpravidla mají v prostředku symetrické konstrukce uzal, neboli místo s nulovou pořadnicí. Tím pádem by bylo třeba dělat grafické průběhy pro více míst, aby byly extrémní hodnoty zachyceny v dostatečné míře. Jelikož se uvažuje prvních dvanáct vlastních tvarů, bylo by třeba sledovat téměř čtvrtinu všech bodů, což je časově naprosto neuskutečnitelné bez nějakého automatizovaného postupu.

Oproti tomu tabulkové výstupy jsou, i když méně detailní, jelikož neprozrazují, v jakém okamžiku bylo extrému dosaženo, pro další zpracování ideální. Jak je popsáno výše, exportované tabulky skončí jako sešit Excelu s dvěma listy dat, jedním pro průhyby a jedním pro zrychlení. Průhyby jsou důležité hlavně pro porovnávání dynamických účinků vysokorychlostních zatěžovacích souprav se statickými zatěžovacími modely s dynamickým součinitelem. Jsou proto zpracovávány spolu se zrychleními, která jsou hlavním výstupem a nakonec i nejdůležitějším výsledkem této studie.

Prvním krokem pro zpracování výstupů je tedy export tabulkových hodnot do zmíněného Excelového sešitu. Z tohoto sešitu se pak zkopírují hodnoty do připraveného Excelového souboru. Je to ohromný soubor dat, protože se kopírují zrychlení pro každý bod na konstrukci pro každou rychlost a navíc dvakrát, protože se zpracovávají extrémy maximální i minimální. Díky tomu, že se pracuje pouze s jednoduchým prutovým modelem s délkou dílců 1,0 metru je počet těchto bodů v rozumné míře kolem tisíce až dvou tisíc čísel.

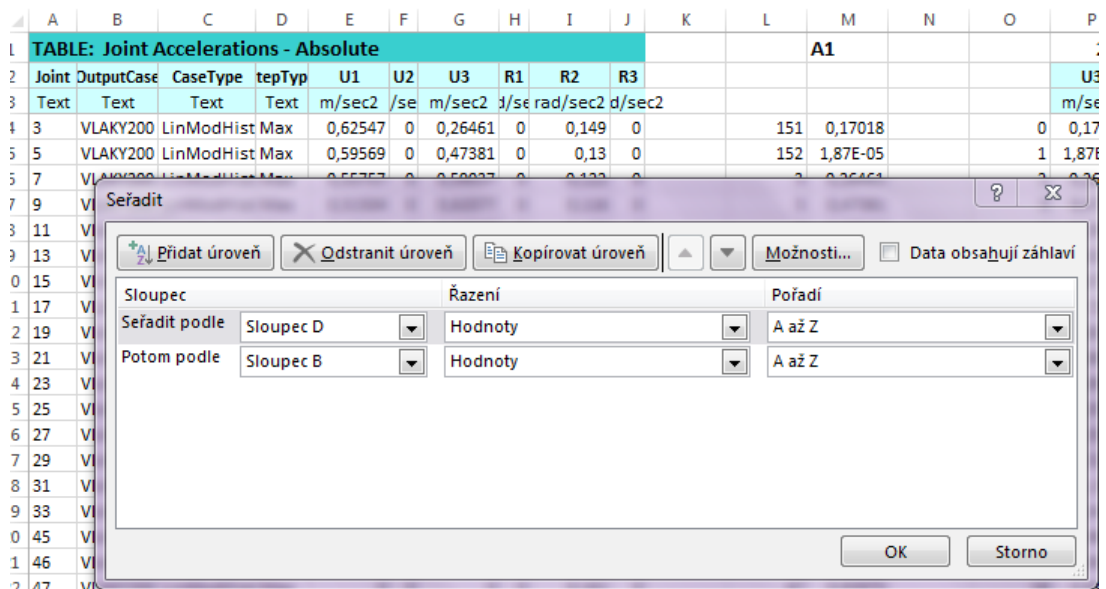




Obr. 61 - Seřazení zkopírovaných dat – Vlastní řazení

Druhým krokem při zpracování dat bylo jejich seřazení. Toho se dosáhlo jednoduše označením zkopírovaných dat, ale pouze těch číselných, bez hlavičky obsahující jednotky a názvy, a vybráním možnosti Úpravy – Seřadit a filtrovat – Vlastní řazení, jak je vidět na obrázku výše. Zde pak byly vybrány sloupce, podle kterých se celý velký soubor čísel seřadil, protože dosud, jak je vidět na posledním obrázku kapitoly 9.1 – Získání výstupů, měly všechny body, které jsou vidět v záběru, označení 3, což je vzhledem ke zvláštnímu systému číslování v CSi první bod konstrukce. Kromě toho se tam střídají minimální a maximální hodnoty, což je také pro soubor dat nepříjemné, pokud z něho chceme sestavit graf. Prvním řazením tedy bude organizace podle sloupce D, který obsahuje informace o tom, zda jde o minimum nebo maximum. Druhým a posledním potřebným řazením v této funkci je pak seřazení podle sloupce B, který obsahuje rychlost, během které tato hodnota vznikla. Na následujícím obrázku je toto řazení vidět zobrazené, na pozadí už s hotovým výsledkem.

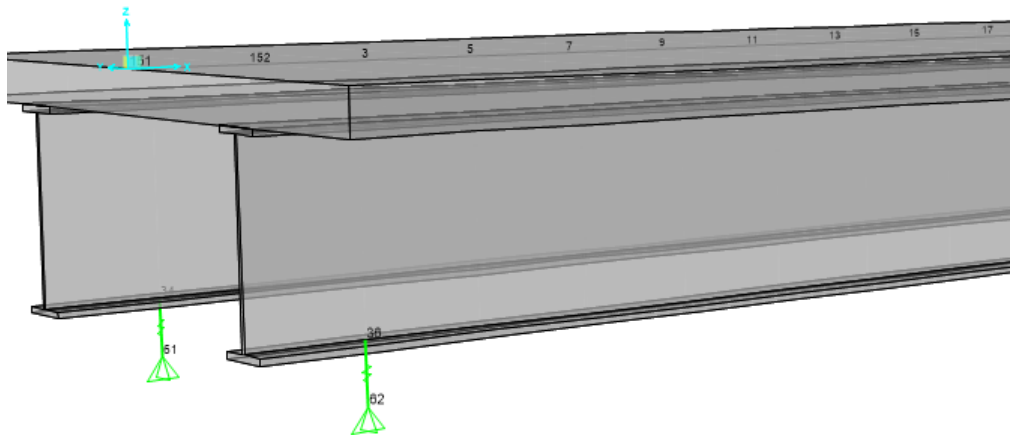
Dalším krokem, v pořadí třetím, je seřazení těchto dat podle skutečného umístění bodů na konstrukci, což může být zajímavé, protože nemusí ani zdaleka být od nejmenšího po největší, jak je vidět na obrázku 63 - Třídíčka dat, kde jsou čísla prostřídána s vloženými velkými čísly. V náhledu konstrukce, jak je vidět v kapitole Zvolený model nebo lépe na obrázku 64. Čísla jsou hodně malá a CSi neobsahuje uživatelsky dostupné nastavení písma, proto je obrázek tolik přiblížen.



Obr. 62 - Seřazení zkopírovaných dat – kritéria řazení

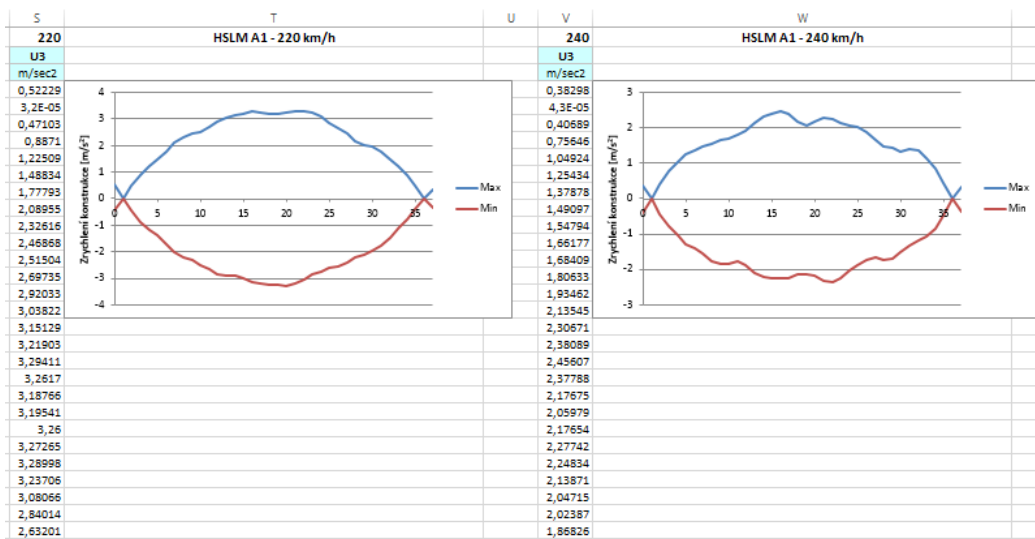
1	TABLE: Joint Accelerations - Absolute													HSLM A1
2	Joint	OutputCase	CaseType	tepTyp	U1	U2	U3	R1	R2	R3				
3	Text	Text	Text	Text	m/sec2	/se	m/sec2	d/se	rad/sec2	d/sec2				
4	3	VLAKY200	LinModHist	Max	0,73519	0	0,24711	0	0,199	0		151	0,5525	
5	5	VLAKY200	LinModHist	Max	0,65587	0	0,4209	0	0,236	0		67	0,27105	
6	7	VLAKY200	LinModHist	Max	0,58225	0	0,63664	0	0,28	0		152	0,00011	
7	9	VLAKY200	LinModHist	Max	0,46131	0	0,81864	0	0,205	0		68	0,13845	
8	11	VLAKY200	LinModHist	Max	0,51582	0	0,86177	0	0,311	0		3	0,24711	
9	13	VLAKY200	LinModHist	Max	0,64804	0	0,75852	0	0,472	0		69	0,31907	
10	15	VLAKY200	LinModHist	Max	0,58795	0	0,78247	0	0,38	0		5	0,4209	
11	17	VLAKY200	LinModHist	Max	0,48106	0	0,94518	0	0,203	0		70	0,52217	
12	19	VLAKY200	LinModHist	Max	0,46599	0	0,89484	0	0,225	0		7	0,63664	
13	21	VLAKY200	LinModHist	Max	0,50539	0	0,74695	0	0,405	0		71	0,74143	
14	23	VLAKY200	LinModHist	Max	0,54748	0	0,7502	0	0,272	0		9	0,81864	
15	25	VLAKY200	LinModHist	Max	0,56157	0	0,73692	0	0,199	0		72	0,85995	
16	27	VLAKY200	LinModHist	Max	0,55835	0	0,58109	0	0,203	0		11	0,86177	
17	29	VLAKY200	LinModHist	Max	0,54759	0	0,31871	0	0,237	0		73	0,82582	
18	31	VLAKY200	LinModHist	Max	0,55646	0	1E-04	0	0,382	0		13	0,75852	
19	33	VLAKY200	LinModHist	Max	0,58308	0	0,51308	0	0,462	0		74	0,76925	
20	45	VLAKY200	LinModHist	Max	0	0	0	0	0,467	0		15	0,78247	
21	46	VLAKY200	LinModHist	Max	0	0	0	0	0,467	0		75	0,87538	
22	47	VLAKY200	LinModHist	Max	0,79942	0	0	0	0,382	0		17	0,94518	
23	48	VLAKY200	LinModHist	Max	0,79942	0	0	0	0,382	0		76	0,95036	
24	67	VLAKY200	LinModHist	Max	0,98996	0	0,27105	0	0,531	0		19	0,89484	
25	68	VLAKY200	LinModHist	Max	0,81526	0	0,13845	0	0,292	0		77	0,78907	
26	69	VLAKY200	LinModHist	Max	0,68707	0	0,31907	0	0,207	0		21	0,74695	
27	70	VLAKY200	LinModHist	Max	0,6248	0	0,52217	0	0,266	0		78	0,73174	
28	71	VLAKY200	LinModHist	Max	0,5257	0	0,74143	0	0,27	0		23	0,7502	
29	72	VLAKY200	LinModHist	Max	0,40333	0	0,85995	0	0,2	0		79	0,75916	
30	73	VLAKY200	LinModHist	Max	0,60356	0	0,82582	0	0,421	0		25	0,73692	
31	74	VLAKY200	LinModHist	Max	0,64155	0	0,76925	0	0,456	0		80	0,67575	
32	75	VLAKY200	LinModHist	Max	0,5048	0	0,87538	0	0,261	0		27	0,58109	
33	76	VLAKY200	LinModHist	Max	0,45695	0	0,95036	0	0,201	0		81	0,45994	

Obr. 63 - Excelová třídička dat

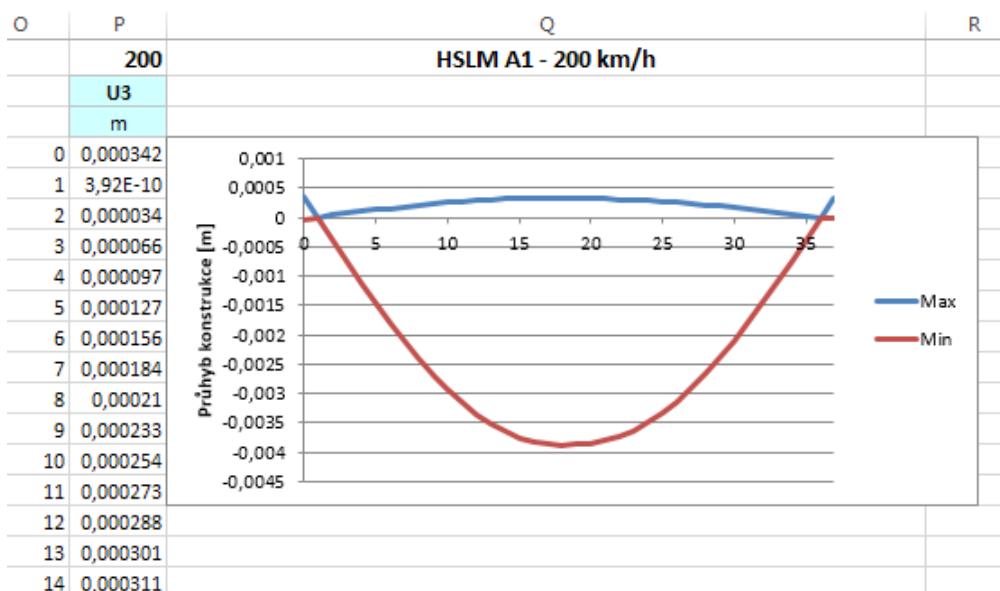


Obr. 64 - Číslování uzlů konstrukce

Seřazení bodů podle jejich umístění v konstrukci stačí pro první rychlost, ostatní mají určitě stejné bodování, takže už je možné okopírovat vztah do ostatních rychlostí. Toto řazení bylo důležité kvůli tomu, aby se vyloučily z dalšího zpracovávání body, které nejsou součástí prutu, tedy střednice mostu, ale upevnění. Dále to také umožní další krok, což je grafické ověření, kterým se rozumí vytvoření grafu závislosti extrémního zrychlení, popř. i průhybu, jak je vidět o obrázek dále, na pozici na mostě pro každou rychlost zvlášť. Tím se dá ověřit, jestli nedochází k nějakému podezřelému skoku nebo zvláštní nesymetrii, která může odhalit, že nebyla správně nastavena setrvačná spojitá hmota. Také to dává možnost „okrouhat“ konce, pokud by u nich docházelo k nadměrnému kmitání. Jsou totiž 1 metr dlouhé, což je více, než ve skutečnosti, takže se dá předpokládat, že až k takovému kmitání nedojde. To je významné hlavně u kratšího rozpětí deskového průřezu.



Obr. 65 - Roztříděná zrychlení ověřená graficky



Obr. 66 - Průhyb zatím prochází stejnými postupy jako zrychlení

Když jsou hodnoty graficky ověřeny, je možné bezpečně přejít na poslední krok, kterým je vyhledání extrémů extrémů, neboli nalezení nejmenší a největší hodnoty zrychlení (a průhybů) po délce konstrukce. Tato hodnota, jak bylo zmíněno v prvním odstavci této kapitoly, není vždy ve středu konstrukce, což je vidět graficky i na obrázku 65 – Roztřídná zrychlení, i když ne tak výrazně. Na obrázku níže (Obr. 67) je dvouřádek extrémních zrychlení a průhybů, vždy pro každou rychlost jedno číslo minimální a jedno maximální. Přestože je ve výsledku jedno, zda bude tato hodnota kladná nebo záporná, protože rozhodující zrychlení je v absolutní hodnotě, jsou tyto hodnoty stále drženy v obou smyslech kvůli kontrole. Jakýkoliv výraznější rozdíl mezi nimi totiž signalizuje nějakou chybu, ať už v modelu jako takovém, nebo v pozdějším zpracování dat.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	<b>A1</b>	<b>Acceleration</b>														
2		<b>200</b>	<b>220</b>	<b>240</b>	<b>250</b>	<b>260</b>	<b>280</b>	<b>300</b>	<b>320</b>	<b>340</b>	<b>350</b>	<b>360</b>	<b>380</b>	<b>400</b>	<b>420</b>	
3	Max	1,05498	3,29411	2,45607	1,59207	1,74727	1,03092	1,33087	1,44976	1,40276	0,96932	1,09069	1,60891	1,01587	1,11671	[m/s <sup>2</sup> ]
4	Min	-0,98263	-3,27558	-2,34986	-1,93085	-1,92996	-0,93843	-1,15782	-1,3075	-1,30651	-0,9801	-1,04579	-1,48177	-1,05154	-1,14496	[m/s <sup>2</sup> ]
5		<b>Displacement</b>														
6		<b>200</b>	<b>220</b>	<b>240</b>	<b>250</b>	<b>260</b>	<b>280</b>	<b>300</b>	<b>320</b>	<b>340</b>	<b>350</b>	<b>360</b>	<b>380</b>	<b>400</b>	<b>420</b>	
7																
8	Max	0,000342	0,004599	0,002201	0,00078	0,000408	0,000344	0,000322	0,000446	0,000615	0,000499	0,000374	0,000416	0,000411	0,000487	[m]
9	Min	-0,00388	-0,00822	-0,00556	-0,00418	-0,00428	-0,00406	-0,00395	-0,00402	-0,00419	-0,00378	-0,0039	-0,00381	-0,00411	-0,00389	[m]

Obr. 67 - Nalezené extrémy pro každou rychlost

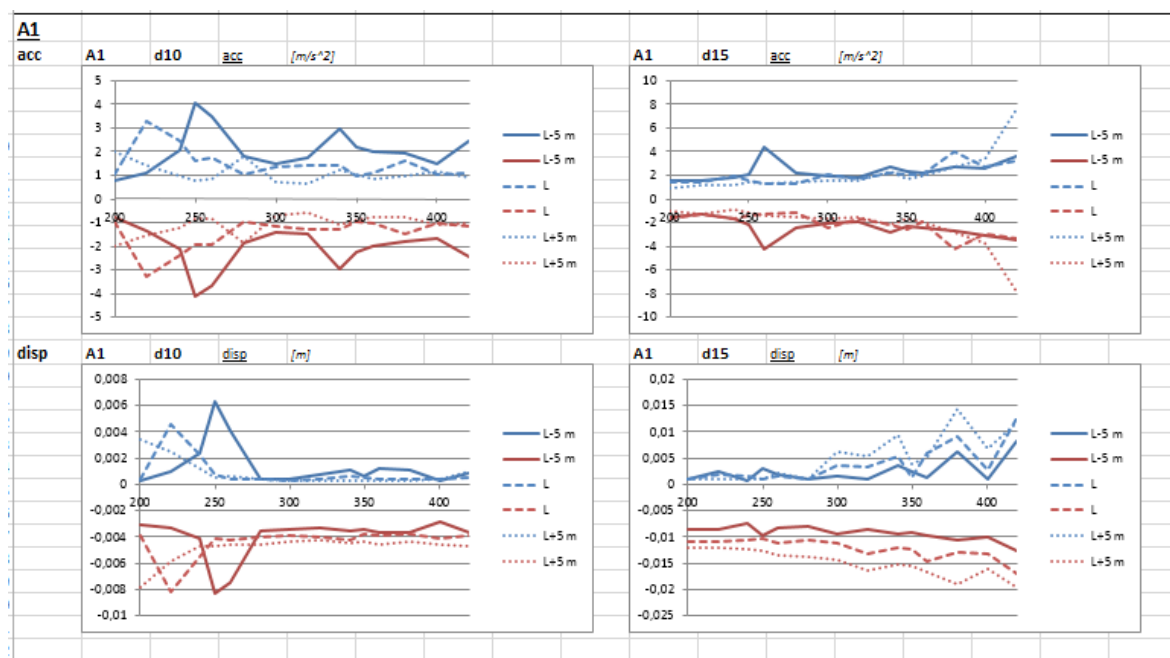
Tento postup byl zopakován tolikrát, kolikrát byly mosty zatíženy modelovými soupravami. To znamená, že při počtu 5 průřezů o dvou výškových variantách, při 3 různých rozpětích a se 14 různými zatěžovacími soupravami, šlo o rovných 420 opakování

zmíněného postupu, a to jen za předpokladu, že by nedošlo k odhalení žádných chyb nebo nedostatků v modelu, které by bylo třeba napravit a pak přepočítat. Pro představu – kdyby se každá rychlost exportovala zvlášť, tak by to sice znamenalo mnohem jednodušší druhý krok, tedy řazení dat, ale za cenu čtrnáctinásobného množství opakování, což je tak při celkovém počtu 5880 opakování spousta příležitostí dělat chyby z přepisu a přepracování.

Předposledním krokem je sestavení všech nalezených extrémů dohromady do většího souboru, kde jsou jak zkontrolovány vazby mezi rozpětími, tedy jestli se při změně rozpětí o 5 metrů špičky zrychlení posunou, změní svou velikost nebo zcela zmizí, ale hlavně zda jsou hodnoty řádově porovnatelné. Pokud má 35 metrů dlouhý most extrém kmitání na  $3 \text{ m/s}^2$  a 40metrový most stejného průřezu  $10 \text{ m/s}^2$ , je třeba zbystřit a ověřit si, zda nedošlo k nějakému prohození hodnot.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Acc	d10														
2	A1	200	220	240	250	260	280	300	320	340	350	360	380	400	420	
3	max	1,05498	3,29411	2,45607	1,59207	1,74727	1,03092	1,33087	1,44976	1,40276	0,96932	1,09069	1,60891	1,01587	1,11671	[m/s <sup>2</sup> ]
4	min	-0,98263	-3,27558	-2,34986	-1,93085	-1,92996	-0,93843	-1,15782	-1,3075	-1,30651	-0,9801	-1,04579	-1,48177	-1,05154	-1,14496	[m/s <sup>2</sup> ]
5	A2	200	220	240	250	260	280	300	320	340	350	360	380	400	420	
6	max	0,98677	1,62554	6,04815	2,82775	2,3945	1,19183	1,57932	2,44843	1,3588	1,20268	1,39447	1,39669	1,31111	1,38997	[m/s <sup>2</sup> ]
7	min	-0,9409	-1,55976	-6,05996	-2,77599	-2,36875	-1,26385	-1,5575	-2,53888	-1,50245	-1,11942	-1,55809	-1,27069	-1,08829	-1,27528	[m/s <sup>2</sup> ]
8	A3	200	220	240	250	260	280	300	320	340	350	360	380	400	420	
9	max	0,90244	1,13152	1,58859	1,96019	4,02475	1,36021	1,07849	1,21025	1,70496	1,90532	1,58231	1,20367	1,2856	0,91762	[m/s <sup>2</sup> ]
10	min	-0,85615	-1,01068	-1,71884	-2,46523	-4,26076	-1,46871	-1,01384	-1,1267	-1,36202	-1,60037	-1,61707	-1,08464	-1,13525	-1,02183	[m/s <sup>2</sup> ]
11	A4	200	220	240	250	260	280	300	320	340	350	360	380	400	420	
12	max	0,76237	1,28048	2,62366	5,31453	3,31868	1,14074	1,25757	1,69304	2,37133	1,13395	1,05382	1,89202	0,92886	1,49251	[m/s <sup>2</sup> ]
13	min	-0,88171	-1,28653	-2,79256	-5,33518	-3,27419	-1,27632	-1,17639	-1,64429	-2,45323	-1,26905	-1,20873	-1,43615	-1,00957	-1,49697	[m/s <sup>2</sup> ]
14	A5	200	220	240	250	260	280	300	320	340	350	360	380	400	420	
15	max	0,6395	1,00847	1,23013	1,55297	1,73819	2,34234	0,99616	1,11203	0,93164	1,16788	1,53228	1,72642	1,16602	1,57877	[m/s <sup>2</sup> ]
16	min	-0,7939	-1,03954	-1,17192	-1,43454	-1,78621	-2,22949	-1,12397	-1,22841	-0,95986	-1,04767	-1,49686	-1,63442	-1,23577	-1,48097	[m/s <sup>2</sup> ]

Obr. 68 - Soupis extrémů v jednom souboru

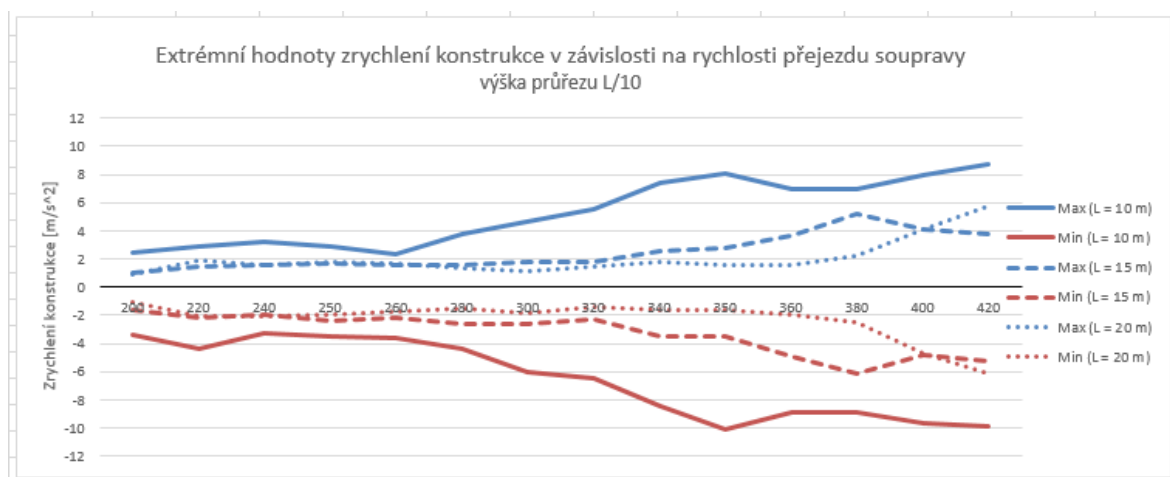


Obr. 69 - Porovnání extrémů mezi rozpětími, L = 35 m

Poslední krok pro zpracování výstupů před tvorbou konečné tabulky, která je výsledkem této studie, je seskupení všech souprav do jedné. Tím je myšleno, že se všechny výsledky dají dohromady a pro každou rychlost se vypíše minima a maxima, tentokrát už bez informace o tom, která souprava tohoto extrému dosáhla. Tím se dostane soupis extrémních zrychlení pro každou rychlost příslušného průřezu a rozpětí, který je tvořen daty pro zmíněnou výslednou tabulku. Na následujících obrázcích je pro ilustraci příklad tabulky a grafu těchto extrémů.

<b>d10</b>														
L-5	200	220	240	250	260	280	300	320	340	350	360	380	400	420
max	2,43787	2,92089	3,18092	2,93467	2,31271	3,74671	4,66152	5,51831	7,37357	8,07499	6,98567	6,97145	7,96304	8,66583
min	-3,38704	-4,42353	-3,24246	-3,48057	-3,57162	-4,41109	-6,07794	-6,43058	-8,47958	-10,129	-8,91673	-8,88984	-9,644	-9,83696
<b>L</b>														
L-5	200	220	240	250	260	280	300	320	340	350	360	380	400	420
max	1,06456	1,4352	1,59788	1,72598	1,55476	1,56239	1,74062	1,80902	2,59522	2,76631	3,69456	5,2419	4,11049	3,81699
min	-1,59811	-2,17145	-1,96826	-2,39505	-2,14482	-2,66037	-2,60149	-2,33226	-3,49323	-3,51333	-4,97325	-6,1845	-4,8603	-5,27254
<b>L+5</b>														
L-5	200	220	240	250	260	280	300	320	340	350	360	380	400	420
max	0,90802	1,92802	1,55871	1,79568	1,7213	1,32293	1,09875	1,45412	1,75412	1,55578	1,61385	2,18554	4,13348	5,79569
min	-1,06427	-2,10236	-2,05763	-1,91232	-1,76138	-1,56409	-1,80918	-1,40199	-1,63846	-1,64607	-1,96445	-2,49283	-4,73094	-6,09377
<b>d15</b>														
L-5	200	220	240	250	260	280	300	320	340	350	360	380	400	420
max	4,28599	7,56722	10,15033	8,51399	10,00963	9,79547	11,87043	17,07224	11,68986	12,03771	11,61065	11,97106	13,00578	17,97817
min	-6,20504	-8,97562	-14,4369	-10,5567	-11,9106	-11,6499	-15,1376	-18,3065	-12,8724	-14,8396	-15,2237	-14,6283	-13,7313	-18,3489
<b>L</b>														
L-5	200	220	240	250	260	280	300	320	340	350	360	380	400	420
max	2,52552	3,79601	6,16229	4,50483	5,52913	5,50512	6,96839	14,49679	15,28725	15,2105	15,04073	14,03327	14,75268	16,90394
min	-3,97914	-4,55143	-7,7775	-6,03365	-6,77637	-7,37759	-8,70319	-14,8071	-15,8679	-16,1507	-15,1685	-14,5151	-16,7535	-16,7765

Obr. 70 - Vytažené hodnoty maximálních zrychlení pro každou rychlost



Obr. 71 - Graf maximálních zrychlení v závislosti na rychlosti a rozpětí

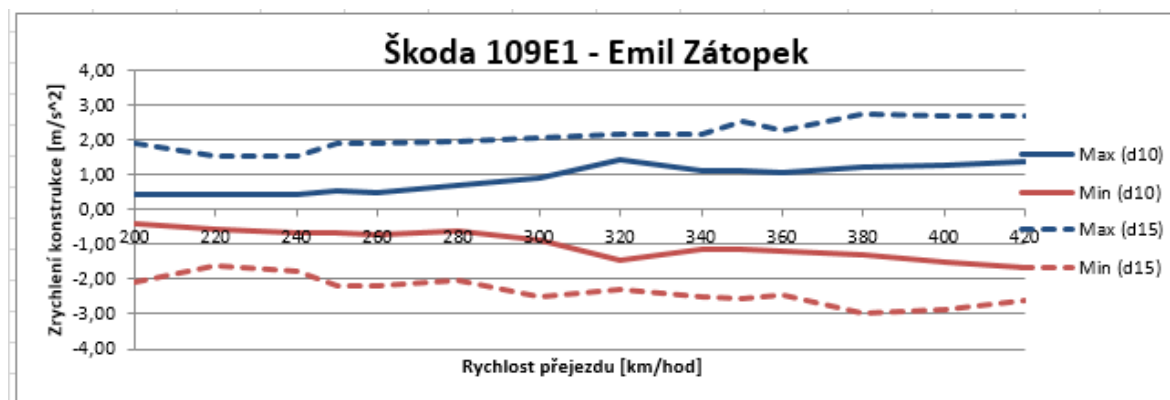


## 9.5 Škoda 109E1 – Emil Zátopek

Dynamická analýza přejezdu soupravy s lokomotivou 109E1 – Emil Zátopek od Škoda Transportation měla dokázat, že její účinky na mostní konstrukce jsou pod normou doporučeným limitem.

Škoda 109E1														
d15														
Acceleration														
	200	220	240	250	260	280	300	320	340	350	360	380	400	420
Max	1,90	1,57	1,57	1,89	1,89	1,95	2,08	2,19	2,18	2,56	2,27	2,74	2,69	2,68 [m/s <sup>2</sup> ]
Min	-2,08	-1,62	-1,76	-2,20	-2,16	-2,03	-2,48	-2,31	-2,49	-2,54	-2,46	-3,00	-2,88	-2,62 [m/s <sup>2</sup> ]
Displacement														
	200	220	240	250	260	280	300	320	340	350	360	380	400	420
Max	0,0087	0,0031	0,0031	0,0043	0,0048	0,0052	0,0059	0,0061	0,0074	0,0076	0,0067	0,0069	0,0090	0,0071 [m]
Min	-0,0135	-0,0125	-0,0132	-0,0135	-0,0137	-0,0142	-0,0147	-0,0150	-0,0152	-0,0153	-0,0154	-0,0155	-0,0155	-0,0155 [m]
d10														
Acceleration														
	200	220	240	250	260	280	300	320	340	350	360	380	400	420
Max	0,46	0,44	0,45	0,52	0,48	0,73	0,89	1,44	1,13	1,12	1,09	1,22	1,28	1,39 [m/s <sup>2</sup> ]
Min	-0,42	-0,55	-0,67	-0,64	-0,71	-0,62	-0,87	-1,46	-1,16	-1,15	-1,19	-1,29	-1,48	-1,64 [m/s <sup>2</sup> ]
Displacement														
	200	220	240	250	260	280	300	320	340	350	360	380	400	420
Max	0,0003	0,0003	0,0005	0,0003	0,0003	0,0003	0,0011	0,0032	0,0009	0,0011	0,0016	0,0009	0,0015	0,0013 [m]
Min	-0,0031	-0,0030	-0,0030	-0,0031	-0,0031	-0,0033	-0,0035	-0,0043	-0,0038	-0,0039	-0,0040	-0,0041	-0,0042	-0,0043 [m]

Obr. 72 - Tabulka extrémních hodnot kmitání od přejezdu soupravy se Škodou 109E1



Obr. 73 - Graf extrémních hodnot kmitání od přejezdu soupravy se Škodou 109E1

Žádná z hodnot v tabulce (Obr. 72) nepřekročila (v absolutní hodnotě) ani 3,5 m/s<sup>2</sup>, znamená to tedy, že přejezd soupravy specifikované společností Škoda Transportation s lokomotivou 109E1 – Emil Zátopek nevyvolává nadměrné kmitání ve zkoumaném rozsahu rychlostí přejezdu, rozpětí a průřezů předpjatého betonového dvoutrámu.

## 9.6 Výsledná maximální zrychlení

Tab.12 - Maximální zrychlení konstrukce u *prostého nosníku* (CSi)

Roz- pětí	Průřez	varianta	Maximální zrychlení [m/s <sup>2</sup> ] při rychlosti přejezdu [km/hod]:													
			200	220	240	250	260	280	300	320	340	350	360	380	400	420
10 m	ŽB deska	d10	3,39	4,42	3,24	3,48	3,57	4,41	6,08	6,43	8,48	10,13	8,92	8,89	9,64	9,84
		d15	6,21	8,98	14,44	10,56	11,91	11,65	15,14	18,31	12,87	14,84	15,22	14,63	13,73	18,35
d10		1,60	2,17	1,97	2,40	2,14	2,66	2,60	2,33	3,49	3,51	4,97	6,18	4,86	5,27	
d15		3,93	4,55	7,27	6,03	6,78	7,38	8,70	14,81	15,86	16,15	15,17	14,52	16,25	16,90	
15 m		d10	1,06	2,10	2,06	1,91	1,76	1,56	1,81	1,45	1,75	1,65	1,96	2,49	4,73	6,09
		d15	1,98	3,10	4,00	7,19	8,16	11,14	11,87	11,61	13,92	13,74	14,28	17,57	11,87	8,47
20 m	OB dvoutrám	d10	1,91	2,08	2,52	4,12	3,65	2,16	2,48	5,60	7,75	8,52	9,96	13,45	8,32	5,28
		d15	4,36	8,98	11,73	15,02	9,17	5,36	4,56	4,30	5,87	7,29	6,66	9,47	7,25	6,40
PJB dvoutrám		d10	1,16	1,18	2,71	1,74	1,54	1,32	2,39	4,12	5,16	5,95	7,31	4,40	2,75	2,31
		d15	4,43	6,64	9,52	5,87	4,27	2,72	3,07	3,41	4,49	5,48	7,31	4,42	4,85	3,81
30 m	OB dvoutrám	d10	1,06	3,29	6,06	5,34	4,26	2,34	1,70	3,84	5,80	5,16	3,99	3,20	2,24	3,28
		d15	3,26	6,66	2,99	4,97	4,38	2,73	3,98	5,13	6,99	6,52	5,47	4,28	5,02	6,93
PJB dvoutrám		d10	1,02	2,66	2,51	2,04	1,41	0,93	1,64	3,03	1,94	1,63	1,32	1,29	1,55	2,29
		d15	3,11	2,56	1,91	2,14	1,98	2,31	3,02	5,05	3,27	3,75	3,03	3,21	5,03	3,69
35 m	OB dvoutrám	d10	2,00	4,10	5,35	4,57	4,05	2,77	1,59	1,32	2,00	1,71	2,00	2,16	1,87	2,33
		d15	1,60	2,65	1,89	2,19	2,89	3,59	4,13	3,59	3,17	3,20	4,27	5,52	5,41	7,82
PJB dvoutrám		d10	1,91	2,21	1,79	1,74	1,61	0,93	0,80	0,88	1,27	1,02	1,06	0,97	1,22	1,52
		d15	1,28	1,30	1,59	1,75	1,95	2,81	1,90	2,43	2,61	3,85	4,26	3,03	3,98	4,22
40 m	OB dvoutrám	d10	0,58	0,64	1,16	1,75	2,85	3,49	4,08	3,63	3,87	3,03	2,48	1,24	1,09	1,03
		d15	4,61	4,20	2,72	1,54	1,56	1,16	2,89	1,78	1,55	1,82	2,84	3,06	4,63	2,44
PJB dvoutrám		d10	0,49	0,88	1,89	1,87	2,09	2,56	2,33	1,70	0,80	0,97	0,76	0,69	0,74	0,99
		d15	2,71	1,20	0,81	1,04	1,35	1,21	1,52	2,00	2,56	2,67	2,32	2,01	3,27	2,78
45 m	OB komora	d10	0,84	1,54	0,82	1,41	2,07	3,28	3,67	4,14	1,49	1,32	1,13	1,43	0,72	1,40
		d15	4,08	2,85	1,47	1,29	1,06	1,80	1,77	1,68	2,41	2,92	2,62	2,25	3,49	3,14
PJB komora		d10	0,85	0,69	1,55	1,99	2,10	2,62	1,48	1,02	0,61	0,58	0,59	0,56	0,74	1,15
		d15	1,59	1,01	0,73	0,93	1,01	1,38	1,18	1,63	1,62	2,08	2,46	2,23	2,24	2,47
50 m	OB komora	d10	1,86	1,67	0,88	0,96	1,82	2,98	3,16	1,16	1,10	0,78	1,24	1,11	0,86	0,90
		d15	2,66	1,12	1,25	1,43	0,82	1,53	1,80	1,81	1,50	1,55	2,63	3,17	2,02	2,56
PJB komora		d10	0,74	0,51	1,44	1,85	2,13	1,04	0,58	0,50	0,58	0,53	0,59	0,77	0,68	0,73
		d15	0,69	0,94	0,65	0,69	0,89	1,04	1,07	1,57	2,17	1,58	1,62	1,90	1,99	1,83
55 m	OB komora	d10	1,86	1,67	0,88	0,96	1,82	2,98	3,16	1,16	1,10	0,78	1,24	1,11	0,86	0,90
		d15	2,66	1,12	1,25	1,43	0,82	1,53	1,80	1,81	1,50	1,55	2,63	3,17	2,02	2,56
PJB komora		d10	0,74	0,51	1,44	1,85	2,13	1,04	0,58	0,50	0,58	0,53	0,59	0,77	0,68	0,73
		d15	0,69	0,94	0,65	0,69	0,89	1,04	1,07	1,57	2,17	1,58	1,62	1,90	1,99	1,83

< 1,0 m/s <sup>2</sup>	1,0 – 3,5 m/s <sup>2</sup>	3,5 – 5,0 m/s <sup>2</sup>	5,0 – 10,0 m/s <sup>2</sup>	> 10,0 m/s <sup>2</sup>
------------------------	----------------------------	----------------------------	-----------------------------	-------------------------



Z výsledků parametrické studie provedené v CSi shrnutých v předchozí tabulce je vidět, že s rostoucím rozpětím klesá maximální zrychlení konstrukce vyvolané přejezdem zatěžovacích souprav, což souvisí hlavně s rostoucí setrvačnou hmotou konstrukce. Veliká rozpětí kolem 50 metrů už zaručují takovou hmotnost konstrukce, že síly od projíždějících vlaků nedokáží způsobit výraznější kmitání. Pouze lehčí komora, ocelobetonová sprážená, má na tomto rozpětí maximální hodnoty mezi 3,5 až 5,0 m/s<sup>2</sup>, které tak přesahují doporučený limit zrychlení pro mosty s kolejovým ložem.

Vzhledem k tomu, že síly mezi mostní konstrukcí a vlakem nebyly nijak odpruženy, kolejové lože i kolej byly namodelovány pouze jako balast, dá se za limitní hodnotu považovat spíše vyšší z normou doporučených hodnot, tedy 5,0 m/s<sup>2</sup> určených pro pevnou jízdní dráhu. Zároveň byl použit konzervativní hodnotou útlum na své dolní mezi. Tyto dva faktory spolu způsobují, že hodnoty zrychlení z výsledné tabulky jsou velmi na straně bezpečnosti a skutečné hodnoty zrychlení budou s velkou pravděpodobností mnohem nižší. Teprve hodnoty zrychlení 10 m/s<sup>2</sup> a vyšší jsou naprosto bezpochyby konečná hranice pro jakoukoliv analýzu, neboť vlaková souprava držící na kolejích pouze působením gravitace nemůže dále působit na konstrukci, pokud je zrychlení konstrukce stejné nebo vyšší než ono gravitační.

Železobetonová deska ve svém štíhlém poměru L/15 (d15 v tabulce) má, zvláště pak ve svém menším rozpětí, velmi malou hmotnost, porovnáváno s působícími silami od vlaku, a vzhledem k malé výšce má i nízké průřezové charakteristiky jako jsou moment setrvačnosti k vodorovné ose, způsobující „měkkost“ konstrukce, což spolu dohromady vysvětluje velmi vysoké hodnoty zrychlení vycházející z analýzy.

Oproti tomu má tato deska ve svém masivnějším poměru L/10 jak vyšší hmotnost, tak i průřezové charakteristiky, což má za následek přívětivé hodnoty zrychlení až do vysokých rychlostí, hlavně pak u delšího rozpětí.

## **10 Tvorba modelu v midasu**

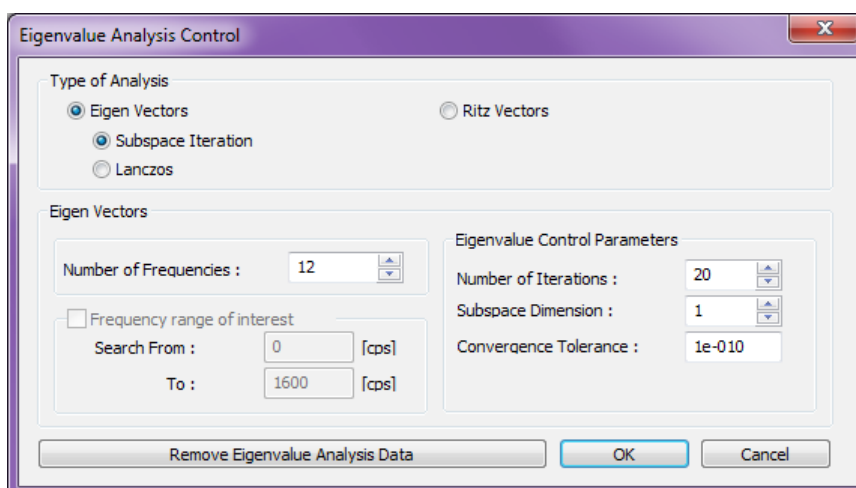
Jak bylo zmíněno v kapitole 5 – Výpočetní programy, byla hlavní dynamická analýza provedena v programech CSiBridge a midas/Civil. Předchozí kapitoly se věnovaly tvorbě modelu a zpracování výstupů z prvního ze zmíněných, tato kapitola se věnuje druhému z programů, tedy midasu.

Midas nemá funkci Bridge Wizard, která by usnadnila tvorbu modelu, ani žádnou z možností updatu jakými disponoval CSi. Veškeré parametry je třeba si ujasnit předem, protože jakákoliv změna může působit velké obtíže. Příkladem největším je třeba vzdálenost mezi uzly, zde nazývanými Nodes, oproti Joints v CSi. Pokud je konstrukce zadaná se vzdáleností mezi uzly 1 metr, tedy první z použitých, udělat z toho jinou vzdálenost, jako třeba 0,5 metru, což je druhá z použitých, je nemožné jiným způsobem, než smazáním konstrukce a jejím novým zadáním. V CSi se jednoduše v možnosti Update (vizte poslední obrázek kapitoly Nastavení v Tvorbě modelu v CSi) změnila délka dílce, zvaného Frame, a celá konstrukce se této volbě přizpůsobila.

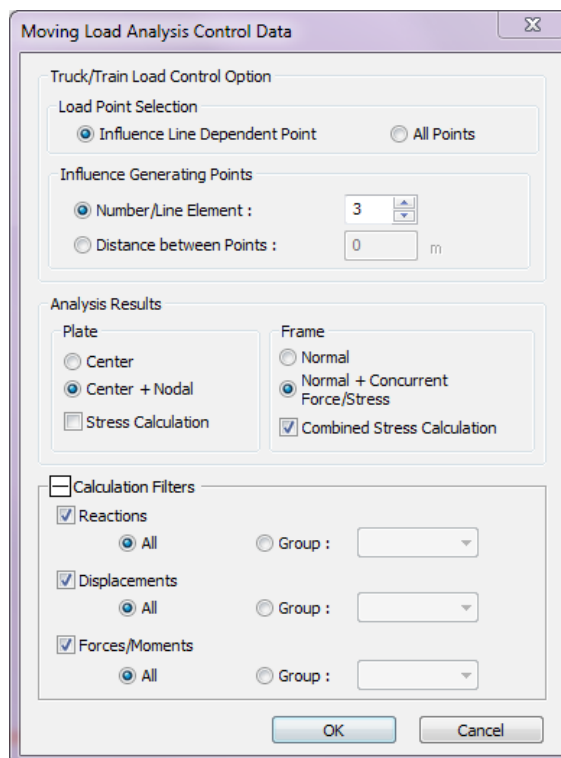
Na druhou stranu se do midasu mnohem jednodušeji importují data z Excelu, což v CSi způsobovalo často problémy. Stačila by jediná drobná odlišnost od předepsané formy dat a může to skončit zdvojenou prolínající se konstrukcí. Midas má celé své rozhraní a data v tabulkách, i když jde o parametry, kterých nebývá mnoho. Toho příkladem jsou třeba podpory. V modelu pro tuto analýzu je třeba jen dvou typů podpor, přesto ale mají svou tabulku, do které je možné data přidávat jednoduše vložením nakopírovaných buněk z tabulkového editoru stejně, jako je to u uzlů nebo dílců, kterých jsou zde desítky až stovky, podle složitosti konstrukce.

## 10.1 Nastavení

Hlavním nastavením, které je v midasu potřeba pro tuto analýzu, je Eigenvalue Analysis Control, což je nastavení dynamické modální analýzy. Stejně jako v CSI se i zde zadá počet vlastních tvarů, které se budou uvažovat pro dynamické výpočty, akorát že zde jsou pojmenované jako Frequencies, což vzhledem k tomu, že vlastní frekvence a vlastní tvary tvoří nerozdělitelné dvojice, nehraje žádnou roli. Pro výpočet se ponechá výchozí iterace podprostoru i všechny ostatní parametry viditelné v okně na následujícím obrázku.



Obr. 74 - Nastavení modální analýzy



Obr. 75 - Nastavení pohyblivých zatížení

Dalším nastavením je nastavení pohyblivých zatížení, které bylo ponecháno ve výchozím stavu. Bylo pouze zkontrolováno, že je zaškrtnuté políčko Combined Stress Calculation pro dílce (Frame) a že jsou vybrány veškeré prvky pro výpočet reakcí, deformací a sil. Pro základní dynamickou analýzu sice síly potřeba nebudou, ale pro doplnění byla na všech modelech projeta každá souprava i kvazistaticky pro ověření maximálních průhybů a ohybových momentů.

## 10.2 Konstrukce

V midasu se prutový model, který byl vybrán v kapitole 6 - Zvolený model, skládá z uzlů (Nodes) a prutových prvků (Elements). Jak už bylo zmíněno na úplném začátku tvorby modelu v tomto programu, prostředí je upraveno tak, aby umožňovalo snadný import dat z tabulkových editorů. U uzlů to sice platí, ale u menšího počtu je lze snadno přidat i postupně přímo v programu. Jelikož je totiž most přímý a bez jakýchkoliv výškových nerovností, je jediný parametr, který se mění, X-ová pořadnice, tedy vzdálenost bodu od počátku. Číslo uzlu se přidává automaticky podle umístění, stačí tedy postupně do tabulky přepisovat délky po jednom, resp. po půl metru dokud nebudou všechny uzly v tabulce.

Node	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	0.000000	0.000000	0.000000
2	1.000000	0.000000	0.000000
3	2.000000	0.000000	0.000000
4	3.000000	0.000000	0.000000
5	4.000000	0.000000	0.000000
6	5.000000	0.000000	0.000000
7	6.000000	0.000000	0.000000
8	7.000000	0.000000	0.000000

Obr. 76 - Tabulka uzlů

Každý prutový prvek musí mít uzel na svém počátku i na svém konci, což znamená, že při délce prvku 1,0 metru a stejně dlouhých převislých koncích bude počet uzlů na mostě o 1 vyšší než počet prvků a zároveň o 3 vyšší než základní rozpětí mostu. U deskového průřezu, který má nastavenou délku prutového prvku na 0,5 metru, stejně jako tomu bylo u deskového mostu v programu CSI, je tento počet vyšší. Ze základního 15 metrového rozpětí tak vznikne 35 uzlů (rozpětí vynásobené dvěma + 4 kusy za převislé konce + 1 ze stejného důvodu jako u ostatních průřezů).

Mezi dvěma uzly, jak už bylo zmíněno, je vždy prvek, který tyto uzly spojuje. Zadávání těchto prvků je, stejně jako u uzlů, uzpůsobeno pro import. Zde už je více parametrů, jak je vidět na obrázku, takže je opravdu lepší si vytvořit excelovou tabulku, upravit zde všechny parametry a jednoduchým kopírováním a vložením přidat prvky do programu.

Elementy jsou nastavené jako BEAM, tedy pruty, a napojené mezi dvěma uzly. První prvek mezi uzlem 1 a 2, druhý mezi 2 a 3 a tak dále až do konce konstrukce. Aby šly prvky zadat, je potřeba, aby příslušné uzly už byly v konstrukci, tedy v tabulce z předchozího obrázku. Z toho vyplývá, jak už bylo zmíněno o dva odstavce výše, že počet prvků musí ve výsledku být o jeden nižší, než kolik je počet uzlů.

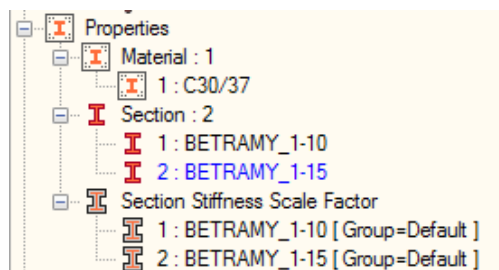
Ostatní parametry jsou pro tuto analýzu nulové, popř. jiné ve výchozí hodnotě tak, jak je ukazuje následující obrázek.

Element	Type	Wall Type	Sub Type	Material	Property	B-Angle ((deg))	No de1	No de2	No de3	No de4	No de5	No de6	No de7	No de8	Kind	Hook/Gap (m)	Lu (m)	Tension (kN)	Allow. Comp/Tens (kN)	Use Limit	Comp/Tens Limit (kN)
1	BEAM			1	1	0.00	1	2	0	0	0	0	0	0	Lu	0.0000	0.00	0.0000	0.0000	<input type="checkbox"/>	0.0000
2	BEAM			1	1	0.00	2	3	0	0	0	0	0	0	Lu	0.0000	0.00	0.0000	0.0000	<input type="checkbox"/>	0.0000
3	BEAM			1	1	0.00	3	4	0	0	0	0	0	0	Lu	0.0000	0.00	0.0000	0.0000	<input type="checkbox"/>	0.0000
4	BEAM			1	1	0.00	4	5	0	0	0	0	0	0	Lu	0.0000	0.00	0.0000	0.0000	<input type="checkbox"/>	0.0000
5	BEAM			1	1	0.00	5	6	0	0	0	0	0	0	Lu	0.0000	0.00	0.0000	0.0000	<input type="checkbox"/>	0.0000
6	BEAM			1	1	0.00	6	7	0	0	0	0	0	0	Lu	0.0000	0.00	0.0000	0.0000	<input type="checkbox"/>	0.0000
7	BEAM			1	1	0.00	7	8	0	0	0	0	0	0	Lu	0.0000	0.00	0.0000	0.0000	<input type="checkbox"/>	0.0000
8	BEAM			1	1	0.00	8	9	0	0	0	0	0	0	Lu	0.0000	0.00	0.0000	0.0000	<input type="checkbox"/>	0.0000
9	BEAM			1	1	0.00	9	10	0	0	0	0	0	0	Lu	0.0000	0.00	0.0000	0.0000	<input type="checkbox"/>	0.0000
10	BEAM			1	1	0.00	10	11	0	0	0	0	0	0	Lu	0.0000	0.00	0.0000	0.0000	<input type="checkbox"/>	0.0000
11	BEAM			1	1	0.00	11	12	0	0	0	0	0	0	Lu	0.0000	0.00	0.0000	0.0000	<input type="checkbox"/>	0.0000
12	BEAM			1	1	0.00	12	13	0	0	0	0	0	0	Lu	0.0000	0.00	0.0000	0.0000	<input type="checkbox"/>	0.0000
13	BEAM			1	1	0.00	13	14	0	0	0	0	0	0	Lu	0.0000	0.00	0.0000	0.0000	<input type="checkbox"/>	0.0000

Obr. 77 - Tabulka prvků

### 10.3 Průřezy

Do této kapitoly spadá vše, co se v midasu zadalo v sekci Properties, tedy vlastnosti. Model použitý pro tuto studii však zde má pouze 3 údaje, kterými jsou materiál průřezů, průřezy jako takové a modifikace parametrů těchto průřezů, tudíž je zbytečné je rozepisovat samostatně do zvláštních kapitol.



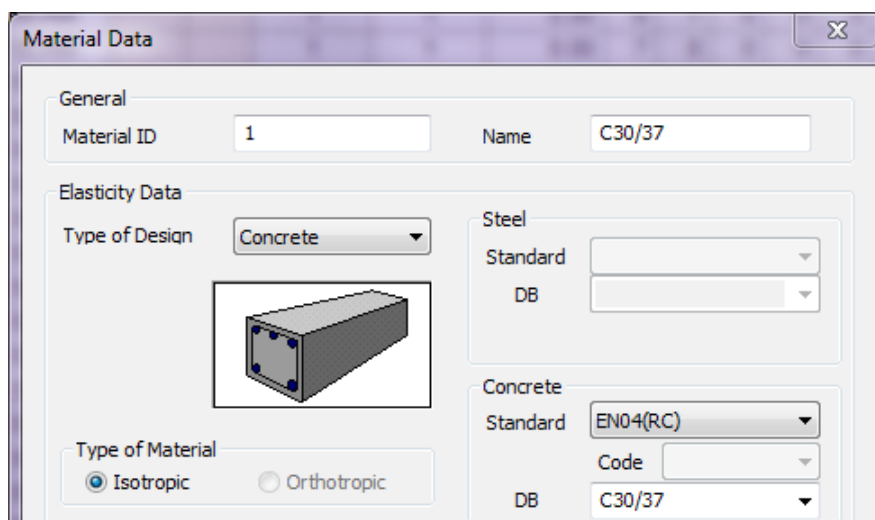
Obr. 78 - Obsah sekce Properties

Vzhledem k tomu, že byl midas určený hlavně pro ověření výsledků z CSi a původním předmětem studie měly být jen železobetonové a předpjaté betonové průřezy, nejsou v midasu počítány ocelobetonové spřažené průřezy, kterým se věnuje pouze část prováděná v CSi. Co ale zůstalo stejné jako v CSi, je výška průřezů a její varianty  $d = L/10$  a  $d = L/15$ . Průřezy, pro které tak v midasu proběhla analýza, jsou vždy dvě zmíněné výškové varianty těchto průřezů:

- Železobetonová deska
- Předpjatý betonový dvoutrám
- Předpjatá betonová komora

### 10.3.1 Materiál

Jak bylo zmíněno a jak je vidět přímo ze seznamu výše, jsou v midasu pro analýzu vytvořené pouze průřezy na betonové bázi. Základní materiál je tak u všech těchto průřezu stejný, a sice beton C30/37. Ten je vybraný ze seznamu materiálů a všechny jeho vlastnosti odpovídají normovým hodnotám.

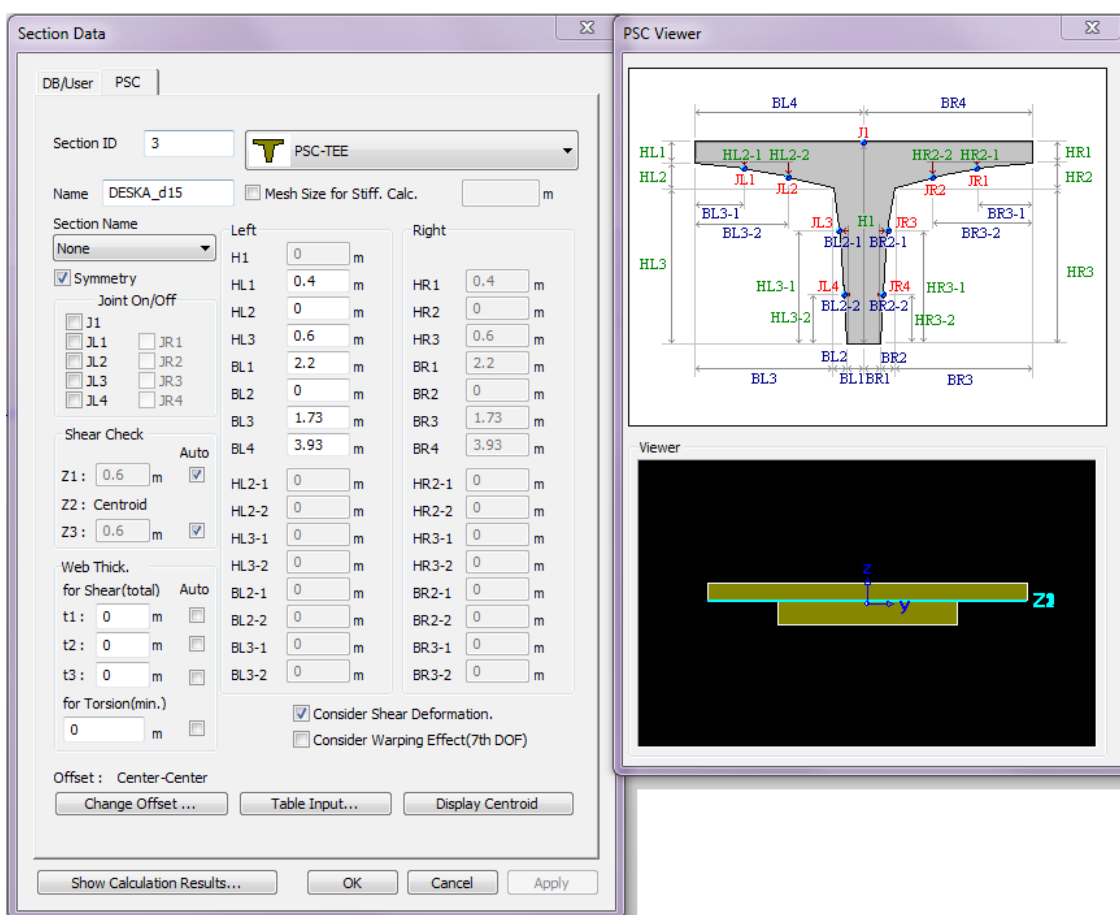


Obr. 79 - Zadání materiálu

## 10.3.2 Železobetonová deska

Železobetonová deska je první průřez, pro který se provedla v midasu analýza. Jeho rozměry jsou stejné, jako v CSI a odpovídají popisu z kapitoly 4 – Parametry studie. I zde byl průřez modelován v ortogonálním systému, aby byl zadán stejně jako v CSI a minimalizoval se tak rozdíl mezi výsledky z CSI a midasu.

Rozdíl v zadávání mezi CSI a midasem je v množství parametrů, které lze zadat. V prvním programu je průřez více méně zadán a ovlivňuje se jen několik hlavních rozměrů, zatímco zde je možnost ovlivnit průřez mnoha rozměry a je možné jej velmi snadno dokonce udělat nesymetrický. Dialog zadávání deskového průřezu je vidět na následujícím obrázku.

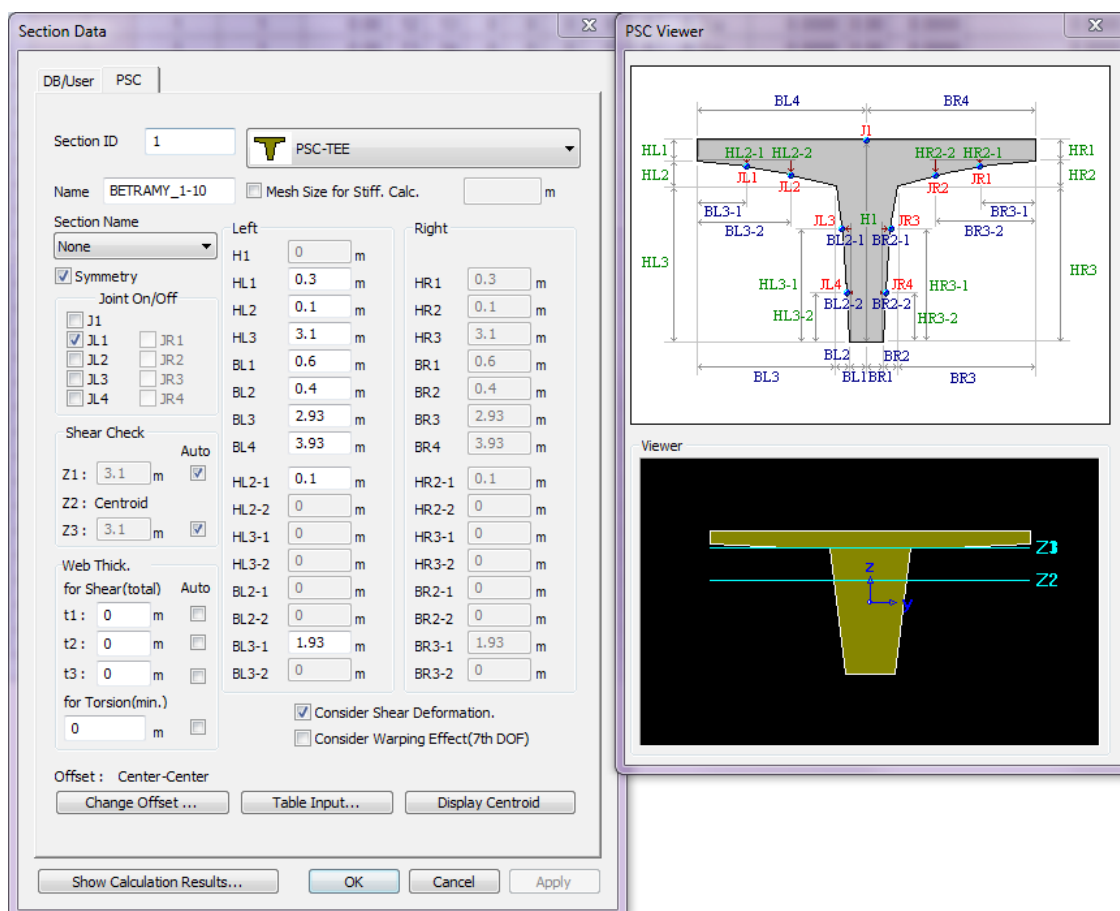


Obr. 80 - Zadávání průřezu železobetonové desky

### 10.3.3 Předpjatý betonový dvoutrám

Podobně jako byly ve Scia Engineer modelovány ocelobetonové průřezy jejich scuknutím, kdy dva ocelové nosníky byly nahrazeny jedním o dvojnásobné šířce, byl i tento předpjatý betonový dvoutrám zadáván s jen jedním trámem, ale o dvojnásobné šířce. Místo toho, aby měl každý trám nahoře u napojení na desku 1,0 metru a v patě 0,6 metru, je velký trám zadán o šířce 2,0 metru u napojení a 1,2 metru v patě, což má za následek, že plocha a průřezové charakteristiky ve svislém směru, jako třeba poloha těžiště nebo moment setrvačnosti, mají stejnou hodnotu i přes vizuálně jinou podobu průřezu. Zkosení převislých konzol je ve stejném poměru, tedy 30 cm na volném konci a 40 cm v místě, kde by měl začínat trám, který je posunutý, aby byl ve středu a průřez tak byl symetrický, tedy 1,93 m od kraje. Vodorovná část horní desky má zachovanou stejnou šířku, a sice rovné 4 metry, stejně jako kdyby tam trámy byly oba.

Na následujícím obrázku je tento průřez vidět ve fázi zadávání včetně náhledu a popisu, co která hodnota políček vlevo znamená.

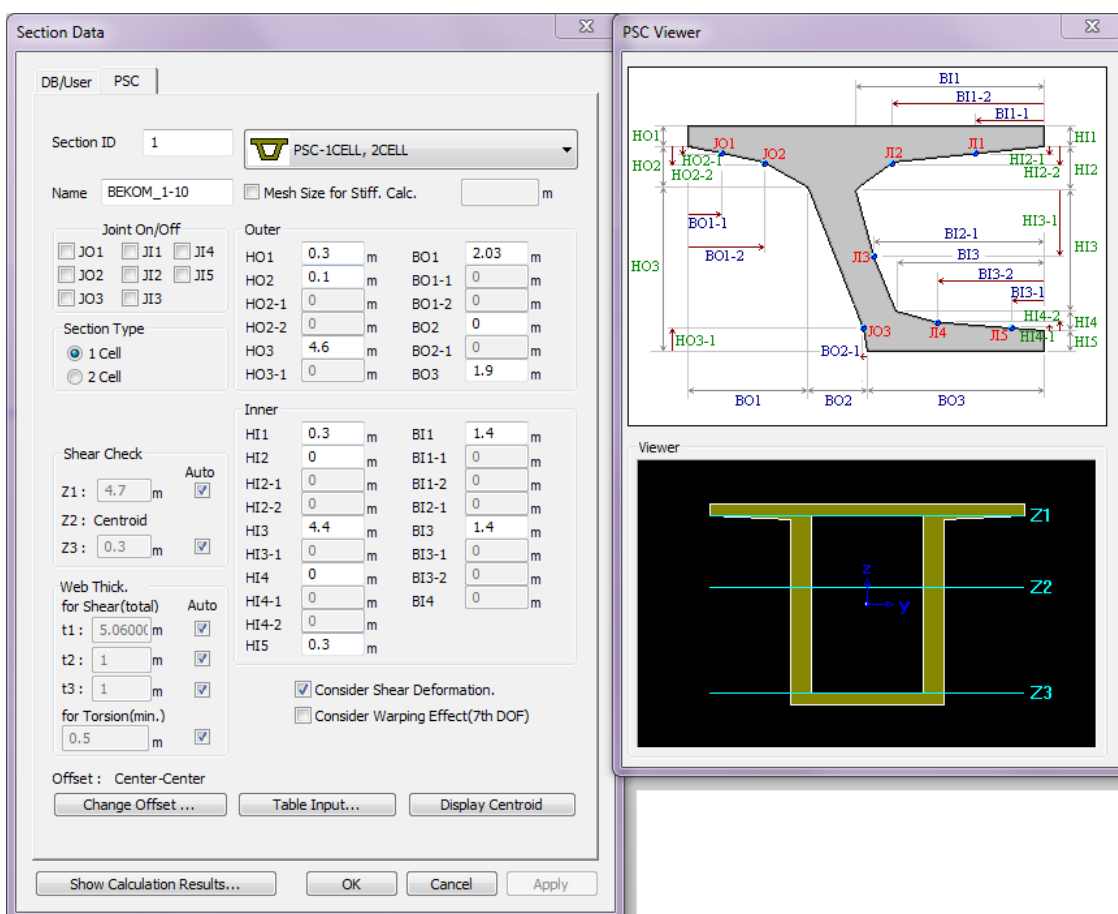


Obr. 81 - Zadávání průřezu betonového dvoutrámu



### 10.3.4 Předpjatá betonová komora

Stejně, jako předchozí dva průřezy, byla i betonová komora namodelována tak, aby odpovídala popisu z kapitoly Průřezy v Parametrech studie. Na rozdíl od betonového dvoutrámu ale pro komoru existuje formulář, který nevyžaduje zjednodušení skutečným průřezem. Na následujícím obrázku je opět vidět náhled ze zadávání tohoto průřezu.



Obr. 82 - Zadávání průřezu betonové komory

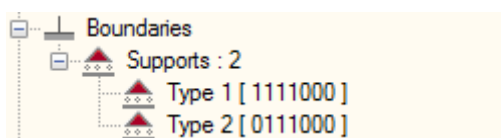
### 10.3.5 Úprava vlastností

Do kapitoly Průřezy sice ještě spadají modifikace vlastností průřezu, ale více o nich je v kapitole 10.7 – Varianty výpočtu. Tyto průřezy nemají žádné vlastnosti, které by bylo třeba upravovat pro základní analýzu, pouze modifikace vlastní hmotnosti, která je zmíněným rozšířením studie podle kapitoly 5.4 – Výpočetní programy – Varianty výpočtu, na 90 % a 80 % své původní hodnoty.

## 10.4 Podepření

Podle statického schématu, tak jak je popsáno v kapitole 4.2 – Statická schémata a rozpětí v Parametrech studie, je most modelovaný jako prostý nosník s převislými konci. Tomu odpovídá i upevnění, kdy se na jednom konci (se započtením převisu) uvažuje pevný kloub a na konci druhém kloub posuvný.

Jak už je zmíněno výše, všechno v programu midas je uzpůsobeno pro import dat z tabulkových editorů, proto i zde jsou podpory zapsané v tabulce, kde je číslo uzlu, na kterém je podpora umístěna a všechny stupně volnosti, kde se volbou 1 a 0 určuje, zda je posun či rotace v tomto směru zachycena nebo umožněna.



Obr. 83 - Podpory tak, jak jsou vidět v Tree menu

	Node	Dx	Dy	Dz	Rx	Ry	Rz	Rw	Group
	2	1	1	1	1	0	0	0	Default
	52	0	1	1	1	0	0	0	Default
*									

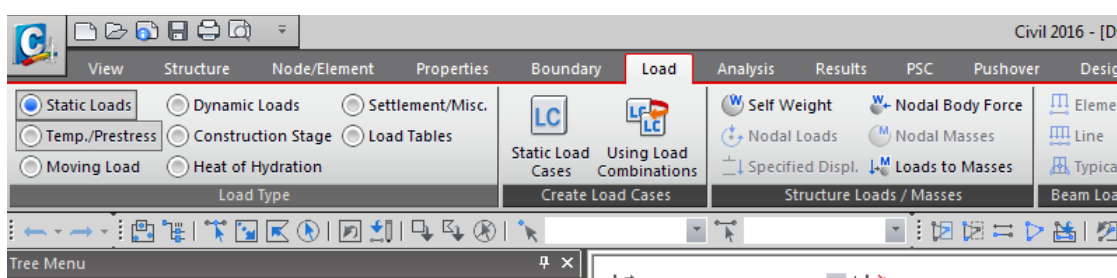
Obr. 84 - Tabulka podpor u betonové komory (50 m – 53 uzlů)

## 10.5 Zatížení

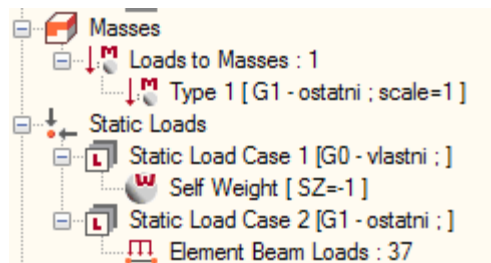
I v midasu, stejně jako v CSI, je třeba zadat stálé i proměnné zatížení. A opět je stálé zatížení od vlastní hmotnosti průřezů a ostatní stálé od říms a kolejového svršku. Dynamické zatížení soupravami se ale zadává naprosto odlišným způsobem. Zatímco v prvním programu se vytvořila souprava a pak teprve se jí určila přejezdová rychlost, zde se souprava vytváří včetně své rychlosti a vkládá se jako mnoho dynamických zatížení ve stálé poloze.

## 10.5.1 Zatížení stálé

Zatížení od hmotnosti průřezu jako takového se zadá prostým výběrem Self Weight v sekci Structure Loads / Masses v panelu zatížení (Load), při výběru stálých zatížení (Static Loads). Vlastní tíha, neboli Self Weight, se zadá jednoduchým výběrem zatěžovacího stavu, do kterého se má tato tíha započítat (v tomto případě stav G0 – vlastní), případně i výběrem skupiny zatížení, které se však vzhledem k povaze studie vůbec nepoužily, a následně směrem působení. Směr působení vlastní tíhy je logicky ve směru svislé osy Z a to směrem dolů, což je podle souřadného systému v tomto programu proti směru osy, takže zatížení působí hodnotou -1.

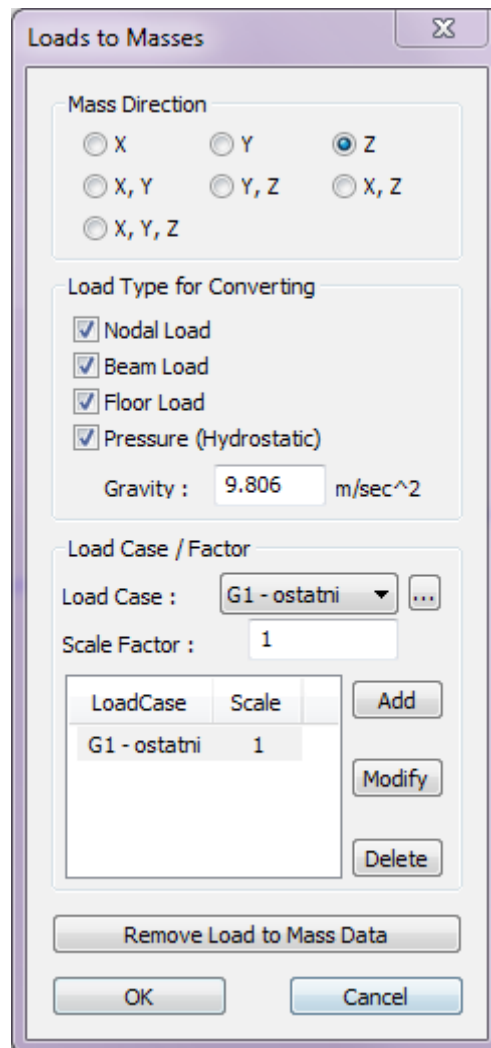
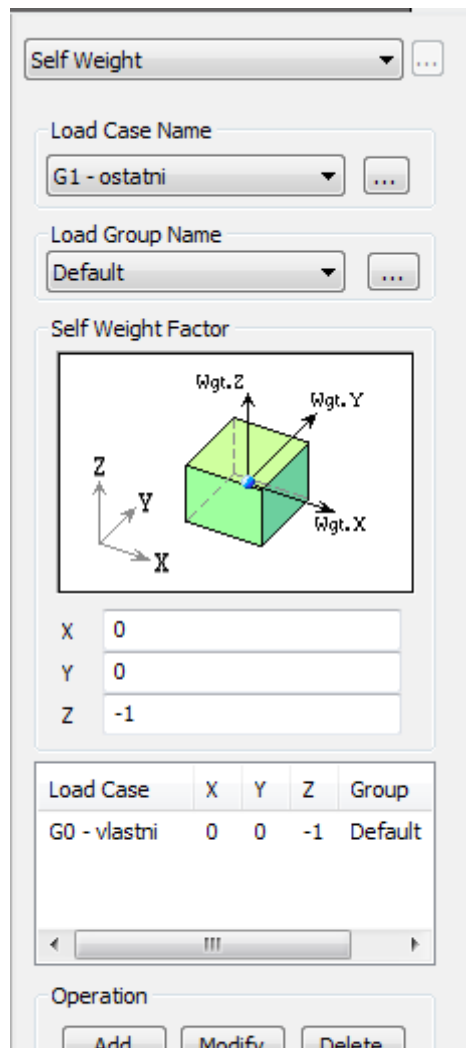


Obr. 85 - Panel zatížení, stálá zatížení



Obr. 86 - Použitá stálá zatížení

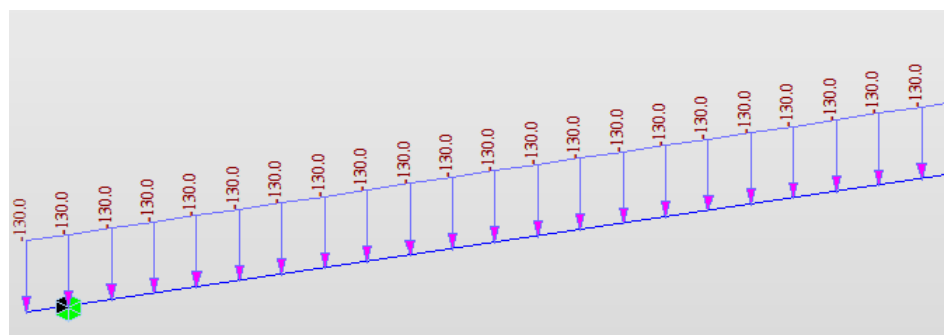
Zatížení od říms a kolejového svršku se zadává jako zatížení přímo do uzlů konstrukce, a to svou hodnotou, tedy daných 130 kN/m. Vzhledem ke vzdálenosti uzlů 1,0 metru jde zjednodušeně i o bodové zatížení o hodnotě 130 kN. Toto zatížení ale nepůsobí pouze jako nehmotné. Zároveň totiž tvoří hmotu, která kmitá spolu s mostem, podobně jako Line Mass u programu CSi. Je proto třeba tuto hmotu přidat, k čemuž slouží funkce Loads to Masses, která se zpřístupní stejným způsobem, jako zadávání vlastní tíhy. Zde se ale zadává nejen směr působení a násobitel, ale lze zde upravit i gravitační zrychlení. K převodu zatížení se pak musí vybrat stav, ve kterém bylo ono zatížení zadáno, v tomto případě tedy zatěžovací stav G1 – ostatní.



Obr. 87 - Vlevo: Zadávání vlastní tíhy

Obr. 88 - Vpravo: Převod zatížení na hmotnost

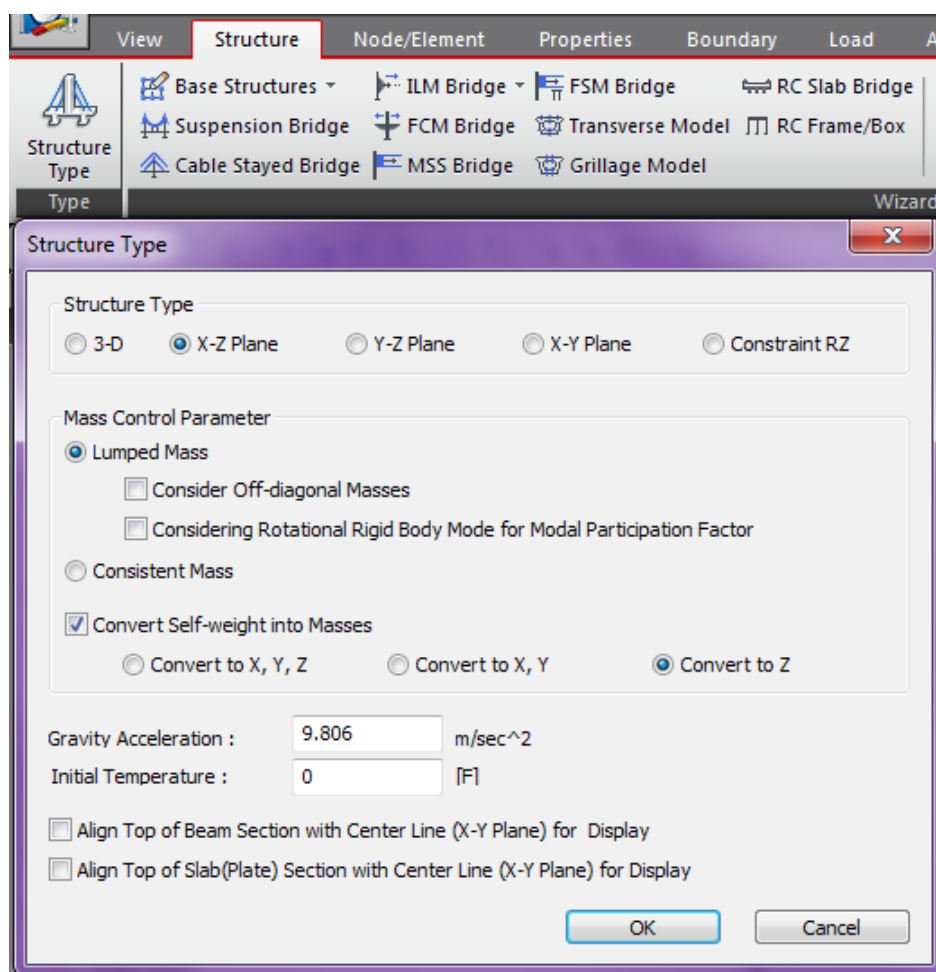
Pozn.: Při zadávání vlastní tíhy lze každý stav vybrat pouze jednou, proto je v nabídce v horní části jen zatěžovací stav G1.



Obr. 89 - Ostatní stálé zatížení na konstrukci

Pozn.: Vlevo je na druhém uzlu vidět zobrazení podpory – pevného kloubu.

Velmi důležitý krok k tomu, aby se vlastní hmotnost uvažovala správně, je zaškrtnutí políčka, které je ale velmi nešikovně schované. Zpřístupní se otevřením Structure Type (tlačítko viditelné vlevo nahoře na následujícím obrázku) v panelu Structure. Nastaví se zde také typ konstrukce, což je v tomto případě rovinný rám XZ, čímž se z výpočtu odstraní nežádoucí vodorovné účinky kolmo k mostu, a gravitační zrychlení působící na hmotu průřezu. Díky tomuto nastavení by se tento krok mohl objevit i v kapitole Nastavení, ale vzhledem k jeho důležitosti pro správné zadávání hmotnosti byl umístěn zde.



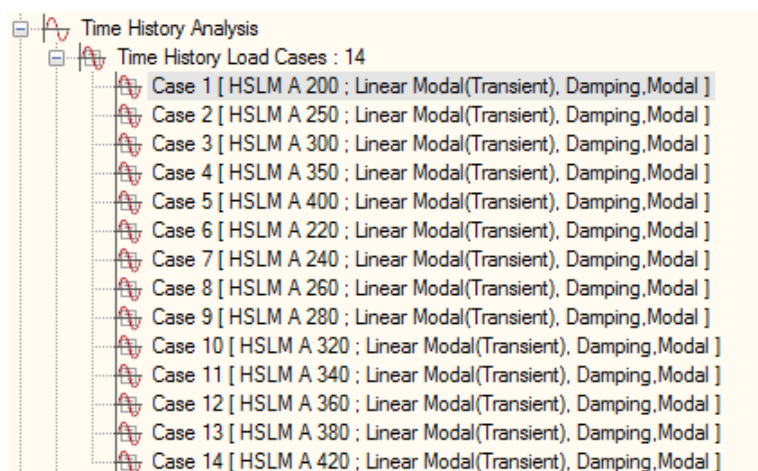
Obr. 90 - Převod vlastní tíhy průřezu na hmotu

## 10.5.2 Dynamické zatěžovací stavy

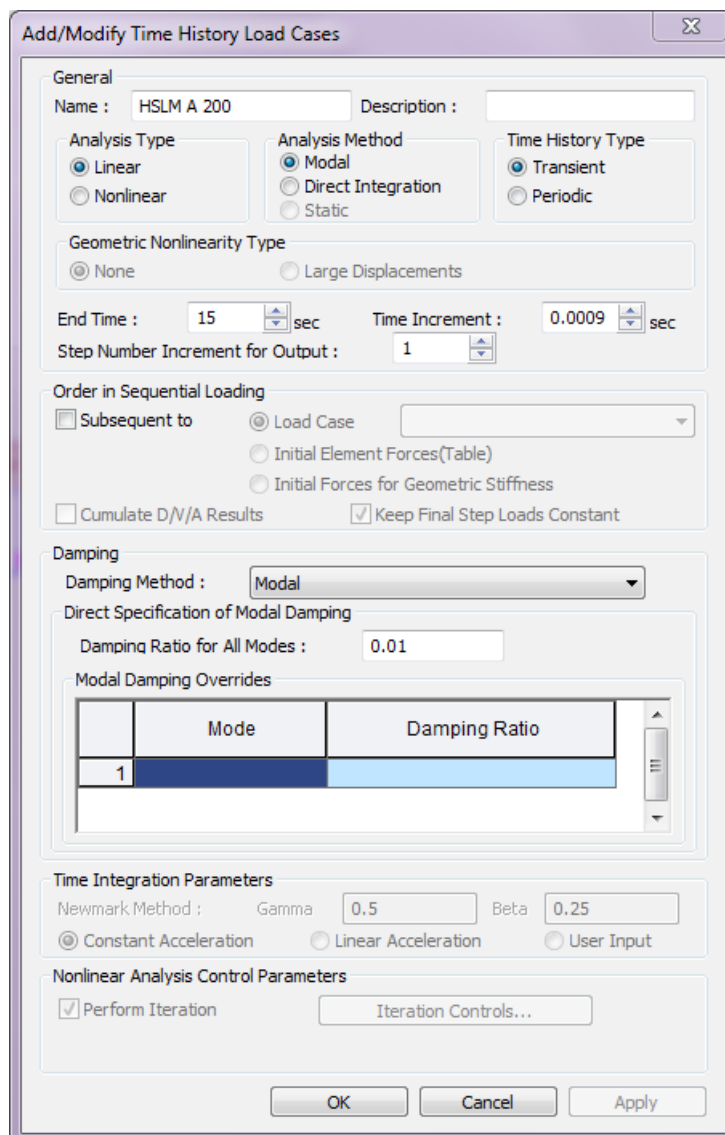
Pro vytvoření zatěžovacích stavů pro časový záznam (Time History Load Cases) není třeba mít ještě vytvořené zatěžovací soupravy. Zatěžovací stavy a zatěžovací funkce spolu totiž nesouvisí až do doby, kdy je spojí zadání dynamického zatížení uzlů.

Každá rychlost, kterou modely zatěžovacích souprav přejíždějí přes most, musí mít svůj vlastní zatěžovací stav. To je způsobeno tím, že časový krok, který se používá pro diskretizaci zatížení v čase, se nastavuje právě zde, spolu s dobou trvání zatížení. Dále se zde určuje typ analýzy (modální nebo přímou integrací), lineární nebo nelineární chování a hlavně poměrný útlum. Ten je stejný, jako byl použitý u CSi a jaký byl uveden v 7 - Útlum, tedy konstantní na hodnotě 0,01 [-] = 1,0 % pro předpjatou betonovou komoru i předpjatý betonový dvoutrám, ale proměnný podle rozpětí pro železobetonovou desku. Její hodnoty jsou uvedené ve zmíněné kapitole 7 – Útlum. Jak už bylo zmíněno, lze zadávat útlum pro každý vlastní tvar, ale použití pouze první hodnoty pro všechny uvažované vlastní tvary je na straně bezpečnosti, jelikož každý další je vyšší.

Oproti tomu časový krok se liší. Stejně jako u CSi je odvozen od přejezdové rychlosti, konkrétně periody budícího zatížení, za kterou se ale uvažuje přejezd nápravy z jednoho uzlu do následujícího, ale v midasu má mnohem menší hodnotu. Doporučená hodnota podle příručky midasu je  $T/10$ , tedy desetina této doby. Jelikož trvá výpočet v tomto programu o mnoho řádů kratší dobu než v CSi, je žádoucí tyto krátké časové úseky pro přesnost ponechat. I s nimi totiž výpočet v midasu trvá pouze desítky vteřin, zatímco v CSi jednotky hodin.



Obr. 91 - Všechny 14 zatěžovacích stavů



Obr. 92 - Přidávání zatěžovacího stavu pro rychlost 200 km/hod

### 10.5.3 Zatěžovací soupravy

Postup zadávání zatěžovací soupravy pro přejezd mostu je v midasu o dost komplikovanější, než v CSi. Soupravu je totiž třeba vytvořit importem excelové tabulky do integrovaného generátoru, tuto soupravu pak uložit do zvláštního souboru a znovu importovat jako hotovou soupravu.

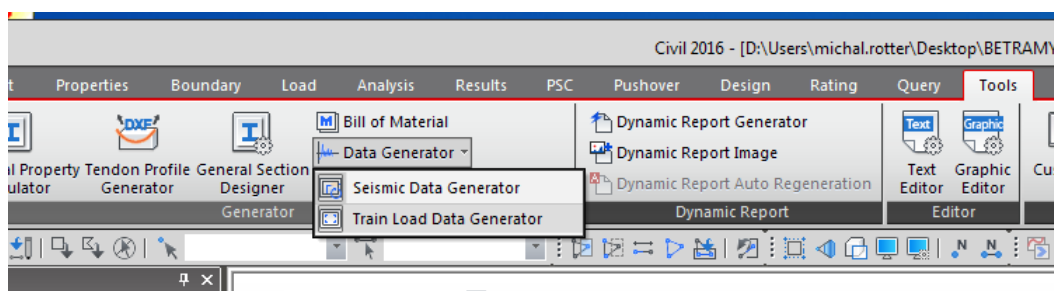
Prvním krokem je tedy vytvoření excelové tabulky s daty pro zatěžovací soupravu. Pro tuto analýzu bude třeba vytvořit 10 souborů, pro každou z vysokorychlostních souprav HSLM A. Jiné soupravy v midasu uvažovány nebyly. Soubor obsahuje číslo nápravy, její vzdálenost od předchozí nápravy a nápravovou sílu. Jelikož ale midas uvažuje první

nápravovou sílu jako okamžitou, bez postupného nájezdu, způsobil by přejezd takové soupravy mnohem větší dynamický účinek, než který by skutečně mohl nastat. Jako první se proto do seznamu náprav přidá fiktivní náprava se vzdáleností 0 metrů a řádově nižší nápravovou silou, v tomto případě 1 kN.

	A	B	C	D
1	1	0	1	
2	2	3	170	
3	3	3	170	
4	4	11	170	
5	5	3	170	
6	6	3,525	170	
7	7	2	170	
8	8	13,2375	170	
9	9	2	170	
10	10	16	170	
11	11	2	170	
12	12	16	170	
13	13	2	170	
14	14	16	170	

Obr. 93 - Souprava HSLM A1 v excelové tabulce

Když je soubor se zatěžovací soupravou připravený, spustí se integrovaný generátor zatěžovacích funkcí, který se nachází v panelu Tools, neboli nástroje, v záložce Data Generator – Train Load Data Generator (vizte obrázek 94 – Cesta ke spuštění).



Obr. 94 - Cesta ke spuštění integrovaného generátoru

Zde se po stisknutí tlačítka Generate na horní liště objeví dialogové okno, ve kterém se vybere typ vlaku, v tomto případě User Defined, tedy uživatelsky nastavený, název zatěžovací soupravy, který ale bude vystihovat nejen typ zatěžovacího vlaku, ale zároveň jeho rychlost. Dále se totiž přímo zde zastaví rychlost, jakou tato souprava bude přes most přejíždět, což znamená, že přejezdová rychlost soupravy není nastavená zvlášť,

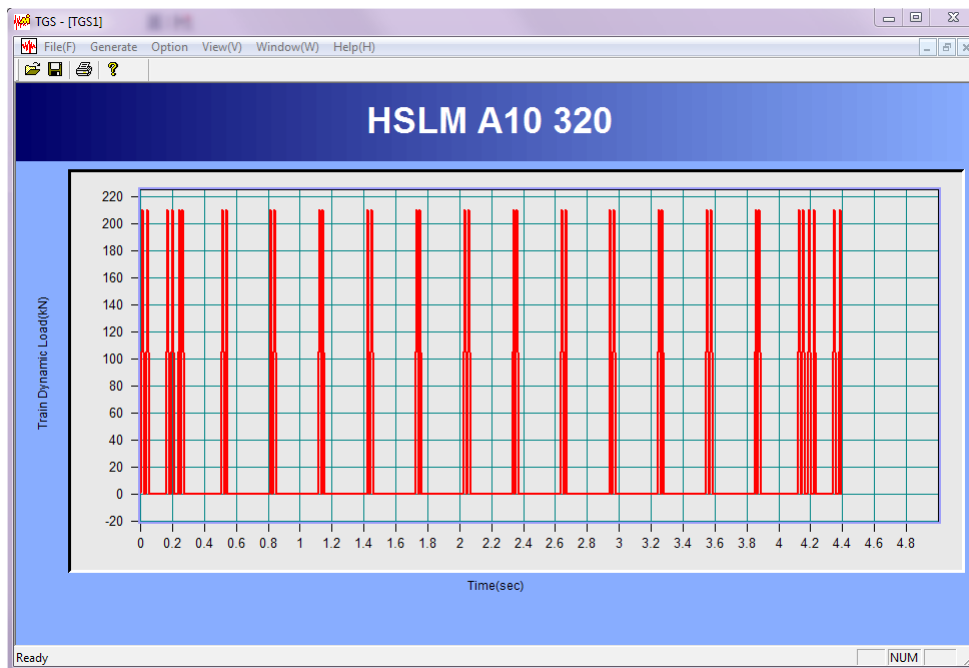


ale stane se nedílnou součástí generovaného zatížení a nebude možná její změna. To způsobuje časovou náročnost parametrické analýzy jako je tato, tedy závislé na rychlosti. Poslední parametr v tomto okně, který je třeba vyplnit je Element Size, velikost prvku. Ta odpovídá vzdálenosti uzlů a tím i velikosti prutového prvku, jak bylo řečeno v kapitole Konstrukce. Právě kvůli možnosti použití těchto souprav je třeba, aby velikosti prvků byly konstantní po celé délce průřezu, jinak to totiž není program midas schopný pojmout. Pod tlačítkem import se pak skrývá nahrání souboru se zatěžovací soupravou, která byla vytvořena v předchozím kroku.

No.	Length(m)	Force(kN)
1	0.000	1.000
2	1.000	210.000
3	3.000	210.000
4	11.000	210.000
5	3.000	210.000
6	3.525	210.000
7	2.000	210.000
8	22.238	210.000
9	2.000	210.000
10	25.000	210.000
11	2.000	210.000
12	25.000	210.000
13	2.000	210.000
14	25.000	210.000
15	2.000	210.000

Obr. 95 - Zadávání funkce vlakového dynamického zatížení

Vytvořená zatěžovací funkce se okamžitě ukáže v okně generátoru, kde se zobrazí jako graf působící síly v čase. Tuto vytvořenou funkci je nyní třeba uložit. To se provede jednoduše tlačítkem pro uložení souboru, kde se zobrazí dotaz na umístění a název souboru. Umístění by samozřejmě mělo být snadno dostupné, ale hlavně by mělo mít soupravu se všemi rychlostmi pohromadě v jednom adresáři. Zajímavější je název souboru. Ten by měl obsahovat všechny informace o soupravě, protože není možné ji upravovat, tak ať se dá najít ta potřebná. V případě této analýzy jsou soupravy pojmenované HSLM  $A_n$   $spd$ , kde  $n$  je číslo od jedné do desíti a  $spd$  rychlost od 200 do 420 km/hod.



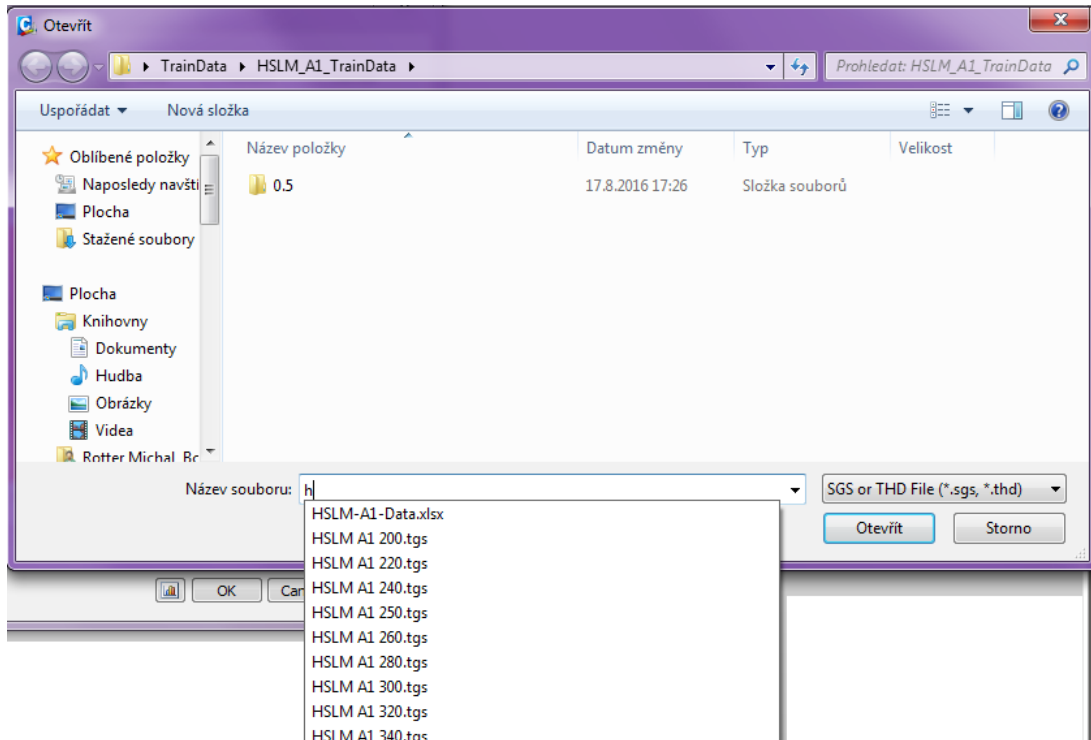
Obr. 96 - Okno generátoru s vytvořenou zatěžovací funkcí

Název položky	Datum změny	Typ	Velikost
HSLM A10 200.tgs	17.8.2016 18:36	Soubor TGS	3 kB
HSLM A10 220.tgs	17.8.2016 18:36	Soubor TGS	3 kB
HSLM A10 240.tgs	17.8.2016 18:36	Soubor TGS	3 kB
HSLM A10 250.tgs	17.8.2016 18:37	Soubor TGS	3 kB
HSLM A10 260.tgs	17.8.2016 18:37	Soubor TGS	3 kB
HSLM A10 280.tgs	17.8.2016 18:37	Soubor TGS	3 kB
HSLM A10 300.tgs	17.8.2016 18:37	Soubor TGS	3 kB
HSLM A10 320.tgs	17.8.2016 18:38	Soubor TGS	3 kB
HSLM A10 340.tgs	17.8.2016 18:38	Soubor TGS	3 kB
HSLM A10 350.tgs	17.8.2016 18:38	Soubor TGS	3 kB
HSLM A10 360.tgs	17.8.2016 18:38	Soubor TGS	3 kB
HSLM A10 380.tgs	17.8.2016 18:39	Soubor TGS	3 kB
HSLM A10 400.tgs	17.8.2016 18:39	Soubor TGS	3 kB
HSLM A10 420.tgs	17.8.2016 18:39	Soubor TGS	3 kB

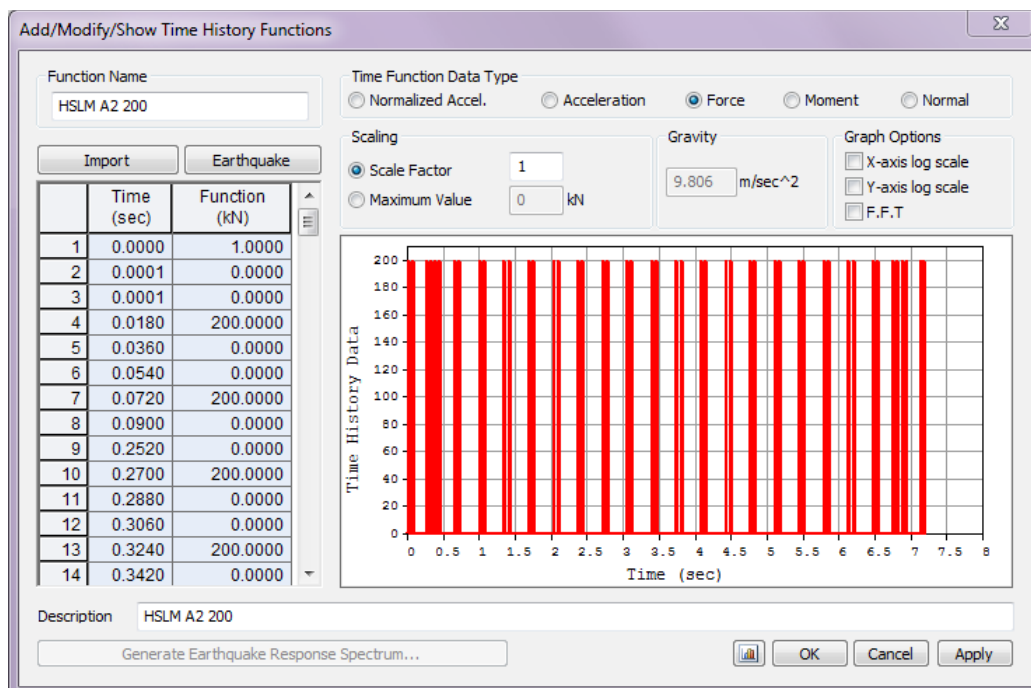
Obr. 97 - Uložené vygenerované zatěžovací funkce

Vytvořenou a uloženou zatěžovací funkci je nyní potřeba zase zpět importovat do midasu. Toho se docílí tlačítkem Time History Functions, které je v záložce Dynamic Loads v panelu Load hlavní nabídky (vizte obrázek 101 v následující kapitole). Objeví se seznam zatěžovacích funkcí, které jsou zrovna dostupné v programu, takže napoprvé prázdný. Nová funkce se přidá tlačítkem Add Time Function. V nově otevřeném okně se zvolí Import, což otevře dialog pro načtení dříve uloženého souboru. Chybou programu ale

tento dialog používá jiné koncovky souborů než ukládací. Zatímco původní soubor byl uložen jako *souprava.tgs*, soubory zobrazitelné tímto dialogem musí mít koncovku *.sgs* nebo *.thd*. Okno se proto jeví jako prázdné. Naštěstí je ale možné tuto chybu obejít tím, že se do pole Název souboru začne psát název, pod kterým byla souprava uložena.

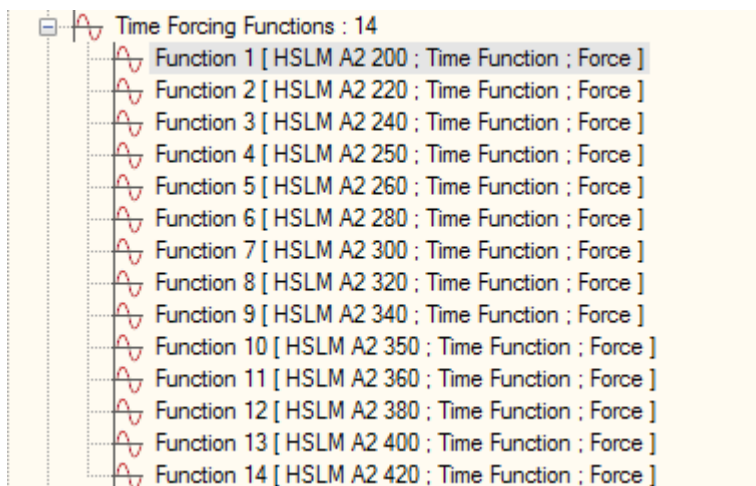


Obr. 98 - Výběr souboru zatěžovací funkce pro import



Obr. 99 - Importovaná zatěžovací funkce

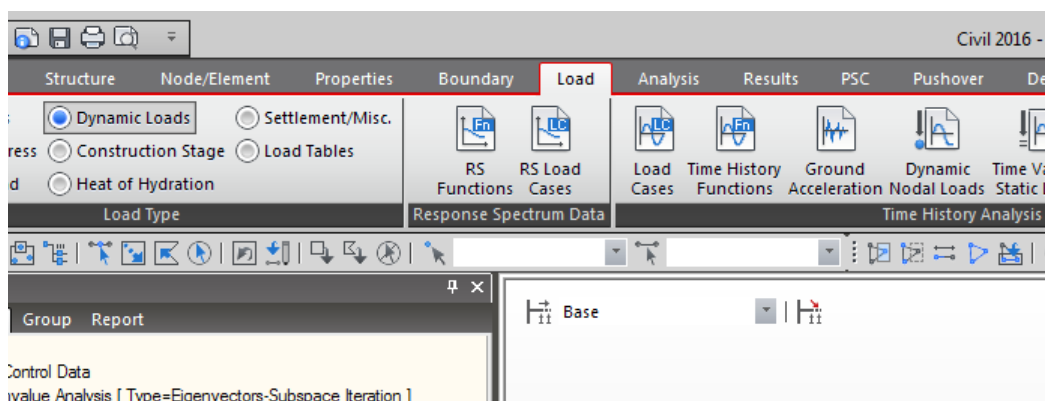
Tento postup se opakuje pro každou uvažovanou zatěžovací soupravu, v tomto případě pro HSLM A1 až HSLM A10, pro všechny rychlosti, kterými tyto soupravy budou přejíždět přes most, tedy 200 až 420 km/hod, vždy po 20 km/hod + liché násobky 50 km/hod tak, jak je uvedeno v kapitole 4.4 – Parametry studie – Rychlosti přejezdu.



Obr. 100 - Všechny funkce příslušné jedné zatěžovací soupravě

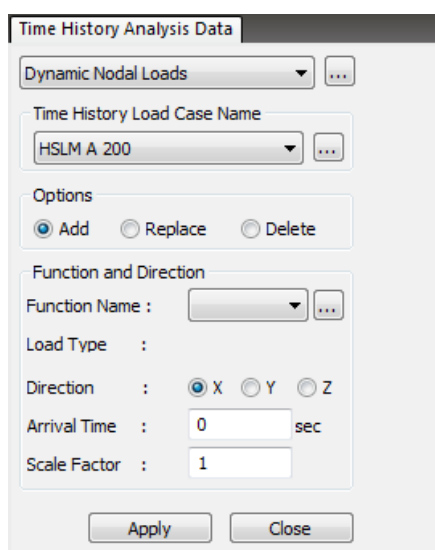
#### 10.5.4 Zatížení uzlů

Aby dynamické zatížení od vlakových souprav působilo na most, je třeba dát dohromady dynamické zatěžovací stavy a zatěžovací soupravy. Toho se docílí přidáním Dynamic Nodal Loads, tedy dynamického zatížení uzlů, pomocí stejnojmenného tlačítka v záložce Dynamic Loads panelu Load, které se nachází o dvě tlačítka vedle Time History Functions z předchozí kapitoly.



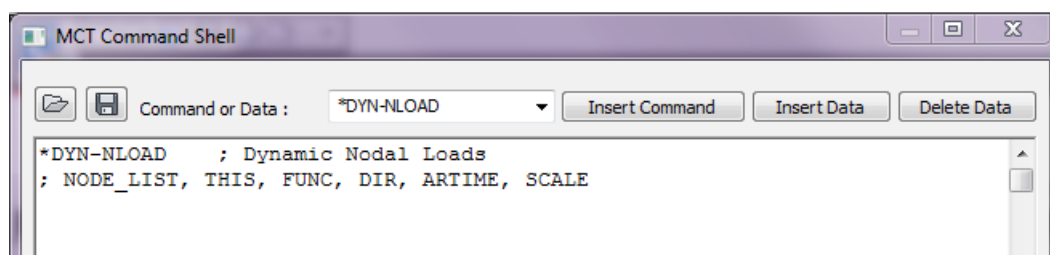
Obr. 101 - Panel dynamických zatížení

Otevře se panel, ve kterém se vybere zatěžovací stav, souprava, směr jejího působení, násobitelé velikosti a hlavně čas, kdy dorazí vlaková souprava poprvé k bodu, pro který se toto zatížení zadává. Ten se vybere prostým označením. Po odsouhlasení výběru tlačítkem Apply se dynamické zatížení přiřadí k bodu. Tento postup by se měl opakovat tolikrát, kolik dá součin přejížděných uzlů konstrukce a zatěžovacích souprav. Pro tuto analýzu to jsou stovky bodových zatížení, jejichž postupné zadávání, pokaždé s jiným příjezdovým časem, je velmi časově neefektivní a navíc dává velký prostor pro chybu z přepisu, která způsobí prakticky neobjevitelnou chybu výpočtu.



Obr. 102 - Přidání uzlového dynamického zatížení

Program midas má naštěstí v sobě zabudovaný tzv. MCT Command Shell, tedy jakýsi příkazový řádek, pomocí kterého je možné tento postup usnadnit a zrychlit. Pro jeho použití je opět potřeba mít připravenou tabulku z Excelu, ve které budou data určená příkazem Command Shellu. Ta dostaneme jeho spuštěním a výběrem příkazu \*DYN-NLOAD, s následným klepnutím na tlačítko Insert Command. To vloží hlavičku (vizte následující obrázek), podle které se musí ve stejném formátu vložit data.



Obr. 103 - Hlavička příkazu v MCT Command Shell

Tato data tedy obsahují číslo uzlu, do kterého zatížení působí, název zatěžovacího stavu a název zatěžovací funkce obsahující soupravu, směr působení, čas příjezdu do bodu a násobitel. Konstrukce je jednoduchý prutový model s délkou prvků 1,0 metru, proto čísla uzlů jsou jednoduše jejich vzdálenost od počátku +1, tedy vždy celá čísla. Zatěžovací stav i funkce se zatěžovací soupravou mají stejné názvy, v případě na obrázku HSLM A1 420, což znamená, že jde o stav a soupravu HSLM A1 při nejvyšší rychlosti, 420 km/hod. Směr je ve směru osy Z, pouze proti jejímu smyslu, proto je na konci příkazu násobitel rovný -1. Proměnný parametr tohoto příkazu je doba příjezdu do bodu. Ta se spočítá podle rychlosti a podle vzdálenosti uzlů.

Označený sloupec shluklých dat (funkce Excelu CONCATENATE) se ještě musí zkopírovat do a znovu vyjmout z bezformátového editoru, nejlépe základního Notepadu, aby se odstranily z výběru buňky a zbyla jen surová data, která se vloží do Command Shellu. Stisknutím tlačítka Run se zatížení přiřadí uzlům.

Typ	Deskový	Model	A1	
* nutné verifikovat žlutá pole vše ostatní				420
tvorí excell sám				116.6667
Node	Distance	type	TIME 5	5 KM/H
1	0	HSLM A1 420	0	116.6667
2	1	HSLM A1 420	0.008571	116.6667
3	2	HSLM A1 420	0.017143	116.6667
4	3	HSLM A1 420	0.025714	116.6667
5	4	HSLM A1 420	0.034286	116.6667
6	5	HSLM A1 420	0.042857	116.6667
7	6	HSLM A1 420	0.051429	116.6667
8	7	HSLM A1 420	0.06	116.6667

Obr. 104 - Výřez z tabulky pro výpočet doby příjezdu

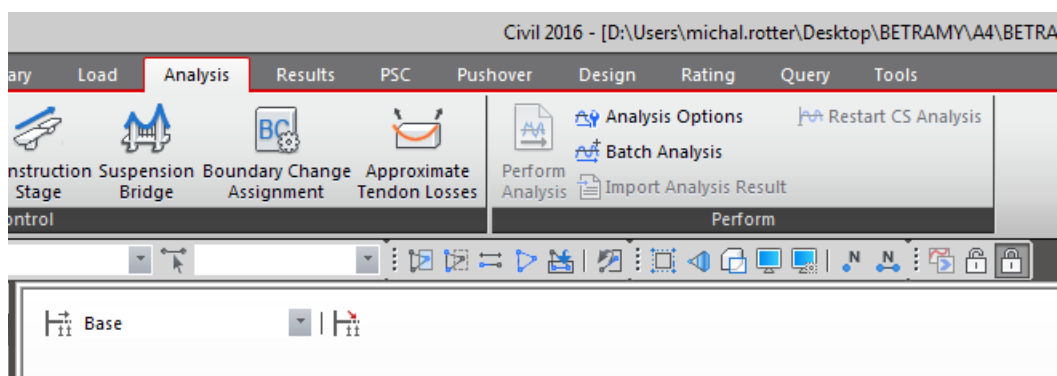
DIR	ARTIME	SCALE	Comander
Z	0	-1	1,HSLM A1 420,HSLM A1 420,Z,0,-1
Z	0.008571	-1	2,HSLM A1 420,HSLM A1 420,Z,0.00857142857142857,-1
Z	0.017143	-1	3,HSLM A1 420,HSLM A1 420,Z,0.0171428571428571,-1
Z	0.025714	-1	4,HSLM A1 420,HSLM A1 420,Z,0.0257142857142857,-1
Z	0.034286	-1	5,HSLM A1 420,HSLM A1 420,Z,0.0342857142857143,-1
Z	0.042857	-1	6,HSLM A1 420,HSLM A1 420,Z,0.0428571428571429,-1
Z	0.051429	-1	7,HSLM A1 420,HSLM A1 420,Z,0.0514285714285714,-1
Z	0.06	-1	8,HSLM A1 420,HSLM A1 420,Z,0.06,-1
Z	0.068571	-1	9,HSLM A1 420,HSLM A1 420,Z,0.0685714285714286,-1
Z	0.077143	-1	10,HSLM A1 420,HSLM A1 420,Z,0.0771428571428572,-1
Z	0.085714	-1	11,HSLM A1 420,HSLM A1 420,Z,0.0857142857142857,-1
Z	0.094286	-1	12,HSLM A1 420,HSLM A1 420,Z,0.0942857142857143,-1
7	0.102857	-1	13,HSLM A1 420,HSLM A1 420,Z,0.102857142857143,-1

Obr. 105 - Výřez z dat připravených pro vložení do Command Shellu

## 10.6 Analýza

Všechna nastavení, která byla třeba pro výpočet, už byla zmíněna v kapitole Nastavení nebo později v jednom ze zatížení. Nic dalšího nastavovat pro samotnou analýzu není třeba. V tomto programu se ale, na rozdíl od CSi, nedá vybrat, který ze zatěžovacích stavů se nechá analyzovat. Zde to prostě funguje systémem buď vše, nebo nic. Pokud by bylo třeba jen určit vlastní frekvenci mostu nebo spočítat jen jeden přejezd, je nutné všechno ostatní natvrdo smazat nebo znehodnotit data, nutná pro výpočet, aby ten nebyl proveditelný, což ale může skončit chybou a ukončením i ostatních výpočtů neúspěchem.

Naštěstí je ale výpočet v midasu velice rychlý. Přejezd mostu o rozpětí 35 metrů jednou zatěžovací soupravou o všech 14 rychlostech najednou trvá pouhých 40 vteřin, takže není takový problém nechat přejet vše, i když jsou potřeba jen nějaká data.



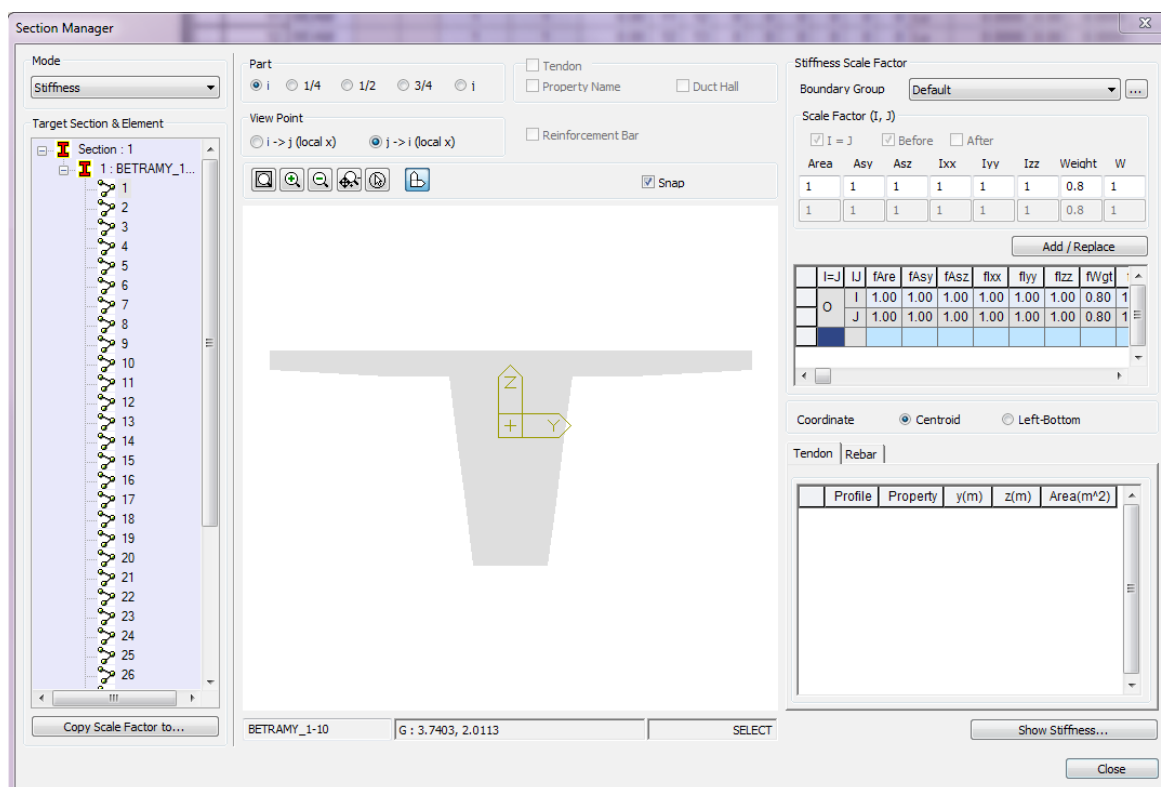
Obr. 106 - Spuštění analýzy v programu midas

Tlačítko pro provedení analýzy, anglicky Perform Analysis, se nachází v panelu Analysis v posledním bloku s názvem Perform. Nyní je zašedlé a neaktivní, protože v otevřeném okně je stále platná provedená analýza. Druhou možností, jak provést analýzu, je stisknutí menšího tlačítka rychlé volby, které se nachází na liště pod hlavním panelem. Konkrétně jde o třetí tlačítko zprava, poslední dvě ikony za ním jsou jen dva obrázky visacího zámku.

## 10.7 Varianty výpočtu

Jak bylo během práce několikrát zmíněno, v midasu se velmi obtížně a časově náročně mění zatěžovací soupravy a pojižděné rychlosti. Oproti tomu se zde ale velmi jednoduše upravuje průřez, v kapitole Výpočetní programy – Varianty výpočtu už je popsáno, jakým konkrétním způsobem.

Prosté nosníky mají v Section Manageru ovlivněnou vlastní hmotnost při zachování všech ostatních parametrů beze změny, jak ukazuje následující obrázek. Tím se sleduje chování konstrukce, kdy roste poměr tuhosti k hmotnosti, kvůli simulaci více kolejných mostů, u kterých připadá na jednu kolej stejná či podobná tuhost při nižší hmotnosti konstrukce. Upravené hodnoty hmotnosti jsou na 90 % a 80 % původní hodnoty, tedy použitím násobitelů 0,9, respektive 0,8.



Obr. 107 - Section Manager

Druhým způsobem, kterým byly průřezy upraveny, bylo přidání výškových variant průřezů, k čemuž ale došlo pouze u spojitěho nosníku, což je další z variant výpočtu. Zatímco v CSI se snadno a rychle měnila rozpětí, v midasu to šlo také, i když obtížněji. Kvůli době výpočtu se ale nakonec spojitý čtyřpolový nosník analyzoval v midasu místo



v CSI. Doba výpočtu tohoto spojitého nosníku v midas byla v řádu minut, u CSI šlo téměř o celý den kvůli jediné sestavě výpočtů.

Rozpětí spojitého nosníku měla vztah k původnímu rozpětí dle tabulky v kapitole Parametry studie – Statická schémata, ne vždy ale stejný. U železobetonové desky šlo o základní rozpětí v krajních polích a o zvětšené rozpětí u polí vnitřních. U předpjatého betonového dvoutrámu byla sice vnitřní pole také zvětšená, krajní pole ale odpovídala zmenšeným. A předpjatá betonová komora se z tohoto systému vymyká zcela se svým základním rozpětím u vnitřních polí a o 10 metrů zmenšenými krajními poli. Tyto hodnoty jsou shrnuty v následující tabulce.

Tab.13 - Tabulka rozpětí spojitých nosníků

Průřez	Rozpětí [m]			
	První	Druhé	Třetí	Čtvrté
Železobetonová deska	15 m	20 m	20 m	15 m
Předpjatý bet. dvoutrám	30 m	40 m	40 m	30 m
Předpjatá bet. komora	40 m	50 m	50 m	40 m

Kromě rozpětí se u spojitého nosníku mění i poměr výšky k rozpětí a tím i štíhlost konstrukce. Čtyřpolové spojitě nosníky mají mnohem větší setrvačnou hmotu než původní prostá pole a jejich spojitost navíc zaručuje, že tato hmota lépe působí proti buzení. Díky tomu byly hodnoty zrychlení při kmitání mnohem nižší, proto se kromě původních poměrů  $d = L/10$  a  $d = L/15$  zanalyzoval průjezd i po konstrukcích s dalšími poměry, většinou štíhlejší a nižší konstrukce.

Tab.14 - Varianty výšky průřezu u spojitých nosníků

Průřez	Rozpětí	1. varianta	2. varianta	3. varianta	4. varianta
Železobeton. deska	20 m	<b>d10</b>	d13	<b>d15</b>	d20
		<b>2,0 m</b>	1,5 m	<b>1,3 m</b>	1,0 m
Předpj. bet. dvoutrám	40 m	<b>d10</b>	d12	<b>d15</b>	d17
		<b>4,0 m</b>	3,5 m	<b>2,6 m</b>	2,3 m
Předpj. bet. komora	50 m	<b>d10</b>	<b>d15</b>	d18	d20
		<b>5,0 m</b>	<b>3,3 m</b>	2,8 m	2,5 m

Pozn.: Pro přehlednost jsou názvy variant na šedém pozadí.

Tučně jsou původní „povinné“ výšky průřezů.

Jak je vidět z tabulky, pro železobetonovou desku jsou poměry výšky  $d$  k rozpětí desetina, třináctina, patnáctina a dvacetina, značené pro jednoduchost d10, d13, d15 a d20. Výšky těchto průřezů se pak vzhledem k rozpětí hlavního pole 20 m rovnají hodnotě od 1,0 metru do 2,0 metru.

Předpjatý betonový dvoutrám je počítán s poměry d10, d12, d15 a d17, jejichž výšky jsou od 2,3 metru do 4,0 metru. Tyto poměry byly vybrány, protože odpovídají výškám původního prostého pole o rozpětí 15 m, respektive 35 m, kde nynější d13 (d12) odpovídala d10 výškou 1,5 m (3,5 m). Stejný případ je i u d20 (d17) s hodnotou 1,0 metru (2,3 metru) odpovídající původní d15 o stejné výšce.

Oproti tomu u předpjaté betonové komory jsou tyto hodnoty na základě zkušeností, kdy se na stávajících konstrukcích za limitní považuje poměr 1/18 rozpětí. To vysvětluje hodnotu d18, hodnota d20 pak doplnila řadu, jelikož d18 stále ještě měla rozumná a nízká zrychlení.

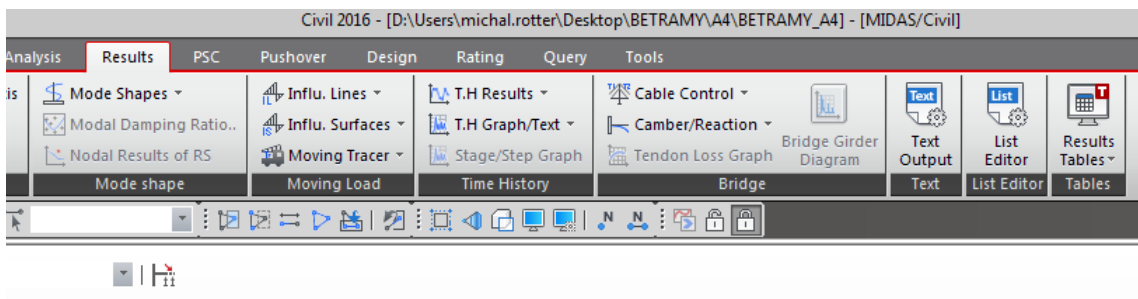
## 11 Výstupy z midasu

Stejně jako z CSi se dají i z midasu získat výstupy ve formě grafu i ve formě tabulky hodnot. Grafická forma midasu má ale výhodu, že se dá lépe nastavit, které hodnoty chceme sledovat, a i jednoduše tyto hodnoty upravit, například změnit sledovaný bod. Opět však přináší nevýhodu toho, že tím sledujeme pouze určité množství bodů a není tak možné pokrýt průběh celé konstrukce v rozumném čase.

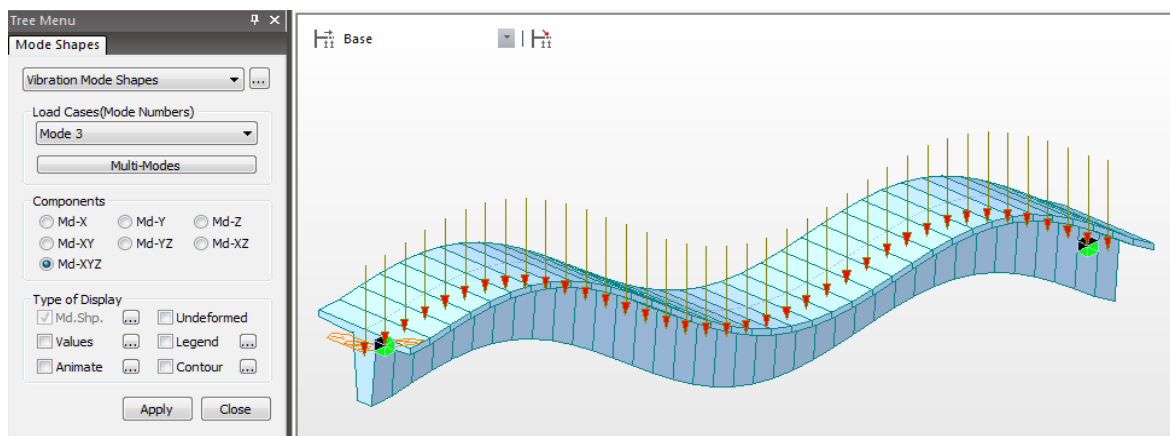
Tabulková forma midasu ale stejně jako u CSi umožňuje získat extrémní hodnoty pro celou konstrukci, což sice stejně jako u zmíněného CSi nedá informace o průběhu kmitání, ani o tom, zda maximum vzniklo při nájezdu lokomotivy, při přejezdu soupravy nebo po jejím plném přejetí při začátku dokmitávání, ale získáme tak informace, jaký převažující vlastní tvar byl na konstrukci vybuzen a ve kterém místě došlo k maximálnímu kmitání.

### 11.1 Získání výstupů

K datům se dá dostat přes horní panel Results, kde jsou k dispozici všechny možné druhy výsledků. Mimo jiné je zde i možnost si zobrazit vlastní tvary a vypsát vlastní frekvence. Tlačítko Mode Shapes slouží pro otevření panelu, ve kterém se dá nastavit, který vlastní tvar se má zobrazit a v jakých souřadných osách se může pohybovat. Jelikož je nastavená pouze rovinná analýza, dá i výsledek XYZ jen vlastní tvary pouze v rovině XZ. Zároveň zde lze zobrazit i tabulkový seznam těchto vlastních frekvencí a period.

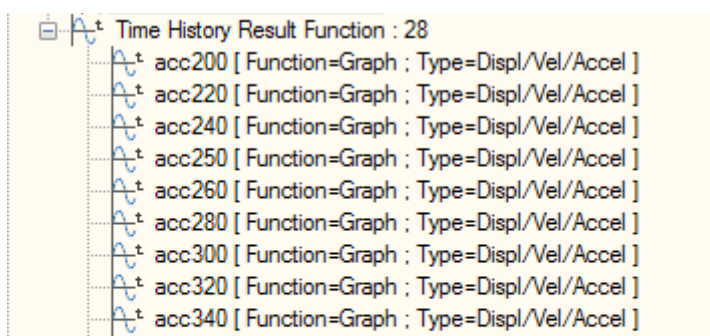


Obr. 108 - Panel výsledků



Obr. 109 - Třetí vlastní tvar na průřezu betonového dvoutrámu

O několik políček doprava se v sekci Time History skrývá tlačítko T.H. Graf / text, které umožní vytvořit funkci pro zobrazení grafu. Pro tyto funkce se volí pouze zobrazovaná veličina, bod na konstrukci, pro kterou se vykreslí a časové ohraničení grafu. Výsledné funkce se pak vykreslí svým přesunutím do nižšího okna funkcí určených pro současné zobrazení.



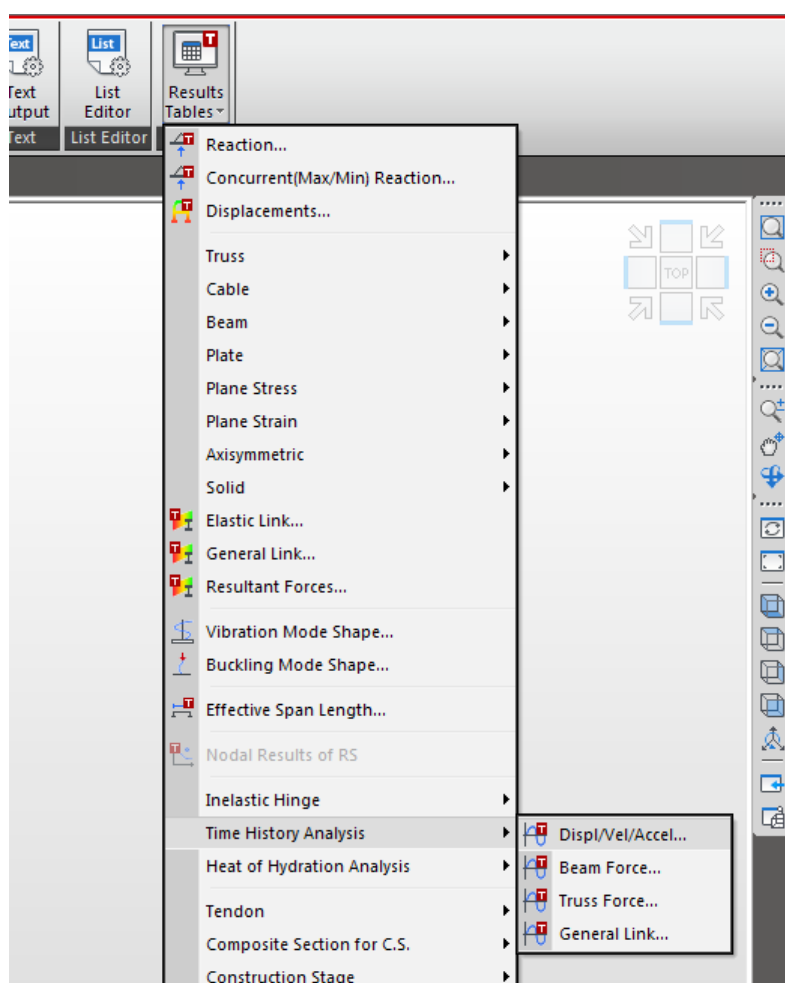
Obr. 110 - Result functions – uložené funkce zobrazující grafy

Pro další práci s výsledky analýzy je třeba výstupy nějakým způsobem dostat z programu. V tomto ohledu je midas mnohem příznivější než předchozí program. Zatímco CSI totiž neměl žádnou integrovanou možnost exportu grafu a jediným způsobem, jak tyto zachovat, je jejich uložení přes aplikaci Výstřížky nebo snímek pracovní plochy, v midasu je přímo možnost grafy uložit, a to buď jako obrázek, který sice neumožní dále s daty pracovat, ale napevno zachová svůj vzhled, nebo jako list dat, které se dají pomocí libovolného tabulkového editoru pracujícího s grafy převést zpět na graf, tentokrát uživatelsky upravitelný.

Uložení se tak dosáhne jednoduchým kliknutím pravým tlačítkem myši v oblasti grafu a volbou uložení jako obrázek nebo jako text, následovány výběrem adresáře a názvu

souboru, případě i koncovky souboru. Ta může pro obrázkové uložení výrazně měnit kvalitu i velikost souboru. Zatímco BMP je bezztrátový typ obrázku, jeho velikost je pro práci nepřijatelná. U JPG je velikost souboru přijatelná, ale obrázek se mírně komprimuje, což má za následek drobné rozmazání čar i čísel v obrázku, a to může někdy způsobit i nečitelnost hodnot.

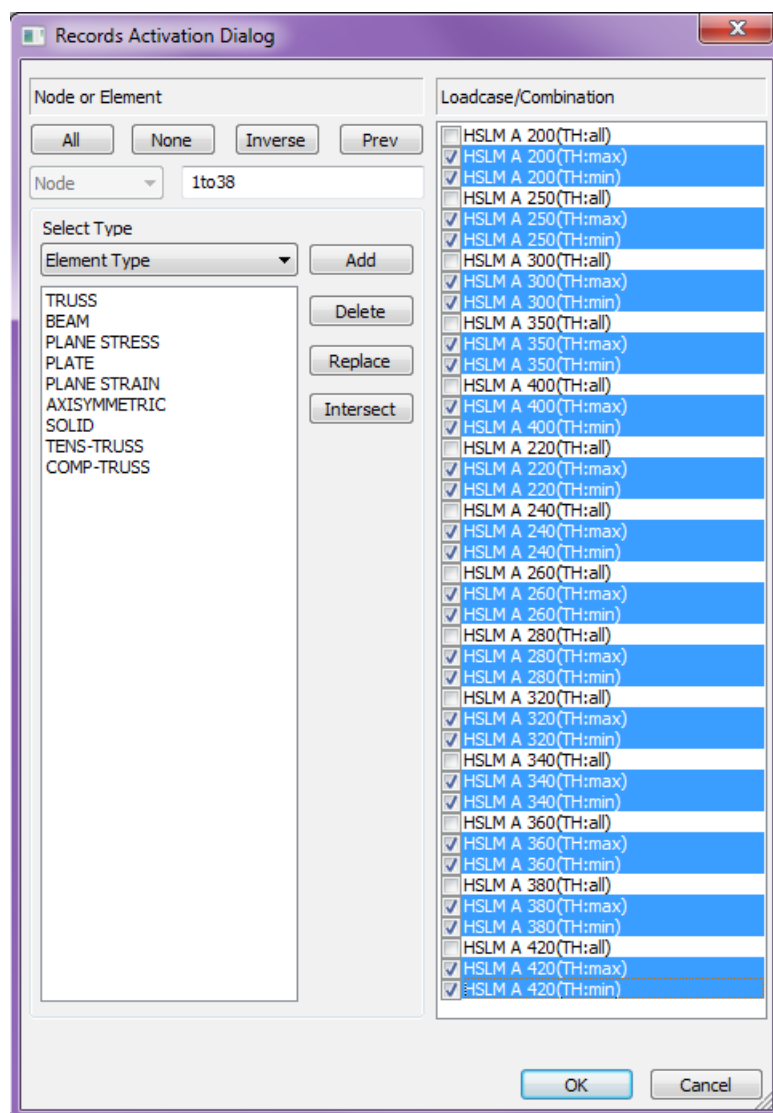
Druhým zmíněným typem výstupu jsou opět tabulky hodnot. K tabulkám se dá dostat rozevřením poslední ikony na liště panelu Results, která se jmenuje Result Tables. V dolní části rozbaleného menu jsou pak výsledky pro tuto analýzu, skrývající se pod Time History Analysis, kde je na výběr Displ/Vel/Accel..., což jsou tabulky skrývající hodnoty nutné pro další zpracování.



Obr. 111 - Cesta k tabulkám s pohybovými veličinami

Otevře se seznam dostupných stavů a výsledků pro zobrazení, obsahující pro každý stav 3 varianty – max, min a all. Varianta max a min obsahuje vždycky extrémy v minimální a maximální hodnotě včetně svého znaménka, zatímco all obsahuje

v absolutní hodnotě nejvyšší z extrémů. Ty sice budou potřeba v závěru práce, ale stejně jako v CSI byla dána přednost hodnotám včetně svých znamének, aby během zpracovávání výstupů existovala kontrola díky relativní symetrii obrazce nad a pod osou grafu.



Obr. 112 - Výběr tabulek k zobrazení

Po výběru se zobrazí tabulky se všemi pohybovými veličinami pro zvolená schémata. Narozdíl od CSI, kde výpočet trval dlouhé hodiny, zde není třeba důkladně archivovat všechny hodnoty. Midas byl přímo vytvořen pro import a export dat z a do tabulkových procesorů typu Excel, proto stačí označit sloupec dat, který je potřeba, a tyto hodnoty jednoduchým zkopírováním a vložením umístit do předem připraveného excelového formuláře pro třídění dat, ne nepodobným tomu, který byl použitý u zpracování výstupů z CSI.

## 11.2 Vlastní frekvence

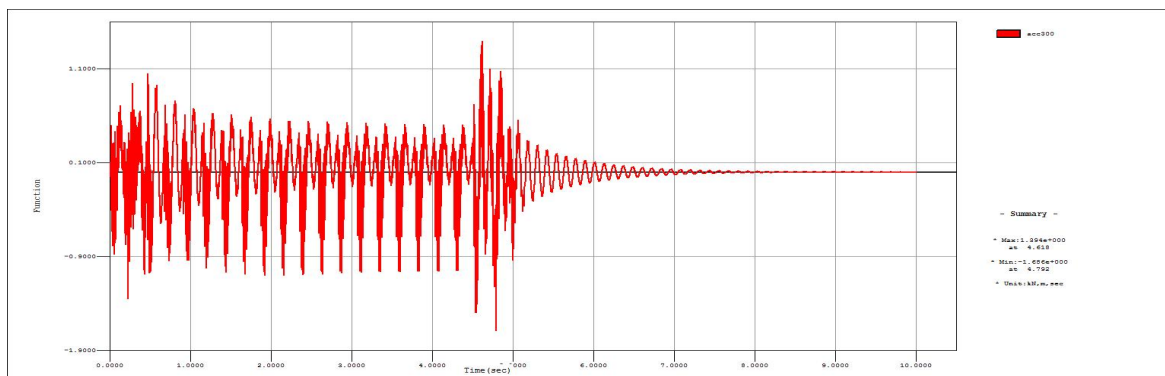
Podobně jako u CSi jsou i zde hodnoty prvních vlastních frekvencí pro každý průřez ve svých příslušných variantách vypsány v tabulce. Tentokrát ale ne s rozpětími, ale procenty vlastní hmotnosti, které odpovídají variantám výpočtu v midasu.

Tab.15 - První vlastní frekvence

Průřez	Varianta	1. vlastní frekvence [Hz] při vlastní hmotnosti		
		100%	90%	80%
ŽB deska	d10	8,4634	8,7319	9,0277
	d15	5,1255	5,2660	5,4188
PJB dvoutrám	d10	3,6903	3,8069	3,9353
	d15	2,2193	2,2812	2,3486
PJB komora	d10	3,0675	3,1654	3,2733
	d15	1,9750	2,0319	2,0939

## 11.3 Ukázky výstupů

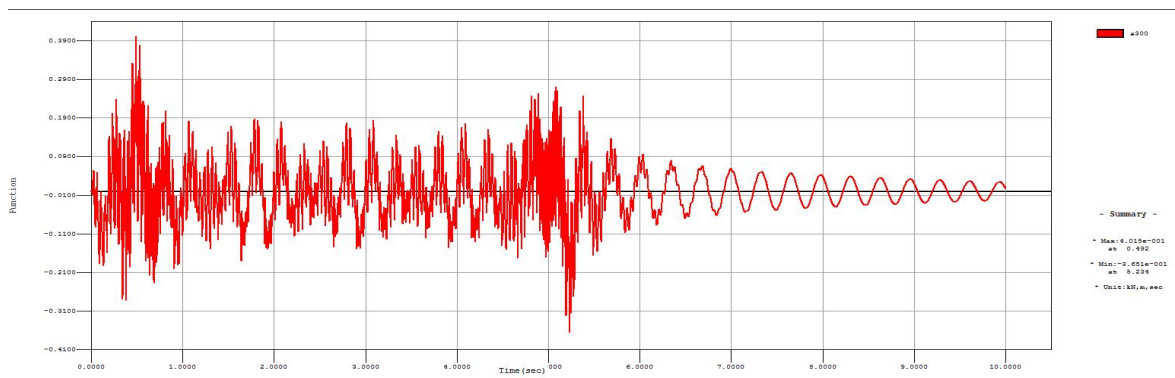
Podobně jako v kapitole Ukázky výstupů z CSi jsou i zde ukázané grafy i tabulky ve své podobě v programu midas. První graf je časová závislost zrychlení na uplynulém čase na železobetonové desce poměru d10 od přejezdu soupravy HSLM A3 při 300 km/hod. V době kolem 4,5 s je vidět, že na most najela poslední lokomotiva, která po opuštění mostu konstrukci, dosud kmitající v podobě ustáleného kmitání, donutí k velkému výkmitu, než začne dokmitávat ve frekvenci kolem 9 Hz. V čase kolem 10 vteřin už je kmitání sotva postřehnutelné a dá se považovat za zcela utlumené.



Obr. 113 - Časový průběh zrychlení středu konstrukce

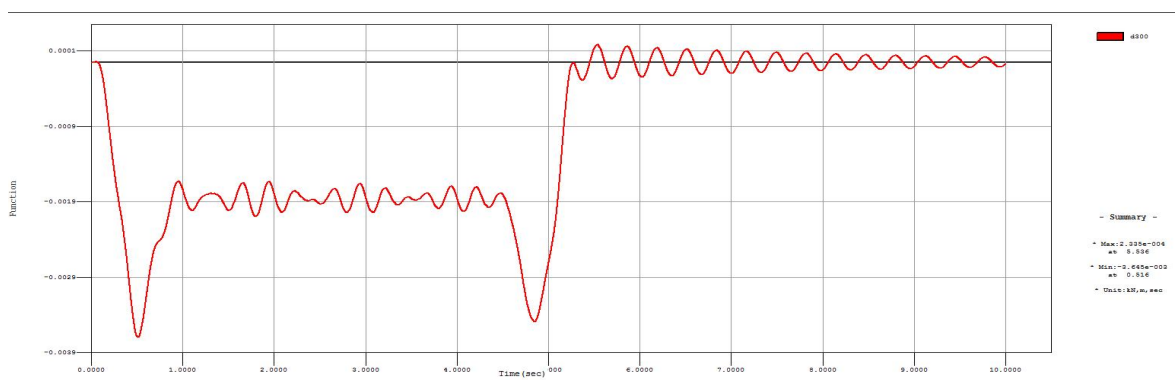
ŽB deska, souprava HSLM A3, výška d10, rychlost 300 km/hod

Následující dvojice obrázků patří k sobě, jde o zrychlení a průhyb na konstrukci o průřezu předpjaté betonové komory výšky d10 při přejezdu vysokorychlostní soupravy HSLM A4 rychlostí 300 km/hod. Přestože je během kmitání vidět jistá dominantní frekvence, zdaleka se nejedná o ustálené kmitání. Kromě kolísající amplitudy je vidět, že se každou chvíli výrazně projeví i vyšší frekvence. Po přejezdu závěrečné lokomotivy způsobující výrazný výkmit začíná dokmitávání, ve kterém je vidět, že ze začátku tvoří až čtvrtinu amplitudy vyšší frekvence, díky které byla čára grafu zubatá, jakoby ochlupená. Tato vyšší frekvence je ale velmi rychle utlumená, po pouhých 5 až 6 plných kmitech získá dokmitávání hladký vzhled tlumené harmonické křivky. Přestože graf končí na 10 vteřinách, není vidět, kdy došlo k úplnému utlumení kmitání, ale hodnoty na konci grafu jsou menší než  $0,025 \text{ m/s}^2$ .



Obr. 114 - Časový průběh zrychlení středu konstrukce

PJB komora, souprava HSLM A4, výška d10, rychlost 300 km/hod



Obr. 115 - Časový průběh průhybu středu konstrukce

PJB komora, souprava HSLM A4, výška d10, rychlost 300 km/hod

Tabulkové výstupy sice nejsou na první pohled nějak zajímavé, jsou ale důležitější pro další zpracování. Vytvořený výstup má vždy 3 a 3 tabulky, průhyb (Displacement), rychlost (Velocity) a zrychlení (Acceleration) ve svých variantách relative a absolute.



Stejně, jako tomu bylo u CSi, jsou i zde tyto hodnoty totožné, je tedy naprosto jedno, které z těchto se vyberou pro další zpracování. Přestože tabulka obsahuje z velké části nuly, protože jediný pohyb se očekává ve směru Z, takže jsou jediné nenulové hodnoty ve sloupcích DZ a RY, značící veličinu ve směru Z a změnu veličiny mezi dvěma body formou úhlu v radiánech, se vždycky vykreslí celá, bez možnosti skrýt prázdné sloupce.

Node	Load	DX		DY		DZ		RX		RY		RZ
		DX (m)	Time/Step (sec)	DY (m)	Time/Step (sec)	DZ (m)	Time/Step (sec)	RX ([rad])	Time/Step (sec)	RY ([rad])	Time/Step (sec)	
1	HSLM A	0.000000	0.0009	0.000000	0.0009	0.000262	0.5247	0.000000	0.0009	0.000262	0.5247	0.00
2	HSLM A	0.000000	0.0009	0.000000	0.0009	0.000000	0.0009	0.000000	0.0009	0.000262	0.5247	0.00
3	HSLM A	0.000000	0.0009	0.000000	0.0009	0.000010	7.8597	0.000000	0.0009	0.000260	0.5256	0.00
4	HSLM A	0.000000	0.0009	0.000000	0.0009	0.000019	7.8597	0.000000	0.0009	0.000256	0.5265	0.00
5	HSLM A	0.000000	0.0009	0.000000	0.0009	0.000028	7.8597	0.000000	0.0009	0.000250	0.5283	0.00
6	HSLM A	0.000000	0.0009	0.000000	0.0009	0.000036	7.8597	0.000000	0.0009	0.000241	0.5301	0.00
7	HSLM A	0.000000	0.0009	0.000000	0.0009	0.000044	7.8597	0.000000	0.0009	0.000229	0.5310	0.00
8	HSLM A	0.000000	0.0009	0.000000	0.0009	0.000050	7.8597	0.000000	0.0009	0.000216	0.5328	0.00
9	HSLM A	0.000000	0.0009	0.000000	0.0009	0.000055	7.8606	0.000000	0.0009	0.000202	7.3476	0.00
10	HSLM A	0.000000	0.0009	0.000000	0.0009	0.000059	7.8606	0.000000	0.0009	0.000187	7.3476	0.00
11	HSLM A	0.000000	0.0009	0.000000	0.0009	0.000062	7.8606	0.000000	0.0009	0.000170	7.3449	0.00
12	HSLM A	0.000000	0.0009	0.000000	0.0009	0.000063	7.8606	0.000000	0.0009	0.000153	7.3260	0.00

Obr. 116 - Tabulka průhybů v midasu

Pozn.: Nulové hodnoty ve sloupci RZ byly oříznuty

Node	Load	DX		DY		DZ		RX		RY		RZ
		DX (m/sec^2)	Time/Step (sec)	DY (m/sec^2)	Time/Step (sec)	DZ (m/sec^2)	Time/Step (sec)	RX (rad/sec^2)	Time/Step (sec)	RY (rad/sec^2)	Time/Step (sec)	
1	HSLM A	0.000000	0.0009	0.000000	0.0009	0.172343	6.8400	0.000000	0.0009	0.162844	6.8400	0.00
2	HSLM A	0.000000	0.0009	0.000000	0.0009	0.000000	0.0009	0.000000	0.0009	0.162048	6.8400	0.00
3	HSLM A	0.000000	0.0009	0.000000	0.0009	0.295760	6.8760	0.000000	0.0009	0.151084	6.8400	0.00
4	HSLM A	0.000000	0.0009	0.000000	0.0009	0.471441	6.8760	0.000000	0.0009	0.128255	6.8409	0.00
5	HSLM A	0.000000	0.0009	0.000000	0.0009	0.528073	6.9399	0.000000	0.0009	0.118009	6.9084	0.00
6	HSLM A	0.000000	0.0009	0.000000	0.0009	0.634375	6.9408	0.000000	0.0009	0.103535	6.9075	0.00
7	HSLM A	0.000000	0.0009	0.000000	0.0009	0.736470	6.9417	0.000000	0.0009	0.090524	6.8445	0.00
8	HSLM A	0.000000	0.0009	0.000000	0.0009	0.749007	6.9417	0.000000	0.0009	0.075233	6.8328	0.00
9	HSLM A	0.000000	0.0009	0.000000	0.0009	0.830009	6.9381	0.000000	0.0009	0.065204	6.8328	0.00
10	HSLM A	0.000000	0.0009	0.000000	0.0009	0.952946	6.9444	0.000000	0.0009	0.041145	7.5150	0.00

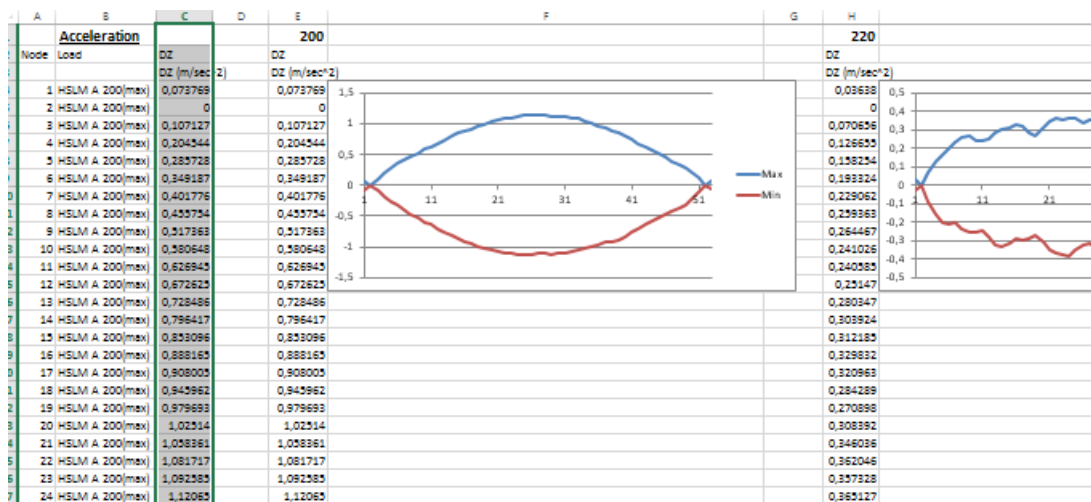
Obr. 117 - Tabulka průhybů v midasu

Pozn.: Nulové hodnoty ve sloupci RZ byly oříznuty

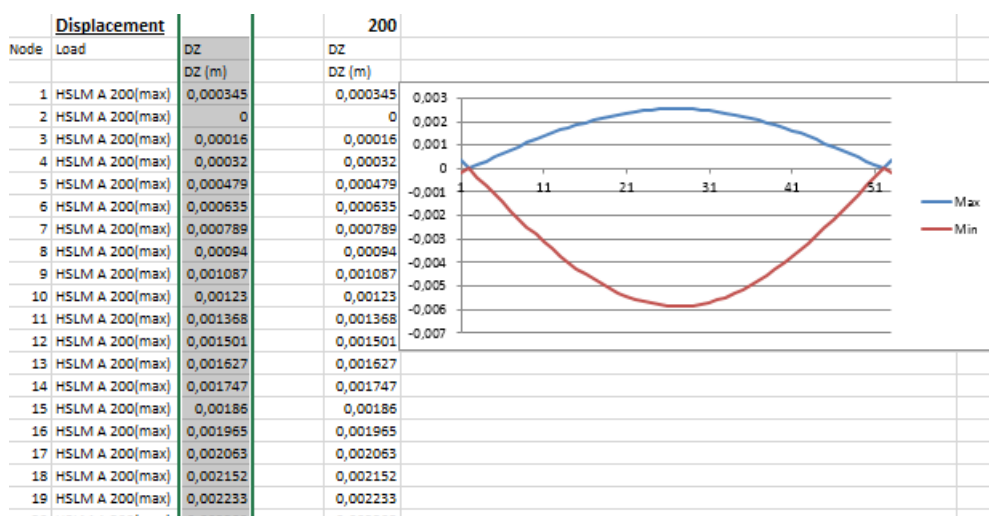
## 11.4 Zpracování výstupů

Pro zpracování se tak, jak už bylo zmíněno v kapitolách výše, použijí výhradně tabulkové výstupy. I v tomto programu je zpracování v několika krocích, ale tentokrát je jich o něco méně, protože není třeba exportovat všechna data, ale stačí si rovnou vybrat, která jsou potřeba a kopírovat jen ta. V případě této analýzy jde o data ve sloupci DZ, konkrétně jen hodnoty pohybové veličiny. Čas, ve kterém bylo této hodnoty dosaženo, není pro další zpracování nutná informace. Data se tedy označí kliknutím na podsloupec DZ (m) nebo DZ (m/sec^2), načte se prostou kombinací kláves Control + C umístí do schránky, aby byla vložena to třídičky dat, velmi podobné té, která sloužila u CSi. Kromě drobných formátovacích odchylek se liší jen tím, že v ní není třeba data řadit, jako tomu bylo minule.

Tato data jsou totiž seřazena správně, alespoň pro účely této práce, ze své výchozí podstaty, což znamená, že jsou řazena napřed podle rychlosti přejezdu a následně podle čísla uzlu, které je zde seřazené logicky od 1 do nejvyššího čísla uzlu, na rozdíl od zmatečného číslování CSI.



Obr. 118 - Vložení sloupce zrychlení do excelové třídičky



Obr. 119 - Vložení sloupce průhybů do excelové třídičky

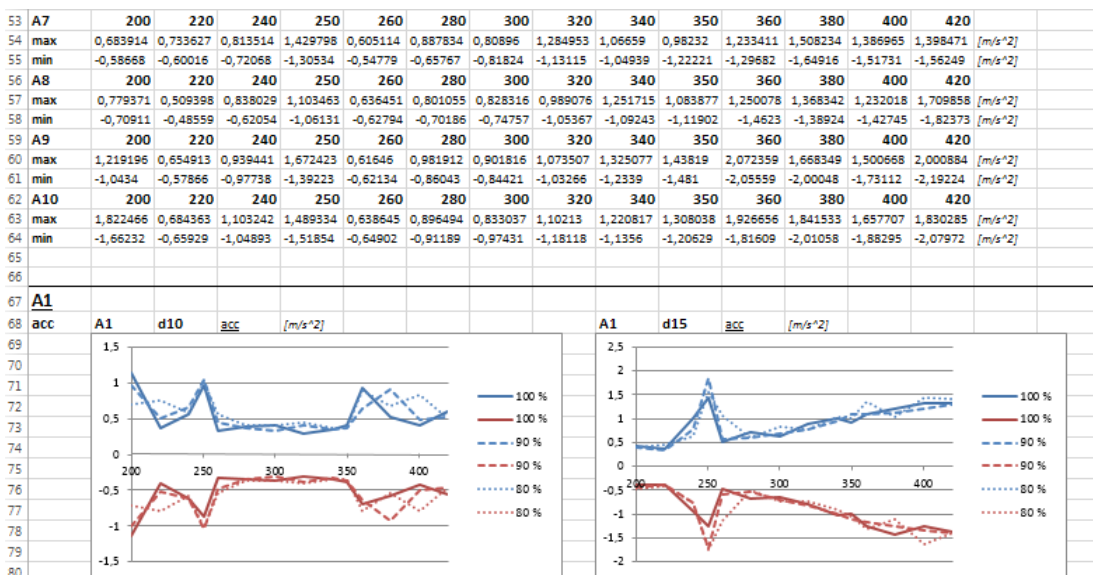
Excelová třídička dat v tomto případě neslouží k seřazení bodů ani rychlostí, jak tomu bylo v předchozím programu, ale pouze rozdělí velký sloupec čísel na dílčí sloupce, ze kterých se snadno a přehledně dá vytvořit graf průběhu hodnoty po konstrukci. Na předchozích dvou obrázcích je vidět zrychlení a příslušný průhyb po vložení dat. Podle vyšší hodnoty zrychlení (relativně k ostatním) jde o kmitání blízké rezonanci s první vlastní frekvencí, určeno podle převažujícího prvního vlastního tvaru na grafu, proto je průhyb tak výrazný i směrem vzhůru.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1		<b>Displacement</b>								
2		<b>200</b>	<b>220</b>	<b>240</b>	<b>250</b>	<b>260</b>	<b>280</b>	<b>300</b>	<b>320</b>	<b>34</b>
3	Max	0,002542	0,000201	0,000238	0,000374	0,000414	0,000433	0,000323	0,000201	0,000
4	Min	-0,00586	-0,00332	-0,00332	-0,00334	-0,00334	-0,00335	-0,00333	-0,00333	-0,003
5										
6		<b>Acceleration</b>								
7		<b>200</b>	<b>220</b>	<b>240</b>	<b>250</b>	<b>260</b>	<b>280</b>	<b>300</b>	<b>320</b>	<b>34</b>
8	Max	1,146616	0,365967	0,55594	0,971635	0,324069	0,377087	0,399809	0,287382	0,3450
9	Min	-1,13236	-0,41464	-0,62556	-0,86904	-0,33132	-0,34097	-0,36228	-0,30795	-0,351
10										

Obr. 120 - Extrémní hodnoty průhybu a zrychlení pro jednu soupravu

Z každého tohoto průběhu, a tedy každého sloupce dat, se vyhledá maximum a minimum, které se vypíše do tabulky. Tyto tabulky proto ukazují extrémní hodnotu, kterou vyvolá souprava, ke které původní data přísluší, ve všech vyšetřovaných rychlostech. Jak je vidět, hodnoty průhybu jsou v kladných a záporných hodnotách velmi rozdílné, což dává smysl, zatímco hodnoty zrychlení jsou řádově stejné s odchylkou maximálně kolem deseti procent.

Tyto hodnoty se následně vloží do souboru, který shromažďuje extrémy pro všechny soupravy, aby se následně porovnal s ostatními variantami výpočtu a aby se z nich nakonec dalo určit extrémní zrychlení pro každou rychlost závislé už jen na průřezu.



Obr. 121 - Soubor pro porovnání zrychlení při různé hmotnosti vlastního průřezu

## 11.5 Výsledná maximální zrychlení

Tab.16 - Maximální zrychlení konstrukce u *prostého nosníku* (midas)

Hmotnost	Průřez Rozpětí	varianta	Maximální zrychlení [ $m/s^2$ ] při rychlosti přejezdu [ $km/hod$ ]:													
			200	220	240	250	260	280	300	320	340	350	360	380	400	420
100%	ŽB deska L = 15 m	d10	1,81	1,94	2,89	2,83	2,53	2,29	1,94	2,54	2,80	2,87	3,28	3,96	6,15	4,81
		d15	3,31	4,74	6,90	8,58	5,95	5,21	7,46	13,25	14,63	19,70	16,28	17,81	19,23	19,90
90%		d10	1,80	2,20	2,53	3,41	3,01	2,92	2,13	2,34	2,89	2,93	3,00	4,09	4,91	6,69
		d15	3,06	3,88	5,89	7,53	8,22	5,40	6,65	10,47	19,13	15,89	20,95	20,66	20,16	19,54
80%		d10	1,49	2,10	2,28	3,44	3,09	3,12	2,45	2,23	2,74	3,07	3,07	3,29	4,32	6,14
		d15	2,87	4,16	5,31	7,29	7,82	6,09	5,71	8,81	15,65	20,26	16,66	17,75	18,47	19,90
100%	PJB dvoutrám L = 35 m	d10	0,51	0,99	3,13	3,22	2,29	2,08	1,11	1,24	2,34	2,49	2,04	1,38	1,33	1,20
		d15	2,09	3,72	1,84	1,54	1,39	1,62	2,09	2,39	2,25	2,33	2,51	2,83	4,65	4,78
90%		d10	0,65	0,83	2,33	3,36	3,41	2,37	1,60	0,98	1,82	2,43	2,96	3,29	1,68	1,47
		d15	1,57	3,99	1,99	2,00	1,45	1,67	1,94	2,37	2,40	2,37	2,43	2,98	3,46	4,61
80%		d10	1,02	0,66	1,60	3,04	3,08	3,01	2,28	1,27	1,42	1,82	2,46	3,65	2,70	1,69
		d15	1,32	3,23	2,79	2,45	1,80	1,81	1,84	2,72	2,78	2,54	2,55	2,68	3,21	5,12
100%	PJB komora L = 50 m	d10	1,15	0,41	1,27	1,92	1,70	1,97	1,43	0,77	0,57	0,62	0,93	0,59	0,65	0,88
		d15	1,82	0,73	1,10	1,67	0,69	0,98	1,22	1,30	1,33	1,48	2,07	2,01	1,88	2,19
90%		d10	1,00	0,70	0,93	1,89	1,63	1,98	2,31	1,63	0,75	0,63	0,85	1,02	0,93	0,66
		d15	2,55	0,84	1,13	1,84	0,76	0,94	1,00	1,55	1,35	1,41	1,98	2,55	2,01	2,35
80%		d10	0,72	0,81	0,81	1,31	1,32	2,15	2,36	2,48	1,14	0,84	0,96	0,82	0,95	0,92
		d15	2,70	1,14	1,05	1,75	1,14	0,79	1,03	1,32	1,52	1,44	1,69	2,05	2,26	2,12

< 1,0 $m/s^2$	1,0 – 3,5 $m/s^2$	3,5 – 5,0 $m/s^2$	5,0 – 10,0 $m/s^2$	> 10,0 $m/s^2$
---------------	-------------------	-------------------	--------------------	----------------

Stejně jako v tabulce maxim z CSi je i v této tabulce vidět, že s rostoucím rozpětím klesá maximální zrychlení, kterého konstrukce dosahuje. Zároveň je tu vidět i vliv výšky průřezu, kdy je menší výška ( $d = L/15$ ) téměř vždy záruka vyššího kmitání, občas jen dojde k výraznějšímu přesunu špičky zrychlení. Např. u předpjatého betonového trámu se první zaznamenaný extrém přesune z cca 260 km/hod u d10 na rychlost 220 km/hod.

Oproti tomu vliv hmotnosti průřezu neprokázal významný vliv. Ke změně extrémních hodnot zrychlení i jejich příslušných rychlostí sice dochází, ale ne tak výrazně, jako tomu je u vlivu výšky průřezu nebo vlivu změny rozpětí, jako tomu bylo u CSi.

Stejně jako v prvním programu se i v midasu zanedbala tuhost upevnění a kolejového lože, takže hodnoty zde vypsány odpovídají zrychlením, jaké by vznikly

na modelu pevné jízdní dráhy. Zároveň je zde také použita stejná hodnota útlumu, tedy dolní mez, jejíž hodnota je dost konzervativní. Díky tomu jsou tyto hodnoty zrychlení na straně bezpečnosti a dá se předpokládat, že na skutečné konstrukci by tyto hodnoty zrychlení byly nižší.

Tab.17 - Maximální zrychlení konstrukce u *spojitého nosníku* (midas)

Průřez Rozpětí	varianta	Maximální zrychlení [ $m/s^2$ ] při rychlosti přejezdu [ $km/hod$ ]:													
		200	220	240	250	260	280	300	320	340	350	360	380	400	420
ŽB deska  L = 20 m ( $L_0 = 15$ m)	d10	0,73	0,55	1,11	0,96	0,63	0,94	0,75	0,87	0,96	0,92	1,22	1,01	1,21	1,22
	d13	0,83	0,98	1,58	1,73	1,33	1,55	1,28	1,73	1,68	1,85	2,14	2,69	2,77	3,17
	d15	1,13	1,45	1,73	1,71	1,44	2,35	2,12	3,01	3,48	3,48	3,61	2,34	4,42	6,13
	d20	2,21	2,78	2,97	4,30	3,70	3,08	6,58	10,88	14,84	11,05	8,68	12,35	17,11	19,18
PJB dvoutrám  L = 40 m ( $L_0 = 30$ m)	d10	0,36	0,43	0,75	0,92	0,56	0,87	0,71	0,69	0,80	0,91	1,20	1,36	0,90	0,62
	d12	0,41	0,59	0,93	0,94	0,92	0,72	0,95	1,11	1,06	0,92	0,70	0,93	0,73	1,60
	d15	0,83	1,34	1,41	1,14	0,82	0,91	1,97	1,74	2,22	2,26	2,35	2,63	4,19	4,75
	d17	1,45	0,75	1,03	1,82	2,29	1,57	2,21	2,21	4,06	4,55	5,03	3,93	5,18	4,62
PJB komora  L = 50 m ( $L_0 = 40$ m)	d10	0,28	0,26	1,10	1,05	0,35	0,41	0,55	0,45	0,63	0,58	0,48	0,51	0,88	1,44
	d15	0,58	0,78	0,81	1,10	0,76	1,40	1,73	1,28	1,46	1,47	1,35	1,25	1,44	0,98
	d18	0,55	0,89	2,01	1,72	1,60	1,10	1,38	1,36	1,35	1,21	0,84	0,90	1,21	1,23
	d20	1,58	1,53	1,50	1,50	1,57	1,28	1,37	0,90	0,88	1,00	1,39	1,26	1,79	2,48

$< 1,0 m/s^2$	$1,0 - 3,5 m/s^2$	$3,5 - 5,0 m/s^2$	$5,0 - 10,0 m/s^2$	$> 10,0 m/s^2$
---------------	-------------------	-------------------	--------------------	----------------

Oproti prostému nosníku má spojitý nosník mnohem větší hmotu, kterou je třeba rozkmitat. Vzhledem ke svým rozpětím, kdy vnitřní pole mají rozpětí označené v tabulce jako L a krajní pole  $L_0$  (pro detaily vizte kapitolu 10.7 – Tvorba modelu v midasu - Varianty výpočtu), jde přibližně o čtyřnásobek. To se samozřejmě projevilo snížením maximálních zrychlení, jak ukazuje tabulka výše.

Kvůli větší tuhosti spojitého nosníku ve spolupráci s větší hmotou proto byla kromě základních výšek provedena analýza i u dalších, většinou štíhlejších, variant průřezu, díky kterým je vidět, kam až se dá z hlediska dynamiky a mezního stavu použitelnosti zajít. Samozřejmě je třeba v případě návrhu velmi štíhlých konstrukcí ověřit, zda jsou vůbec dimenzovatelné, tyto hodnoty jsou totiž pouze orientační a nezahrnují mezní stav únosnosti.

## **12 Porovnání mezi programy**

### **12.1 Model a výstupy**

Nejvýraznější rozdíl mezi programy CSi a midas je v samotném zadávání konstrukce a hlavně zatížení. Zatímco v CSi se model tvoří a upravuje pomocí zadávání hodnot do dialogů, které pak samy obnoví modelovanou konstrukci, v midasu se tato konstrukce sestavuje v tabulkách, a to buď ručně, uzal po uzlu, síla po síle, nebo za pomoci externích tabulkových editorů, ve kterých se hodnoty připraví a následně importují do hlavního prostředí programu. Tento rozdíl je způsobený diametrálním rozdílem myšlení tvůrců, kteří jsou z „opačných“ konců světa, kdy CSi je vyvíjen v Severní Americe, zatímco midas má svou domovinu na korejském poloostrově.

Další z výrazných rozdílů je zmíněné zatížení, hlavně to pohyblivé. V CSi se jednoduše sestaví zatěžovací souprava jako vozidlo ze sil nebo spojitých zatížení a jejich vzájemné vzdálenosti. Toto vozidlo se pak přiřadí zatěžovacímu schématu, kde je určena rychlost přejezdu, jeho trasa a další parametry. Následně se jen určí zatěžovacím stavem, které schéma se bude analyzovat a výpočet může proběhnout. Následná úprava soupravy nebo její rychlosti se provede velmi jednoduchým přepisem některé z hodnot. Oproti tomu midasu se souprava musí vytvořit v externím tabulkovém souboru, následně se vložit do generátoru, kde se rovnou přiřadí rychlost, uložit znovu mimo hlavní program a následně naimportovat zpět do programu, než se může zadat trasa a další parametry. Žádná změna není možná bez smazání a opakování celého postupu, dokonce ani změna vzdálenosti uzlů, které musí být po celou dobu v pevně dané konstantní vzdálenosti.

Naštěstí jsou tyto nedostatky kompenzovány neuvěřitelně rychlým výpočtem, kdy se srovnatelná konstrukce se srovnatelným zatížením v midasu zanalyzuje za čas o několik řádů kratší. Pro srovnání – výpočet jedné zatěžovací soustavy při všech rychlostech na prostém nosníku o rozpětí kolem 30 metrů trvá v CSi přibližně 3 hodiny, zatímco v midasu pouhých několik desítek vteřin, jen vzácně k minutě, a to při kroku, který je mnohem kratší než v CSi, čímž je výpočet v midasu navíc i mnohonásobně hustší.

Navíc má midas další výhodu a tou je velmi snadný export výsledků. Po zobrazení výstupů se dá jednoduchým kopírováním uložit tabulkový výstup, nebo uložením jako obrázek či text se dá uložit graf. CSi má sice export do Excelu, jednoduchý systém uložení grafů mu ale zcela chybí.

## 12.2 Vlastní frekvence

Rozdíl v zadání modelu mezi CSi a midasem spočíval hlavně v rozdílu upevnění. Zatímco v prvním zmíněném se namodelovala reálná vzdálenost upevnění od osy konstrukce, v midasu model odpovídal teoretickému prostému nosníku s převislými konci kvůli zjištění vlivu vzdálenosti upevnění. Tento rozdíl vytvořil u CSi jakýsi fiktivní rám, který způsobil trochu odlišné chování a tím upravil hodnoty vlastních frekvencí. Analýza společná pro oba tyto programy obsahovala základní rozpětí, varianty d10 i d15 pro železobetonový a předpjatý betonový průřez a plnou vlastní hmotnost průřezu, což dělá dohromady 6 porovnatelných hodnot prvních vlastních frekvencí, které byly pro ověření určeny i programem Scia Engineer. Rozdíl mezi těmito frekvencemi je vyobrazen v následující tabulce. U vyšších frekvencí je rozdíl mezi programy vždy o něco větší.

Tab.18 - Rozdíl vlastních frekvencí mezi programy

Průřez	varianta	1. vlastní frekvence [Hz]			Poměr VLF		
		z CSi	z midasu	ze Scii	CSi : midas	CSi : Scia	midas : Scia
ŽB deska	d10	7,8389	8,4634	8,6400	92,6 %	90,7 %	98,0 %
	d15	4,9207	5,1255	5,2400	96,0 %	93,9 %	97,8 %
PJB dvoutrám	d10	3,3025	3,6903	3,7400	89,5 %	88,3 %	98,7 %
	d15	2,1317	2,2193	2,2500	96,1 %	94,7 %	98,6 %
PJB komora	d10	2,9399	3,0675	3,1000	95,8 %	94,8 %	99,0 %
	d15	1,9429	1,9750	1,9900	98,4 %	97,6 %	99,2 %

Jak je vidět, největší rozdíl je u předpjatého betonového dvoutrámu. Ten je způsobený tím, že zatímco železobetonová deska je plný průřez, který má těžiště celkem blízko polovině výšky, a předpjatá komora je uzavřený průřez s těžištěm také blízko středu výšky, dvoutrám nemá dolní desku, takže má těžiště mnohem výš než ostatní dva průřezy. Jelikož je v CSi upevnění navrženo u dolního okraje průřezu, je tento rozdíl logicky největší právě u tohoto průřezu a stejně logicky je větší pro vyšší variantu průřezu, kde se tato vzdálenost zase o něco zvýší. Ze stejného důvodu je vždycky tento poměr bližší 100 % pro nižší variantu u všech tří průřezů.

Rozdíl mezi midasem a Sciou je mnohem menší, než mezi midasem a CSi, díky stejnému způsobu upevnění a je nejspíš způsobený různým výpočtem vlastní tíhy.

## 12.3 Maximální zrychlení

Tab.19 - Maximální zrychlení podle CSi

Roz- pětí	Průřez	varianta	Maximální zrychlení [ $m/s^2$ ] při rychlosti přejezdu [km/hod]:													
			200	220	240	250	260	280	300	320	340	350	360	380	400	420
15 m	ŽB deska	d10	1,60	2,17	1,97	2,40	2,14	2,66	2,60	2,33	3,49	3,51	4,97	6,18	4,86	5,27
		d15	3,93	4,55	7,27	6,03	6,78	7,38	8,70	14,81	15,86	16,15	15,17	14,52	16,25	16,90
35 m	PJB dvoutrám	d10	1,02	2,66	2,51	2,04	1,41	0,93	1,64	3,03	1,94	1,63	1,32	1,29	1,55	2,29
		d15	3,11	2,56	1,91	2,14	1,98	2,31	3,02	5,05	3,27	3,75	3,03	3,21	5,03	3,69
50 m	PJB komora	d10	0,85	0,69	1,55	1,99	2,10	2,62	1,48	1,02	0,61	0,58	0,59	0,56	0,74	1,15
		d15	1,59	1,01	0,73	0,93	1,01	1,38	1,18	1,63	1,62	2,08	2,46	2,23	2,24	2,47

Tab.20 - Maximální zrychlení podle midasu

Roz- pětí	Průřez	varianta	Maximální zrychlení [ $m/s^2$ ] při rychlosti přejezdu [km/hod]:													
			200	220	240	250	260	280	300	320	340	350	360	380	400	420
15 m	ŽB deska	d10	1,81	1,94	2,89	2,83	2,53	2,29	1,94	2,54	2,80	2,87	3,28	3,96	6,15	4,81
		d15	3,31	4,74	6,90	8,58	5,95	5,21	7,46	13,25	14,63	19,70	16,28	17,81	19,23	19,90
35 m	PJB dvoutrám	d10	0,51	0,99	3,13	3,22	2,29	2,08	1,11	1,24	2,34	2,49	2,04	1,38	1,33	1,20
		d15	2,09	3,72	1,84	1,54	1,39	1,62	2,09	2,39	2,25	2,33	2,51	2,83	4,65	4,78
50 m	PJB komora	d10	1,15	0,41	1,27	1,92	1,70	1,97	1,43	0,77	0,57	0,62	0,93	0,59	0,65	0,88
		d15	1,82	0,73	1,10	1,67	0,69	0,98	1,22	1,30	1,33	1,48	2,07	2,01	1,88	2,19

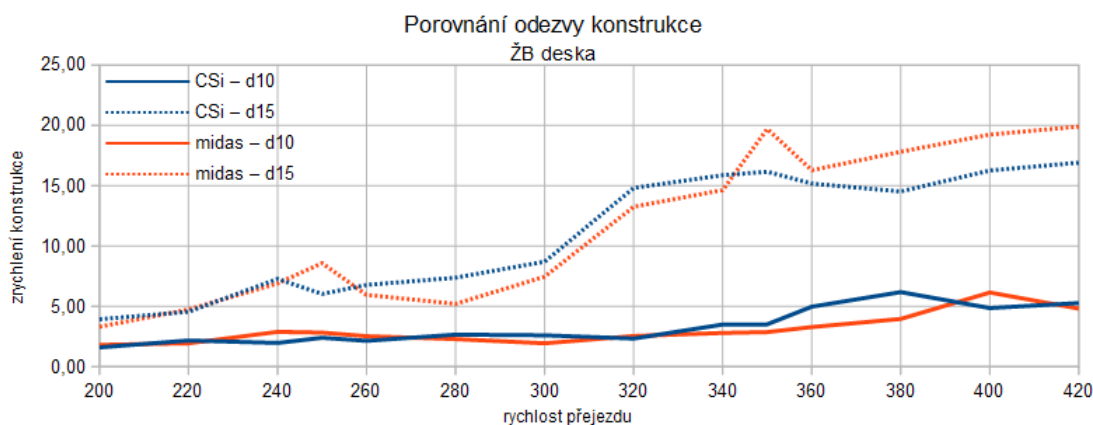
Tab.21 - Poměr maximálních zrychlení

Roz- pětí	Průřez	varianta	Poměr maximálních zrychlení (CSi : midas) při rychlosti přejezdu [km/hod]:													
			200	220	240	250	260	280	300	320	340	350	360	380	400	420
15 m	ŽB deska	d10	88%	112%	68%	85%	85%	116%	134%	92%	125%	123%	151%	156%	79%	110%
		d15	119%	96%	105%	70%	114%	142%	117%	112%	108%	82%	93%	82%	85%	85%
35 m	PJB dvoutrám	d10	201%	268%	80%	63%	62%	45%	147%	245%	83%	65%	65%	94%	117%	190%
		d15	149%	69%	104%	139%	142%	142%	145%	211%	145%	161%	121%	113%	108%	77%
50 m	PJB komora	d10	75%	167%	123%	104%	124%	133%	104%	132%	107%	93%	64%	94%	114%	130%
		d15	87%	137%	66%	56%	147%	140%	96%	126%	122%	141%	119%	111%	119%	112%

Podle rozdílu vlastních frekvencí se dá očekávat, že i maximální zrychlení se budou navzájem lišit. Přestože se barevně tabulky 19 a 20 s hodnotami maximálních zrychlení z CSi a midasu příliš neliší, což znamená, že extrémní hodnoty jsou ve stejném řádu na

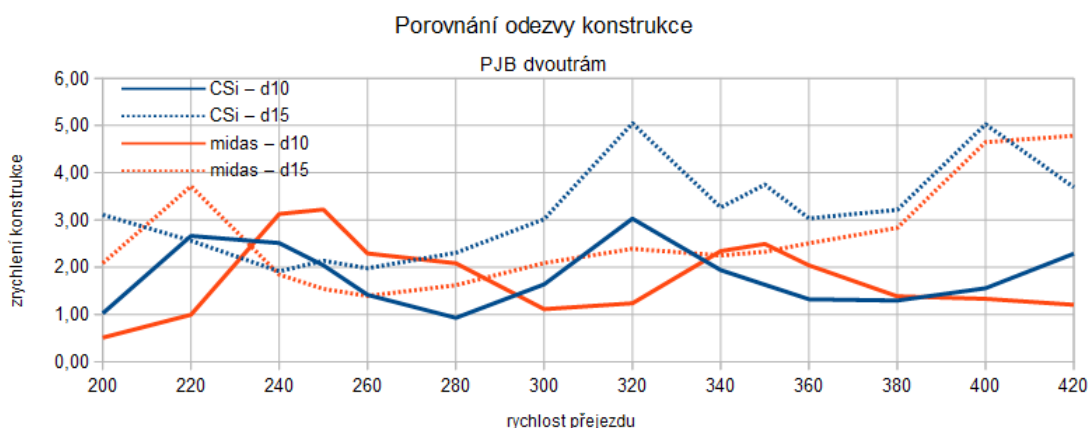


podobném místě, je mezi hodnotami z CSi a midasu výrazný rozdíl, který se ukáže, když jsou tyto hodnoty dány do poměru. Tabulka 21, ve které právě tento poměr hodnot CSi ku midasu je, ukazuje, že jejich podíl dosahuje i více než 250 %, respektive méně než 50 %. Na první pohled by se proto z barevnosti tabulky vyčetlo, že programy daly naprosto odlišné výsledky, ale pravda je jinde. Tu ale ukáží až grafy, na kterých jsou hodnoty z midasu i CSi vykresleny.



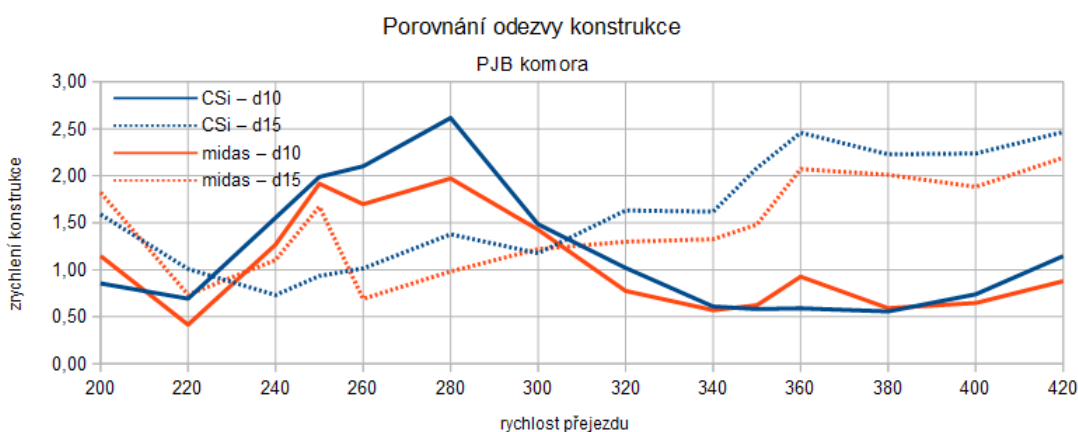
Obr. 122 - Graf pro porovnání zrychlení na ŽB desce

První je graf pro porovnání hodnot na železobetonové desce. Je vidět, že plné křivky si celkem odpovídají, pouze u rychlosti 360 až 400 km/hod se rozcházejí, což je dobře rozpoznatelný posun špičky zrychlení od některé ze souprav, který je způsobený rozdílem vlastní frekvence mezi modely v midasu a v CSi. Horní křivky, odpovídající štíhlejší variantě průřezů, si vzhledem ke své velikosti také docela přijatelně odpovídají, dokonce v poměru k dosaženým hodnotám lépe, než dolní křivky pro variantu d10.



Obr. 123 - Graf pro porovnání zrychlení na PJB dvourámu

Druhý graf odpovídá zrychlením na předpjatém betonovém dvoutrámu a ten ukazuje, že hodnoty jsou naprosto rozházené, čemuž odpovídají i červené hodnoty v tabulce poměrů, kterých je dosaženo pouze zde. Při bližším pohledu je ale vidět, že by křivky varianty d10 poměrně přesně seděly jedna na druhou, pokud by došlo k jejich posunu. Extrémní hodnoty jsou totiž díky velkému rozdílu vlastních frekvencí posunuty asi o 30 km/hod od sebe. V případě, že by se tyto křivky posunuly o zmíněných 30 km/hod, téměř by se překrývaly. U štíhlejší varianty d15 tento posun nepomůže, protože v této variantě není tak výrazný. Zde je totiž veliký rozdíl způsobený tím, že extrémní hodnotu vyvolala jedna ze souprav, které byly analyzovány pouze v programu CSi, tedy jeden z vlaků MU-Class nebo skutečný vlak ICE T1.



Obr. 124 - Graf pro porovnání zrychlení na PJB komoře.

Na grafu pro porovnání hodnot pro předpjatou betonovou komoru se opěr ukazuje, že hodnoty poměrně dobře sedí jedna na druhé, jako tomu bylo u desek, ale vzhledem k malé velikosti hodnot v místech rozdílu jsou jejich poměry výrazné. Zatímco varianta d10 v CSi celkem přesně, až na místní odskoky, kopíruje křivku midasu, u varianty d15 jsou hodnoty midasu, až na výjimku v hodnotě při rychlosti 250 km/hod, blízko u sebe i ve stejném tvaru, díky čemuž je přibližně polovina tabulky jejich poměru v zelených barvách a jen s minimem červených odstínů.

Je tedy vidět, že i když má vzdálenost upevnění od osy mostu vliv na vlastní frekvenci a tím i na výsledné hodnoty zrychlení při kmitání konstrukce, není tento vliv většinou zvláště výrazný a větší odchylky jsou způsobeny spíše jinými faktory, jako je přidaná další zatěžovací souprava, mající zde vliv hlavně u předpjatého betonového dvoutrámu.

## 13 Závěr

Z výsledků parametrické studie dynamického chování mostních konstrukcí pro vysokorychlostní tratě byly sestaveny tabulky maximálních zrychlení konstrukce vyvolaných přejezdem normových zatěžovacích souprav, v závislosti na rozpětí konstrukce, průřezu a jeho výškové variantě a rychlosti přejezdu zmíněných souprav. Studie prokázala, že s rostoucím rozpětím, a tím s rostoucí setrvačnou hmotou, klesají hodnoty extrémních zrychlení. Zatímco krátká rozpětí kolem 15 metrů dosahují zrychlení daleko za limity doporučenými normou, dlouhá rozpětí kolem 50 metrů kmitají tak málo, že se těmto limitům sotva blíží.

**Tabulka 12** v kapitole 9.6 - Výsledná maximální zrychlení, obsahující tyto výsledky z programu CSi s rozšířenou analýzou v závislosti na rozpětí, může sloužit jako pomůcka pro počáteční návrh konstrukce mostů pro vysokorychlostní tratě, jelikož se pro dané rozpětí dá pro vybraný průřez snadno vyhledat maximální rychlost přejezdu vlakové soupravy tak, aby ještě zaručeně splnil limity zrychlení konstrukce.

Porovnáním práce v prostředí obou programů ukázalo, jak obtížně a neefektivně se zadává pohyblivá zatěžovací souprava v midasu na rozdíl od CSi, kde je to záležitost pár kliknutí, ale jak řádově déle trvá výpočet stejného nebo i méně obsáhlého zatěžovacího stavu v CSi oproti midasu.

Porovnání výsledků mezi oběma hlavními programy pro provedení dynamické analýzy ukázalo, jak velký vliv na vlastní frekvenci konstrukce, a následně i na její odezvu na přejezdy souprav, má vzdálenost upevnění od osy mostu. Pouze v jednom případě se projevila souprava MU, analyzovaná jen v CSi, která způsobila jednu špičku zrychlení v maximech z tohoto programu navíc, jinak měly midas a CSi podle očekávání podobné výsledky, které se zpravidla lišily jen mírným posunutím extrémů zrychlení do jiné blízké rychlosti přejezdu díky malé změně vlastní frekvence.

## 14 Literatura

- [1] ČSN EN 1991-2. *Zatížení mostů dopravou*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [2] ČSN EN 15528+A1. *Železniční aplikace - Traťové třídy zatížení pro určení vztahu mezi dovoleným zatížením infrastruktury a maximálním zatížením vozidly*. Praha: Český normalizační institut, 2016.
- [3] Hoorpah, W. *Steel bridges for high speed railways in Europe*; Korea, 2006.
- [4] Burjan, A. *Mostní konstrukce pro vysokorychlostní tratě*, Praha: FSv ČVUT, 2015.

## 15 Seznam tabulek

Tab.1 - Základní průřezové charakteristiky ŽB desky.....	14
Tab.2 - Základní průřezové charakteristiky PJB dvoutrámu.....	15
Tab.3 - Základní průřezové charakteristiky PJB komory.....	16
Tab.4 - Základní průřezové charakteristiky OcBet dvoutrámu.....	18
Tab.5 - Základní průřezové charakteristiky OcBet komory.....	20
Tab.6 - Tabulka rozpětí pro průřezy.....	20
Tab.7 - Tabulka zatěžovacích souprav.....	21
Tab.8 - Tabulka přejezdových rychlostí.....	23
Tab.9 - Tabulka použitých útlumů.....	29
Tab.10 - Časový krok.....	44
Tab.11 - První vlastní frekvence.....	58
Tab.12 - Maximální zrychlení konstrukce u prostého nosníku (CSi).....	72
Tab.13 - Tabulka rozpětí spojitých nosníků.....	97
Tab.14 - Varianty výšky průřezu u spojitých nosníků.....	97
Tab.15 - První vlastní frekvence.....	103
Tab.16 - Maximální zrychlení konstrukce u prostého nosníku (midas).....	108
Tab.17 - Maximální zrychlení konstrukce u spojitého nosníku (midas).....	109
Tab.18 - Rozdíl vlastních frekvencí mezi programy.....	111
Tab.19 - Maximální zrychlení podle CSi.....	112
Tab.20 - Maximální zrychlení podle midasu.....	112
Tab.21 - Poměr maximálních zrychlení.....	112

## 16 Seznam obrázků

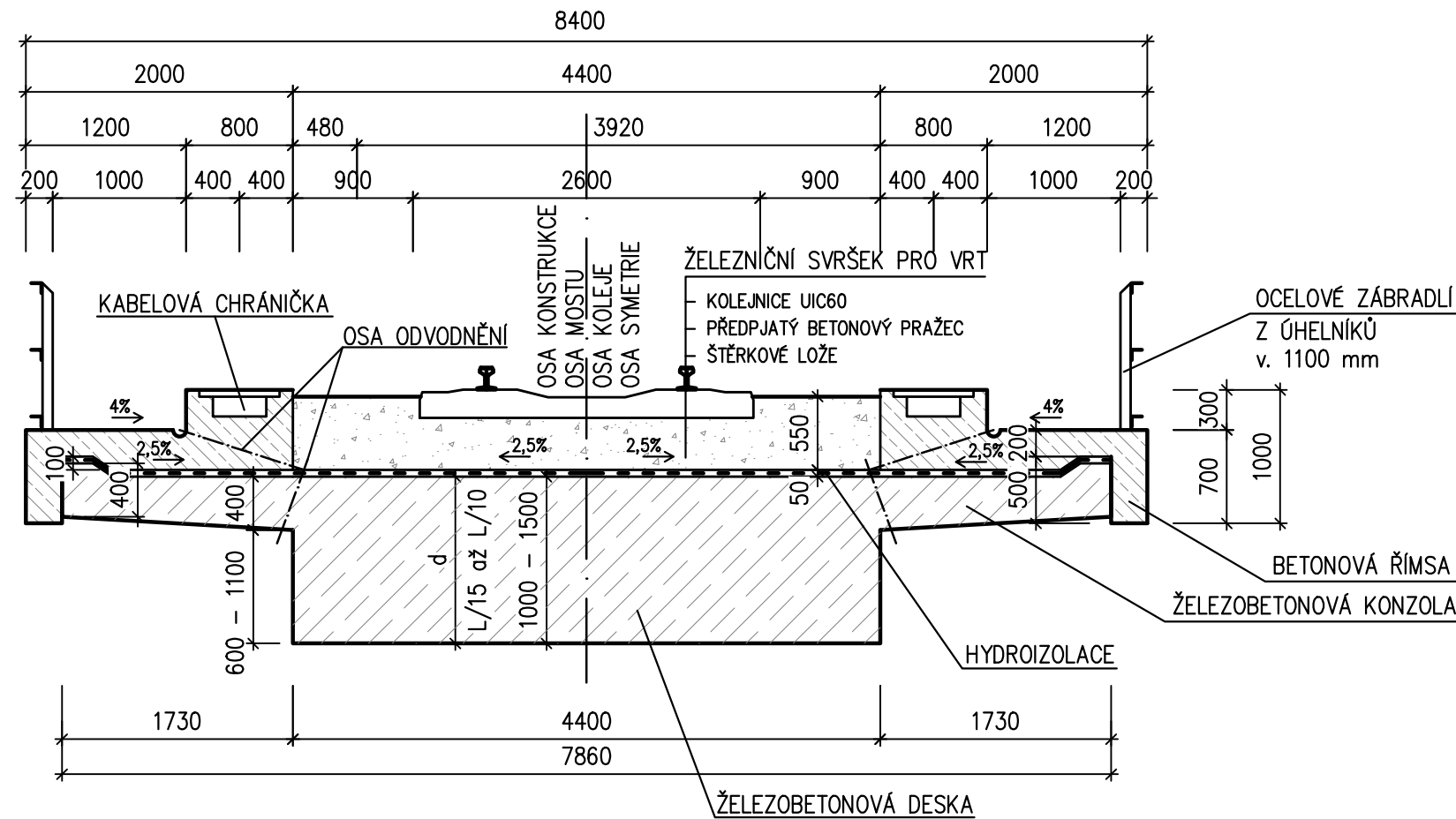
Obr. 1 - Obrázek 6.9 normy [1] – Diagram pro rozhodnutí o nutnosti dynamické analýzy .....	11
Obr. 2 - Železobetonová deska.....	13
Obr. 3 - Železobetonová deska, náhled modelu z programu Scia Engineer.....	13
Obr. 4 - Předpjatý betonový dvoutrám.....	14
Obr. 5 - Předpjatý betonový dvoutrám, náhled modelu z programu Scia Engineer.....	15
Obr. 6 - Předpjatá betonová komora.....	16
Obr. 7 - Předpjatá betonová komora, náhled modelu z programu Scia Engineer.....	16
Obr. 8 - Ocelobetonový spřažený dvoutrám.....	17
Obr. 9 - Spřažený ocelobetonový dvoutrám, náhled modelu z programu Scia Engineer.....	18
Obr. 10 - Ocelobetonová spřažená komora.....	19
Obr. 11 - Spřažená ocelobetonová komora, náhled z programu Scia Engineer.....	19
Obr. 12 - Rozdělení sil v zatěžovacím modelu soupravy ICE.....	22
Obr. 13 - Prutový model v programu CSi Bridge.....	27
Obr. 14 - Prutový model s vykreslením průřezu v programu CSi Bridge.....	27
Obr. 15 - Určení dolní meze útlumu podle normy [1].....	28
Obr. 16 - Dodatečný útlum – vzorec z normy [1].....	29
Obr. 17 - Dodatečný útlum – křivka z normy [1].....	29
Obr. 18 - Nastavení analýzy – volba stupňů volnosti UX, UZ, RY.....	30
Obr. 19 - Nastavení řešiče.....	31
Obr. 20 - Nastavení velikosti dílců a volba konstrukčního modelu.....	31
Obr. 21 - Zadávání průřezu železobetonové desky v programu CSiBridge.....	32
Obr. 22 - Zadávání průřezu předpjatého betonového dvoutrámu v programu CSiBridge.....	33
Obr. 23 - Zadávání průřezu předpjaté betonové komory v programu CSiBridge.....	34
Obr. 24 - Zadávání spřaženého ocelobetonového průřezu s dvěma ocelovými nosníky.....	34
Obr. 25 - Zadávání spřaženého ocelobetonového průřezu s ocelovou komorou.....	35
Obr. 26 - Nastavení směrového a výškového vedení osy mostu.....	36
Obr. 27 - Dělení mostní konstrukce na úseky.....	36
Obr. 28 - Tvorba Bridge Objectu.....	37
Obr. 29 - Přiřazení podepření k označeným uzlům.....	38
Obr. 30 - Výběr stupňů volnosti pro odebrání.....	39
Obr. 31 - Použité zatěžovací soupravy.....	40
Obr. 32 - Vytváření zatěžovacího „vozidla“, ukázka z HSLM A1.....	41
Obr. 33 - Zadávání nápravových sil .....	41
Obr. 34 - Náhled soupravy MU – AB4, nápravové síly odpovídají hmotnosti 21,5 tuny.....	41
Obr. 35 - Panel zatěžovacích schémat.....	42
Obr. 36 - Úprava pohyblivého zatížení.....	43
Obr. 37 - Zatěžovací stavy.....	45
Obr. 38 - Úprava stálého zatížení.....	45
Obr. 39 - Stav pro provedení modální analýzy.....	46
Obr. 40 - Zatěžovací stav pro pohyblivé zatížení.....	47
Obr. 41 -Přidávání spojité hmoty.....	48
Obr. 42 -Přidávání spojité hmoty - dialog.....	48

Obr. 43 -Výběr zatěžovacích stavů pro výpočet.....	49
Obr. 44 - Průběh min/max zrychlení na konstrukci s chybějící spojitou hmotou.....	51
Obr. 45 - Průběh min/max zrychlení na konstrukci s doplněnou spojitou hmotou.....	51
Obr. 46 - Výběr vykreslování funkce v záložce Home.....	53
Obr. 47 - Zadávání nové funkce.....	53
Obr. 48 - Okno volby pro vykreslení grafu.....	54
Obr. 49 - Okno s výběrem tabulkových výstupů pro export.....	55
Obr. 50 - Náhled tabulkového výstupu pro export.....	56
Obr. 51 - Výběr exportu všech tabulek.....	56
Obr. 52 - Exportované hodnoty do programu Microsoft Office Excel.....	57
Obr. 53 - Zobrazení protokolu o výpočtu – výpis vlastních frekvencí a period.....	57
Obr. 54 - Časový průběh průhybu kolem středu konstrukce, PJB dvoutrám, souprava HSLM A3, výška d10, rychlost 300 km/hod.....	59
Obr. 55 - Časový průběh průhybu středu konstrukce, PJB komora, souprava HSLM A4, výška d15, rychlost 240 km/hod.....	60
Obr. 56 - Časový průběh průhybu kolem středu konstrukce, PJB dvoutrám, souprava HSLM A10, výška d15, rychlost 220 km/hod.....	60
Obr. 57 - Časový průběh zrychlení kolem středu konstrukce, PJB dvoutrám, souprava HSLM A9, výška d10, rychlost 340 km/hod.....	61
Obr. 58 - Časový průběh zrychlení středu konstrukce, OcBet spřaž. komora, souprava HSLM A3, výška d15, rychlost 340 km/hod.....	62
Obr. 59 - Časový průběh průhybu kolem středu konstrukce, PJB dvoutrám, souprava HSLM A3, výška d10, rychlost 220 km/hod.....	63
Obr. 60 - Časový průběh průhybu kolem středu konstrukce, OcBet spřaž. dvoutrám, souprava HSLM A6, výška d10, rychlost 360 km/hod.....	63
Obr. 61 - Seřazení zkopírovaných dat – Vlastní řazení.....	65
Obr. 62 - Seřazení zkopírovaných dat – kritéria řazení.....	66
Obr. 63 - Excelová třídačka dat.....	66
Obr. 64 - Číslování uzlů konstrukce.....	67
Obr. 65 - Roztříděná zrychlení ověřená graficky.....	67
Obr. 66 - Průhyb zatím prochází stejnými postupy jako zrychlení.....	68
Obr. 67 - Nalezené extrémy pro každou rychlost.....	68
Obr. 68 - Soupis extrémů v jednom souboru.....	69
Obr. 69 - Porovnání extrémů mezi rozpětími, L = 35 m.....	69
Obr. 70 - Vytažené hodnoty maximálních zrychlení pro každou rychlost.....	70
Obr. 71 - Graf maximálních zrychlení v závislosti na rychlosti a rozpětí.....	70
Obr. 72 - Tabulka extrémních hodnot kmitání od přejezdu soupravy se Škodou 109E1.....	71
Obr. 73 - Graf extrémních hodnot kmitání od přejezdu soupravy se Škodou 109E1.....	71
Obr. 74 - Nastavení modální analýzy.....	75
Obr. 75 - Nastavení pohyblivých zatížení.....	75
Obr. 76 - Tabulka uzlů.....	76
Obr. 77 - Tabulka prvků.....	77
Obr. 78 - Obsah sekce Properties.....	77
Obr. 79 - Zadání materiálu.....	78
Obr. 80 - Zadávání průřezu železobetonové desky.....	79
Obr. 81 - Zadávání průřezu betonového dvoutrámu.....	80




Obr. 82 - Zadávání průřezu betonové komory.....	81
Obr. 83 - Podpory tak, jak jsou vidět v Tree menu.....	82
Obr. 84 - Tabulka podpor u betonové komory (50 m – 53 uzlů).....	82
Obr. 85 - Panel zatížení, stálá zatížení.....	83
Obr. 86 - Použitá stálá zatížení.....	83
Obr. 87 - Vlevo: Zadávání vlastní tíhy.....	84
Obr. 88 - Vpravo: Převod zatížení na hmotnost.....	84
Obr. 89 - Ostatní stálé zatížení na konstrukci.....	84
Obr. 90 - Převod vlastní tíhy průřezu na hmotu.....	85
Obr. 91 - Všech 14 zatěžovacích stavů.....	86
Obr. 92 - Přidávání zatěžovacího stavu pro rychlost 200 km/hod.....	87
Obr. 93 - Souprava HSLM A1 v excelové tabulce.....	88
Obr. 94 - Cesta ke spuštění integrovaného generátoru.....	88
Obr. 95 - Zadávání funkce vlakového dynamického zatížení.....	89
Obr. 96 - Okno generátoru s vytvořenou zatěžovací funkcí.....	90
Obr. 97 - Uložené vygenerované zatěžovací funkce.....	90
Obr. 98 - Výběr souboru zatěžovací funkce pro import.....	91
Obr. 99 - Importovaná zatěžovací funkce.....	91
Obr. 100 - Všechny funkce příslušné jedné zatěžovací soupravě.....	92
Obr. 101 - Panel dynamických zatížení.....	92
Obr. 102 - Přidání uzlového dynamického zatížení.....	93
Obr. 103 - Hlavička příkazu v MCT Command Shell.....	93
Obr. 104 - Výřez z tabulky pro výpočet doby příjezdu.....	94
Obr. 105 - Výřez z dat připravených pro vložení do Command Shellu.....	94
Obr. 106 - Spuštění analýzy v programu midas.....	95
Obr. 107 - Section Manager.....	96
Obr. 108 - Panel výsledků.....	99
Obr. 109 - Třetí vlastní tvar na průřezu betonového dvoutrámu.....	100
Obr. 110 - Result functions – uložené funkce zobrazující grafy.....	100
Obr. 111 - Cesta k tabulkám s pohybovými veličinami.....	101
Obr. 112 - Výběr tabulek k zobrazení.....	102
Obr. 113 - Časový průběh zrychlení středu konstrukce, ŽB deska, souprava HSLM A3, výška d10, rychlost 300 km/hod.....	103
Obr. 114 - Časový průběh zrychlení středu konstrukce, PJB komora, souprava HSLM A4, výška d10, rychlost 300 km/hod.....	104
Obr. 115 - Časový průběh průhybu středu konstrukce, PJB komora, souprava HSLM A4, výška d10, rychlost 300 km/hod.....	104
Obr. 116 - Tabulka průhybů v midasu.....	105
Obr. 117 - Tabulka průhybů v midasu.....	105
Obr. 118 - Vložení sloupce zrychlení do excelové třídičky.....	106
Obr. 119 - Vložení sloupce průhybů do excelové třídičky.....	106
Obr. 120 - Extrémní hodnoty průhybu a zrychlení pro jednu soupravu.....	107
Obr. 121 - Soubor pro porovnání zrychlení při různé hmotnosti vlastního průřezu.....	107
Obr. 122 - Graf pro porovnání zrychlení na ŽB desce.....	113
Obr. 123 - Graf pro porovnání zrychlení na PJB dvoutrámu.....	113
Obr. 124 - Graf pro porovnání zrychlení na PJB komoře.....	114

# Příloha A.1

## PŘÍČNÝ ŘEZ MOSTEM PRO VRT ŽELEZOBETONOVÁ DESKA



### LEGENDA MATERIÁLŮ

-  ŽELEZOBETONOVÁ KONSTRUKCE PŘÍČEZU
-  ŠTĚRKOVÉ LOŽE ŽELEZNIČNÍHO SVRŠKU
-  BETONOVÁ ŘÍMSA

### POZNÁMKA:

Výška průřezu je uvedena pro základní rozpětí  $L = 15$  m.

Železniční svršek a zbytek nenosných částí příčného řezu vytvořen podle předlohy od společnosti SUDOP Praha.

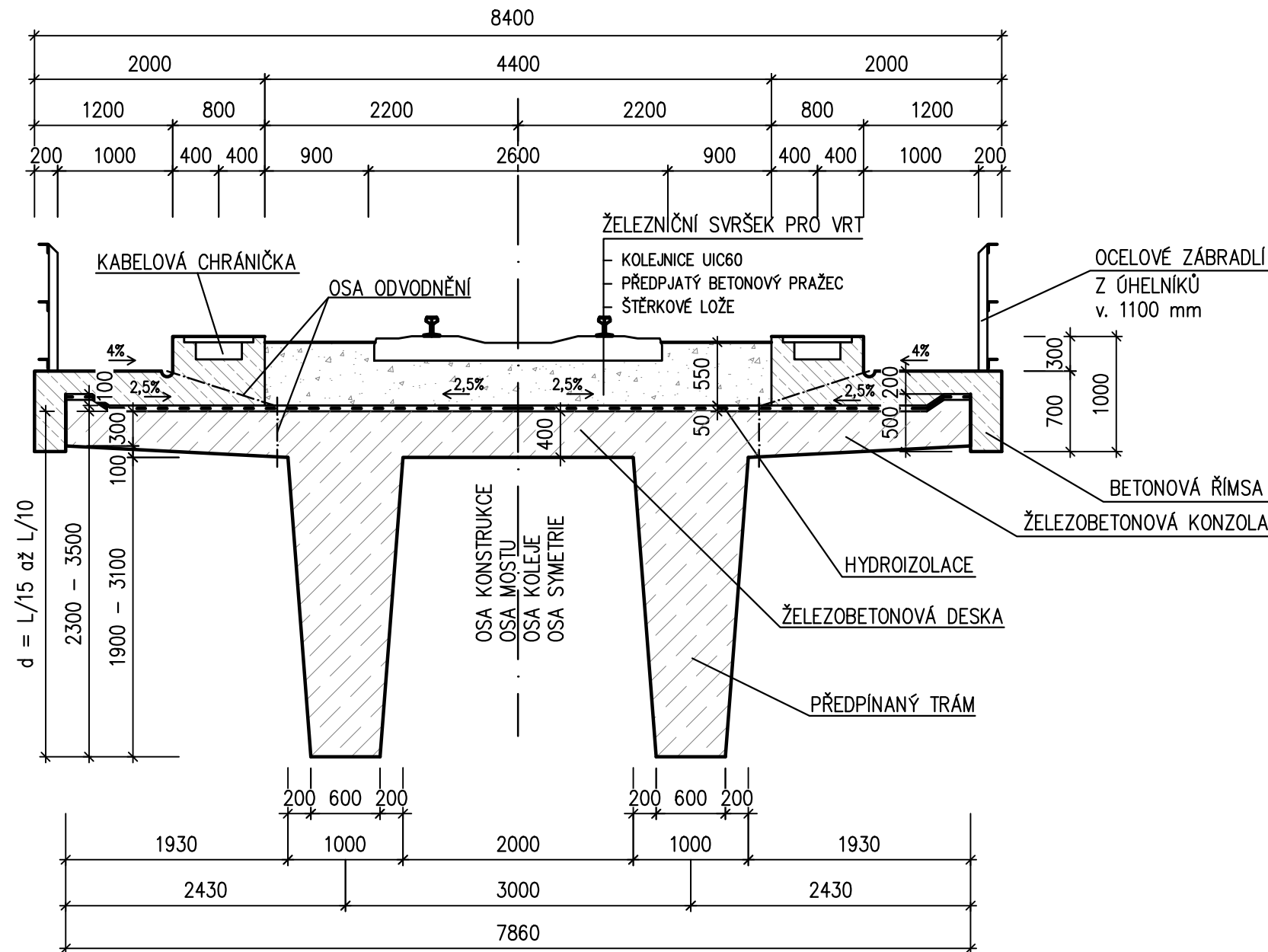
Sklony vodorovných částí a jejich odvodnění zakresleny pouze schématicky.

VYPRACOVAL: Michal ROTTER  
 AKAD. ROK: 2016/2017  
 MĚŘÍTKO: 1:50  
 NÁZEV: PŘÍČNÝ ŘEZ MOSTEM PRO VRT  
 ŽELEZOBETONOVÁ DESKA






# Příloha A.2

## PŘÍČNÝ ŘEZ MOSTEM PRO VRT PŘEDPJATÝ BETONOVÝ DVOUTRÁM



### LEGENDA MATERIÁLŮ

-  ŽELEZOBETONOVÁ KONSTRUKCE PŘÍČEZU
-  ŠTĚRKOVÉ LOŽE ŽELEZNIČNÍHO SVRŠKU
-  BETONOVÁ ŘÍMSA

### POZNÁMKA:

Výška průřezu je uvedena pro základní rozpětí  $L = 35$  m.

Železniční svršek a zbytek nenosných částí příčného řezu vytvořen podle předlohy od společnosti SUDOP Praha.

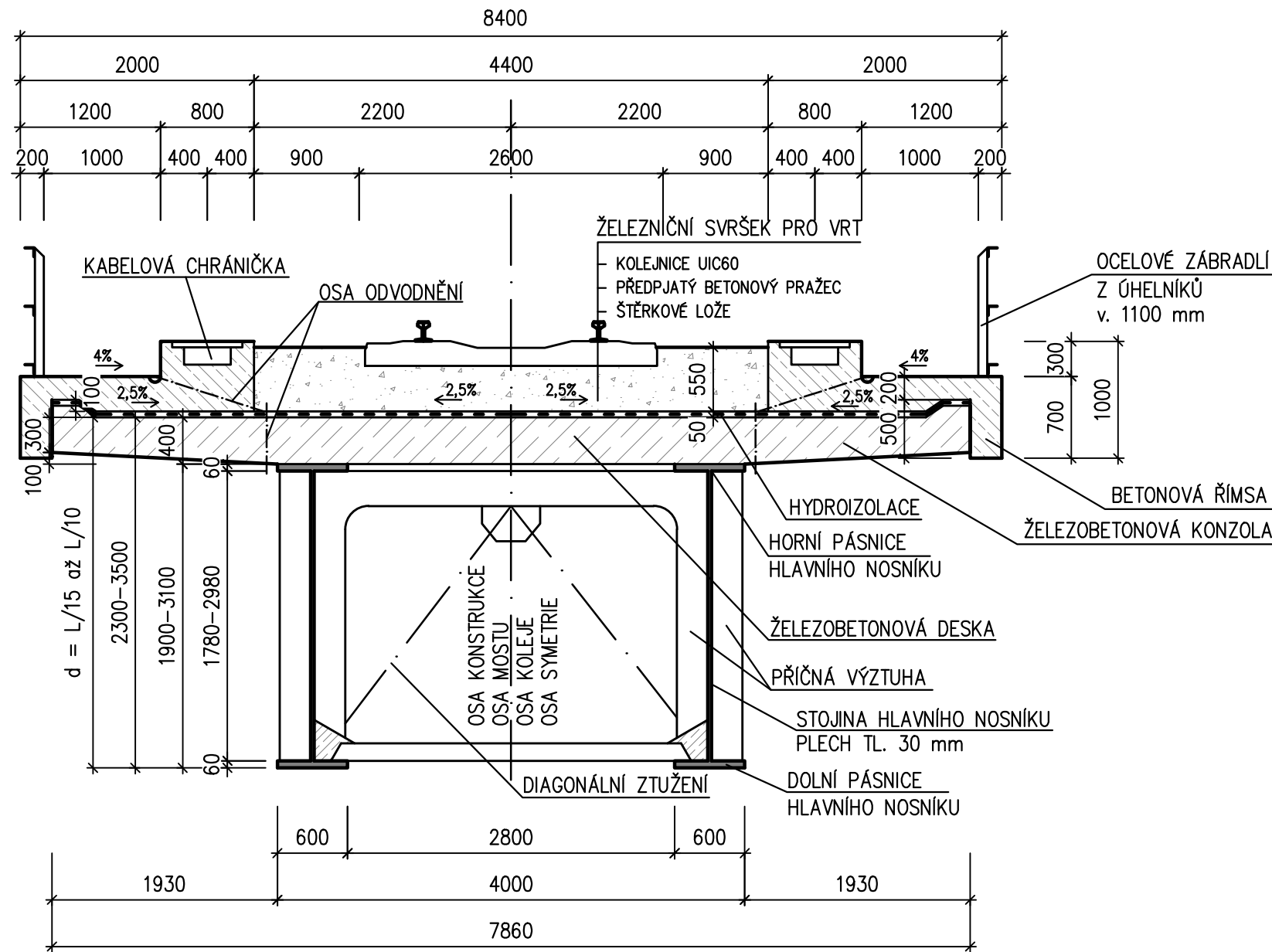
Sklony vodorovných částí a jejich odvodnění zakresleny pouze schématicky.

VYPRACOVAL: Michal ROTTER  
 AKAD. ROK: 2016/2017  
 MĚŘÍTKO: 1:50  
 NÁZEV: PŘÍČNÝ ŘEZ MOSTEM PRO VRT  
 PŘEDPJATÝ BETONOVÝ DVOUTRÁM





# Příloha A.4

## PŘÍČNÝ ŘEZ MOSTEM PRO VRT OCELOBETONOVÝ SPŘAŽENÝ DVOUTRÁM



### LEGENDA MATERIÁLŮ

-  OCELOVÝ PROFIL  
KONSTRUKCE PRŮŘEZU
-  DOBETONÁVKA
-  ŠTĚRKOVÉ LOŽE  
ŽELEZNIČNÍHO SVRŠKU
-  BETONOVÁ ŘÍMSA

### POZNÁMKA:

Výška průřezu je uvedena pro základní rozpětí  $L = 35$  m.

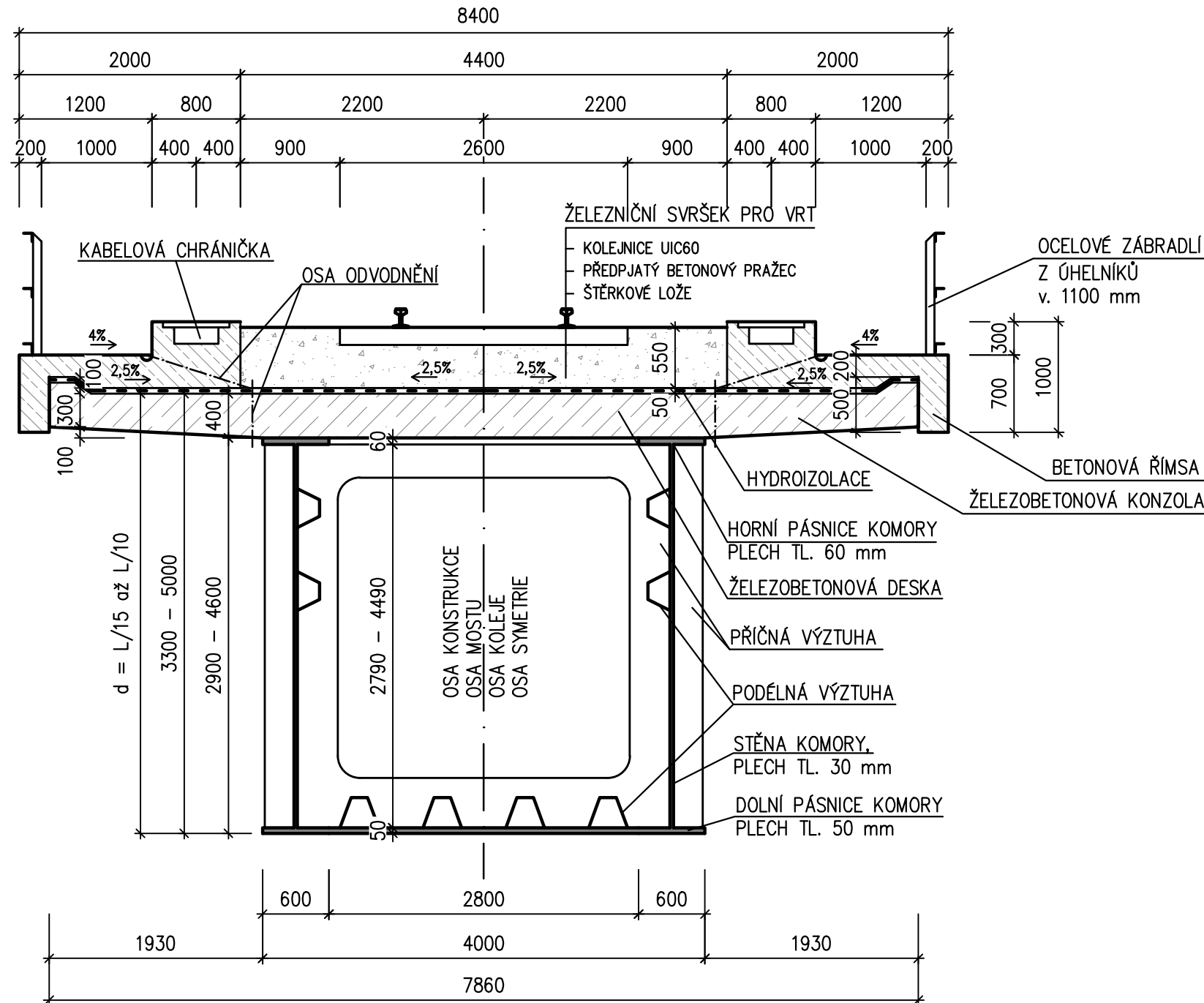
Železniční svršek a zbytek nenosných částí příčného řezu vytvořen podle předlohy od společnosti SUDOP Praha.

Sklony vodorovných částí a jejich odvodnění zakresleny pouze schématicky.



VYPRACOVAL: Michal ROTTER  
 AKAD. ROK: 2016/2017  
 MĚŘÍTKO: 1:50  
 NÁZEV: PŘÍČNÝ ŘEZ MOSTEM PRO VRT  
 OCELOBETONOVÝ SPŘAŽENÝ DVOUTRÁM

# Příloha A.5

## PŘÍČNÝ ŘEZ MOSTEM PRO VRT OCELOBETONOVÁ SPŘAŽENÁ KOMORA



### LEGENDA MATERIÁLŮ

-  OCELOVÝ PROFIL KONSTRUKCE PRŮŘEZU
-  ŠTĚRKOVÉ LOŽE ŽELEZNIČNÍHO SVRŠKU
-  BETONOVÁ ŘÍMSA

### POZNÁMKA:

Výška průřezu je uvedena pro základní rozpětí  $L = 50$  m.

Železniční svršek a zbytek nenosných částí příčného řezu vytvořen podle předlohy od společnosti SUDOP Praha.

Sklony vodorovných částí a jejich odvodnění zakresleny pouze schématicky.

VYPRACOVAL: Michal ROTTER  
 AKAD. ROK: 2016/2017  
 MĚŘÍTKO: 1:50  
 NÁZEV: PŘÍČNÝ ŘEZ MOSTEM PRO VRT  
 OCELOBETONOVÁ SPŘAŽENÁ KOMORA