ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

11132 Katedra stavební mechaniky

Hlavní mostní prohlídka s využitím experimentální dynamické analýzy

The general bridge inspection with the use of experimental dynamic analysis

Diplomová práce

Diplom's thesis

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

Vedoucí práce: prof. Ing. Michal Polák, CSc.

Autor práce: **Bc. Jan Chreno**

Praha 2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Chreno** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **380727**

Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**

Zadávající katedra/ústav: **Katedra mechaniky**

Studijní program: **Stavební inženýrství**

Studijní obor: **Konstrukce a dopravní stavby**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Hlavní mostní prohlídka s využitím experimentální dynamické analýzy

Název diplomové práce anglicky:

The general bridge inspection with the use of experimental dynamic analysis

Pokyny pro vypracování:

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

prof. Ing. Michal Polák, CSc., katedra mechaniky FSv

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

Datum zadání diplomové práce: **20.02.2020** Termín odevzdání diplomové práce: **24.05.2020**

Platnost zadání diplomové práce: _____

prof. Ing. Michal Polák, CSc. podpis vedoucí(ho) práce	podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry	prof. Ing. Jiří Máca, CSc. podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání _____ Podpis studenta _____

Čestné prohlášení:

Čestně prohlašuji, že jsem svoji diplomovou práci vypracoval samostatně, pouze za odborného vedení svého vedoucího diplomové práce pana profesora Ing. Michala Poláka, CSc. Zároveň prohlašuji a svým podpisem dále stvrzuji, že jsem uvedl všechnu použitou literaturu a podklady, ze kterých jsem čerpal při vypracování diplomové práce, v seznamu použité literatury.

V Chrudimi 25. 5. 2020 ……

Bc. Jan Chreno (podpis autora)

Poděkování

Velmi děkuji svému vedoucímu diplomové práce panu prof. Ing. Michalu Polákovi, CSc. za odborné vedení, cenné rady a připomínky při volbě mostní konstrukce pro dynamický experiment, a především za čas, který mi věnoval při řešení mých problémů a nejasností v diplomové práci.

Velké poděkování patří členům akademické obce Fakulty stavební na Českém vysokém učení technickém v Praze, kteří mi pomáhali s velmi náročnou přípravou experimentu a následně měřením lávky v terénu. Jmenovitě děkuji panu prof. Michalu Polákovi, CSc.; Ing. Tomáši Plachému, Ph.D. a panu Ing. Vladimírovi Šánovi, PhD.

Zároveň chci poděkovat zaměstnancům technického zázemí společnosti Dlubal Software s.r.o., kteří mi umožnili využívat studentskou verzi programu RFEM a přídavného modulu DYNAM Pro.

Abstrakt

Studium projektové dokumentace a podkladů k lávce s evidenčním číslem X-528 Lávka Ocelkova – Bobkova. Provedení hlavní mostní prohlídky, podle platné normy ČSN 73 6221 Prohlídky mostů a pozemních komunikací, na lávce s evidenčním číslem X – 528 ve vlastnictví hlavního města Prahy. Uložení protokolu z hlavní mostní prohlídky do systému BMS. Hlavní mostní prohlídka byla rozšířena o dynamický experiment provedený na lávce s evidenčním číslem X – 528, který byl zaměřen na určení prvních vlastních tvarů kmitání a prokázání, že vlastní frekvence lávky leží mimo krokovou frekvenci, kterou vyvodí pohybující se osoby po této lávce.

Abstract

Study of project documentation and documents for the footbridge with registration number X-528 Ocelkova - Bobkova footbridge. Execution of the main bridge inspection, according to the valid standard ČSN 73 6221 Inspections of bridges and roads, on a footbridge with registration number X - 528 owned by the capital city of Prague. Save the report from the main bridge inspection into the BMS system. The main bridge inspection was extended by a dynamic experiment performed on a footbridge with registration number X - 528, which was focused on determining the first natural shapes of oscillations and proving that the natural frequency of the footbridge lies outside the step frequency derived by moving people on this footbridge.

Klíčová slova

hlavní mostní prohlídka; komorová segmentová dodatečně předpjatá mostovka; spojitý nosník o 3 polích, dynamická analýza; experimentální měření; desko-stěnový 3D model

Keywords

the general bridge inspection; chamber segment additionally prestressed bridge deck; continuous beam with 3 fields; dynamic analysis; experimental measurements; board-wall 3D model

OBSAH

Abstrakt / Abstract 5
Klíčová slova / Keywords 5
Obsah 6
Úvod 7
1. Technický popis lávky X - 528 Lávka Ocelkova - Bobkova 13
1.1 Založení a spodní stavba 13
1.2 Nosná konstrukce 17
1.3 Mostní svršek 21
1.4 Vybavení mostu 23
2. Hlavní mostní prohlídka 24
3. Dynamický experiment 25
3.1 Postup provádění měření v terénu 26
3.2 Grafický výstup z provedeného měření 28
3.3 Sestavení desko-stěnového 3D modelu 32
3.4 Grafický výstup z desko-stěnového 3D modelu 36
4. Závěr diplomové práce 37
Použitá literatura, zdroje 39
Seznam použitých zkratek 40
Seznam obrázků 42

Úvod

Předmětem diplomové práce je provedení hlavní mostní prohlídky v souladu se všemi platnými právními předpisy a technickými normami České republiky. Uveřejnění protokolu z této mostní prohlídky držitelem platného *Oprávnění k výkonu hlavních a mimořádných prohlídek mostních objektů pozemních komunikací* do systému BMS (Systém hospodaření s mosty).

K uskutečnění řádné hlavní mostní prohlídky byl vybrán mostní objekt v majetku hlavního města Prahy s evidenčním číslem X – 528 a názvem Lávka Ocelkova – Bobkova. Správou a údržbou této lávky je pověřena akciová společnost s názvem Technická správa komunikací hlavního města Prahy, a.s., která zároveň vede a uchovává mostní evidenci této lávky. Ke studiu všech dostupných podkladů byla využita právě mostní evidence k objektu s evidenčním číslem X – 528, která je vedena částečně elektronicky v systému BMS (Systém hospodaření s mosty) a zbylá dokumentace je uložena v archivu Mostního oddělení Technické správy komunikací hlavního města Prahy, a.s.

Hlavní mostní prohlídka je provedena dle platné normy *ČSN 73 6221 Prohlídky mostů a pozemních komunikací* a v souladu s platným *Metodickým pokynem Oprávnění k výkonu prohlídek mostních objektů pozemních komunikací*. Autor této diplomové práce je držitelem platného „*Oprávnění pro výkon hlavních mostních prohlídek*“, tzn. držitelem je fyzická osoba Bc. Jan Chreno, registrační číslo oprávnění je 227/2019, platnost „*Oprávnění pro výkon hlavních mostních prohlídek*“ je do listopadu roku 2024. Závěry z hlavní mostní prohlídky lávky s evidenčním číslem X – 528 jsou uvedeny v elektronickém systému BMS a budou oficiálně předloženy vedoucímu Mostního oddělení Technické správy komunikací hlavního města Prahy, a.s.

Hlavní nosná konstrukce lávky X – 528 (lávka Ocelkova – Bobkova) je tvořena prefabrikovanými železobetonovými segmenty komorového typu. Částečně dochovaná projektová dokumentace uvádí, že jednotlivé lamely = segmenty měly být vyrobeny předem v betonovém závodě tvořícím prefabrikované výrobky. Délka jedné běžné lamely je 2,400 metru, výška je 1,120 metru a šířka je 8,840 metru. Lamely tvořené železobetonem třídy B 450 nebo B 500 měly být dovezeny na staveniště, osazeny na předem připravenou skruž a dodatečně předepnuty kabely spojitosti na staveništi. Předem připravená skruž měla přesně kopírovat vzepětí komorové nosné konstrukce z jednotlivých lamel. Čelní plocha lamely měla být před ukládkou následující lamely opatřena cementovou maltou, která měla zajistit utěsnění pracovní spáry mezi

jednotlivými lamelami a zamezit tak pronikání vlhkosti a vody k dodatečně protažené předpínací výztuži. Podle dochované neúplné projektové dokumentace, která byla dohledána v archivu Technické správy komunikací hlavního města Prahy, a.s., by měla být předpínací výztuž zakotvena v koncové lamele, která se nachází nad opěrami OP01 a OP02 podle uvažovaného staničení z ulice Breitcetlova do ulice Bobkova.

Spodní stavba je tvořena dvěma krajními opěrami s označením OP01 a OP04 dle uvažovaného staničení a dále dvěma vnitřními pilíři s označením P02 a P03 dle uvažovaného staničení. Pilíře mají obdélníkový tvar s půdorysnými rozměry: délka 3,700 metru a šířka 0,650 metru. Vnitřní podpěry – pilíře měly být založeny na masivních železobetonových pasech o rozměrech 6,000 metru x 3,000 metru x 2,000 metru (délka x šířka x výška). Základové pasy pod pilíři měly být provedeny pravděpodobně z prostého betonu třídy B 170 a dřík vnitřních podpěr – pilířů měl být proveden z betonu třídy B 330. Výkresová dokumentace opěr nebyla dohledána, pouze bylo v archivu Technické správy komunikací hlavního města Prahy, a.s. objeveno několik listů (pravděpodobně) z Technické zprávy, na kterých je uvedeno, že opěry jsou založeny na velkoprůměrových pilotách. Dříky opěr by měly být provedeny ze železobetonu B 330.

Mostní objekt X – 528 má v krajních polích umístěny vstupní otvory o světlém rozměru průlezů 500 x 500 mm. Ačkoliv je mostovka lávky tvořena komorovými prvky, nebylo možné provést prohlídku uvnitř nosné konstrukce z těchto segmentových komorových prvků. Jednotlivé průlezy do krajních polí (komorových lamel se vstupními otvory opatřenými železným rámem) jsou trvale uzavřeny železnými plechy. Železné plechy jsou provařeny souvislým svárem k železnému rámu, který je zabetonován do prefabrikované lamely. Z elektronicky vedené mostní evidence je patrné, že o tomto mostním objektu není známo dostatečné množství informací ani není možný přístup do komory nosné konstrukce, proto je mostní prohlídka doplněna o dynamický experiment, který proběhl na této lávce pod odborným vedením pana prof. Ing. Michala Poláka, CSc. Vyhodnocení experimentu je součástí této diplomové práce.

Provedení dynamického experimentu na lávce bylo povoleno ze strany správce této lávky, tzn. ze strany Technické správy komunikací hlavního města Prahy, a.s. Vstup do jednotlivých lamel nebyl povolen ze strany správce lávky X - 528, a proto nebyly při provádění hlavní mostní prohlídky odstraněny zavařené železné plechy. Vnitřní prostor lávky nebyl podroben kontrole v souladu s normou ČSN 73 6221.

Diplomová práce obsahuje projektovou dokumentaci doplněnou o dohledané informace, protokol z provedené hlavní mostní prohlídky X – 528 doplněný o kulaté razítko držitelem Oprávnění, kopii platného Oprávnění a důležitá schémata vysvětlující experiment.

Obr. 001 Boční pohled na pravou stranu lávky X-528: první krajní pole, pilíř P02, ½ rozpětí hlavního pole lávky

Obr. 002 Boční pohled na pravou stranu lávky X-528: ¼ rozpětí hlavního pole lávky, pilíř P03, třetí pole lávky / druhé krajní pole lávky

Obr. 003 Boční pohled na pravou stranu lávky X-528: hlavní pole lávky, dopravní situace pod mostním objektem, pilíř P 03

1. Technický popis lávky X – 528 Lávka Ocelkova – Bobkova

Lávka byla postavena v roce 1987 podle projektové dokumentace, kterou vyhotovil Vojenský projektový ústav v Praze. Do provozu byla uvedena v roce 1988 - podle dohledaných informací v mostní evidenci. Mostní objekt byl projektován s předpokladem, že bude sloužit pro chodce a ve výjimečných případech umožní přejezd integrovaným záchranným složkám (dříve uvažováno jako přejezd hasičského nákladního vozidla nebo přejezd sanitních vozů, případně přejezd policejních složek).

Průjezdní profil na mostě má světlou průjezdnou šířku mezi odraznými obrubníky rovnou 8,400 m, kde výškový rozměr není omezen ani na mostním objektu ani před nebo za mostním objektem.

1.1 Založení a spodní stavba

Specifikovat založení mostního objektu je v tomto případě značně komplikované. Pro lávku Ocelkova – Bobkova není uchována dostatečná projektová dokumentace. Především chybí projektová dokumentace skutečného provedení stavby, ze které by bylo patrné, do jaké míry byla dodržena původní projektová dokumentace pro realizaci stavby. Stávající mostní evidence, která je vedena jako součást systému BMS, se liší vůči nalezené projektové dokumentaci v archivu Technické správy komunikací hlavního města Prahy, a.s.

Údaje v projektové dokumentaci z listopadu 1985 uvádí, že krajní opěry OP01 a OP04 mají být založeny na velkoprůměrových pilotách. Není zde blíže specifikováno, jestli se jedná o vrtané velkoprůměrové piloty, ražené velkoprůměrové piloty apod. Zároveň není uvedeno, z jakého materiálu by měly být provedeny a jak mají být vyztuženy.
Elektronická mostní evidence vedená v BMS systému naopak uvádí, že založení krajních opěr je provedeno z masivního prostého betonu. Dále je zde uvedeno, že masivní opěry z prostého betonu mají rozměry: 3,700 metru x 1,700 metru x 4,000 metru (délka x šířka x výška). Zůstává otázka, jak přesně jsou opěry založeny a z jakého konkrétního materiálu jsou provedeny. (Tuto nejasnost lze poměrně rychle objasnit kopanou sondou, to ale není náplní mostní prohlídky ani této diplomové práce.)

Založení vnitřních podpěr, vnitřních pilířů, s označením dle staničení P02 a P03 je provedeno z masivního betonového pasu z prostého betonu třídy B 170 (SPC) a rozměrů: 6,000 metrů x 3,000 metry x 2,000 metry (délka x šířka x výška). Armatura dříků pilířů by měla být vetknuta do masivního základu, a to na výšku tohoto základu, tzn. 2,000 metry dle projektové dokumentace z listopadu 1985. Samotná délka dříku pilíře nad masivním základovým pasem je 5,700 metrů. Obdélníkový půdorys dříků pilířů je délky 3,700 metrů a šířky 0,65 metrů. Dřík pilířů je plná stěna ze železobetonu, beton třídy B 330 a betonářská výztuž z oceli 10 425 (V), na delších stranách jsou stěny s pohledovým profilováním. Profilování bylo vytvořeno VSŽ plechy typ 10 001…600x30x0,8 dlouhé 5,200 m, které bylo vloženo do bednění před ukládkou čerstvé betonové směsi.

Na každém dříku pilíře jsou umístěny dva kusy hrncových ložisek, a proto by měl být v plné monolitické stěně dříku pilíře ukryt příhradový koš z armatury tvořící sloup pod každým hrncovým ložiskem dle předpokladu projektové dokumentace z doby výstavby.

Opěra OP01 a Opěra OP04

- rozměry dříku (d x š x v): 3,700 m x 1,700 m x 4,000 m;
- založení je z velkoprůměrových pilot dle PD z listopadu roku 1985;
- založení může být na masivním základovém pasu z prostého betonu dle elektronické mostní evidence;
- provedení dříku opěr dle elektronické mostní evidence může být masivní z prostého betonu B 170;
- provedení dříku opěr dle neúplné projektové dokumentace z roku 1985 je ze železobetonu třídy B 330 a betonářské výztuže 10 425 (V)

Obr. 004 Pohled na Opěru OP01

Obr. 005 Pohled na Opěru OP04

Pilíř P02 a Pilíř P03

- rozměry založení (d x š x v): 6,000 m x 3,000 m x 2,000 m;
- rozměry dříku (d x š x v): 3,700 m x 0,650 m x 5,700 m;
- způsob založení: masivní základový pas;
- materiál základu: prostý beton třídy B 170 (SPC);
- materiál dříku: železobeton třídy B 330 / betonářská výztuž s označením 10 425(V);
- povrch dříku je pohledově upraven profilovanými VSŽ plechy typu 10 001…600x30x0,8 dlouhé 5,200 m

Obr. 006 Pohled na Pilíř P03, levá strana vnitřní podpěry

Obr. 007 Pohled na Pilíř P03: detail pohledové úpravy dříku

1.2 Nosná konstrukce

Nosná konstrukce mostního objektu je tvořena prefabrikovanými lamelami ze železobetonu. Při realizaci mostovky měly být použity tři různé lamely: nadpodporová lamela (v projektové dokumentaci je označena písmenem A); běžná lamela (označena v PD písmenem B) a přechodová lamela (označena v PD písmenem C). Délka, šířka i výška všech lamel má konstantní hodnoty, jednotlivé lamely se liší tloušťkou spodní desky, způsobem vyztužení lamely nebo způsobem dodatečného zmonolitnění na stavbě. Při samotném pohledu na mostní konstrukci v době provádění mostní prohlídky nelze určit, jestli jsou jednotlivé lamely použity dle projektové dokumentace z roku 1985.

Postup výstavby a jednotlivých etap výstavby pro realizaci nosné konstrukce není znám. Realizace komorové segmentové mostovky měla probíhat na skruži, která měla kopírovat teoreticky stanovené výškové vzepětí dolní hrany nosné konstrukce.

Nadpodporová lamela (typ A) by měla být umístěna nad podporami, tzn. nad jednotlivými opěrami OP01 a OP04 a dále nad pilíři P02 a P03. Tyto lamely typu A jsou neprůchozí a komora této lamely měla být zmonolitněna na stavbě železobetonem. Do těchto lamel měla být vložena kari-síť s oky 200 x 200 mm nebo upravena dle potřeb stavby. Kari-sítě měly být v komoře lamely typu A rozmístěny po 140 mm a následně měla být tato komora vyplněna betonem třídy B 330. Jak probíhala samotná realizace a zdali byla skutečně lamela vyplněna železobeton nebylo možné ověřit.
Do koncových lamel nad opěrami OP01 a OP04 je zakotvena předpínací výztuž, která byla dodatečně protažena všemi lamelami (typem A+B+C), předepnuta a zakotvena v koncových lamelách typu A. Koncové lamely typu A, které jsou nad opěrami OP01 a OP04 by měly být tvořeny betonem třídy B 450.
Lamela typu A by měla mýt v dolní desce a částečně ve stěnách komory zabetonované dvojice válcovaných ocelových profilů tvaru písmene U. Z projektové dokumentace vyplývá, že se jedná o U-profily výšky 200 mm, bližší volba profilů byla ponechána na zhotoviteli.

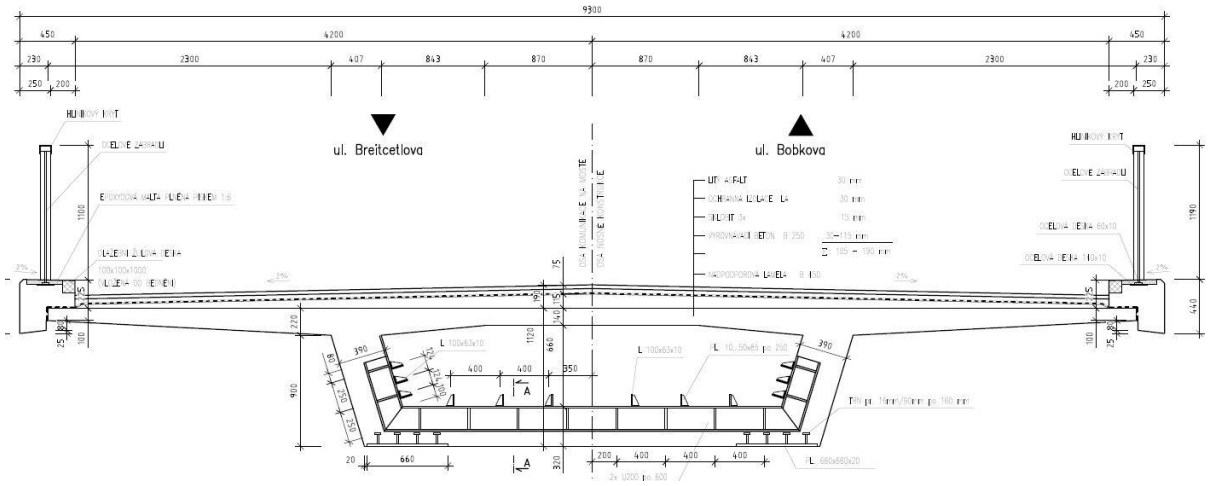
Běžná lamela (typ B) je umístěna v krajních polích a hlavním poli. Tato lamela tvoří nejpočetnější část nosné konstrukce. Lamela je komorového charakteru a je tvořena železobetonem.

Přechodová lamela (typ C) by měla být umístěna pouze před a za pilířem P02 a dále by se měla nacházet před a za pilířem P03. Podle PD z roku 1985 je prostorová charakteristika lamely shodná s lamelou typu A. Pouze v dolní desce a ve stěnách komory nejsou zabetonovány válcované ocelové profily žádného typu. Lamela typu C by tedy měla být ze železobetonu pouze s dolní deskou tloušťky 320 mm.

Nadpodporová lamela (typ A)

- délka lamely: 2,400 m
- šířka lamely: 8,840 m
- výška lamely: 1,120 m
- tloušťky spodní desky: 0,320 m

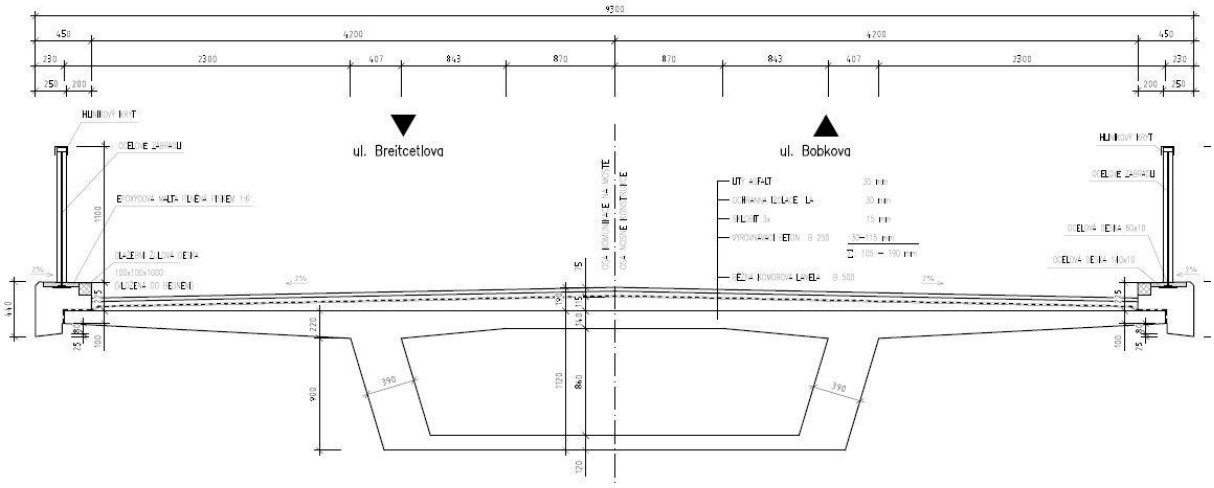
- ve spodní ŽB desce a v ŽB stěnách jsou zabetonovány 2 ks válcovaných U-profilů výšky 200 mm
- koncové lamely umístěné nad opěrami OP01 a OP04 by měly být z betonu třídy B 450
- nadpodporové lamely umístěné nad pilíři P02 a P03 by měly být provedeny z betonu třídy B 500
- komora lamely by měla být vyplněna železobetonem, třída betonu B 330
- mostovka je tvořena 4 ks těchto lamel typu A



Obr. 008 Řez komorou typu A

Běžná lamela (typ B)

- délka lamely: 2,400 m
- šířka lamely: 8,840 m
- výška lamely: 1,120 m
- tloušťky spodní desky: 0,120 m
- lamely by měly být provedeny z betonu třídy B 500
- mostovka je tvořena 21 ks lamel typu B (rozmístěno 6+9+6)
- lamela je komorového typu bez dodatečné dobetonávky



Obr. 009 Řez komorou typu B

Přechodová lamela (typ C)

- délka lamely: 2,400 m
- šířka lamely: 8,840 m
- výška lamely: 1,120 m
- tloušťky spodní desky: 0,320 m
- lamely by měly být provedeny z betonu třídy B 500
- mostovka je tvořena 4 ks lamel typu C
- lamela je komorového typu bez dodatečné dobetonávky
- přechodová lamela by měla být umístěna před a za lamelou typu A, která se nachází nad pilířem P02 a P03

Obr. 010 Čelní pohled na Pilíř P03 od Pilíře P02, detail spodního líce NK:
přechod lamely typu B na lamelu typu C a dále na lamelu typu A

1.3 Mostní svršek

Podle projektové dokumentace, která byla v době provádění hlavní mostní prohlídky k dispozici, a na základě informací, které byly dohledány v elektronické evidenci mostů vedené v systému BMS, by měla být skladba vozovky původní a v souladu s PD:

LITÝ ASFALT		tl. 30 mm
OCHRANNÁ IZOLACE	LA	tl. 30 mm
SKLOBIT 3x		tl. 15 mm
VYROVNÁVACÍ BETON	B 250	tl. 30 – 115 mm

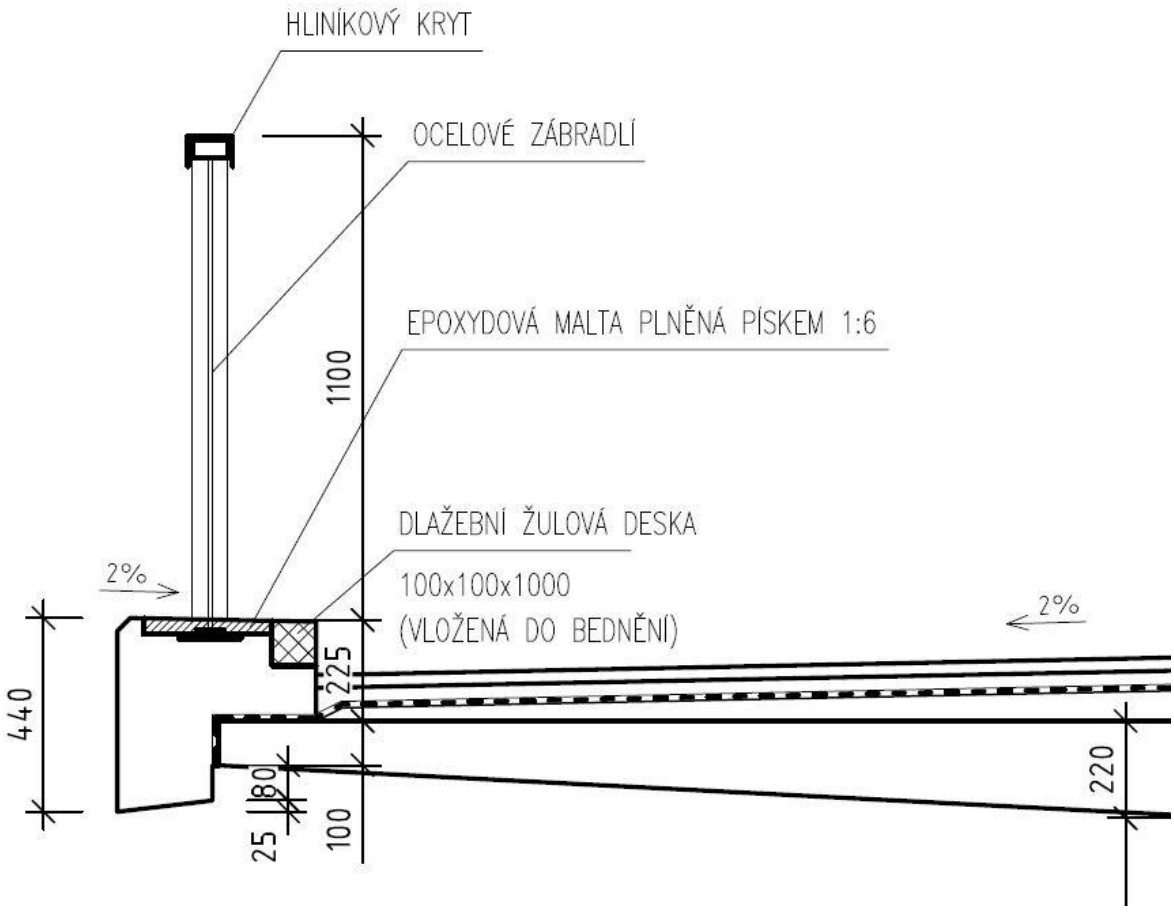
Horní deska, která tvoří jednotlivé lamely NK, nemá příčný spád. Příčný spád živičného krytu je zajištěn vrstvou vyrovnávacího betonu a činí 2%. Podélný spád lávky je zajištěn vzepětím segmentové nosné konstrukce. Na lávce se nenachází chodníky pouze velmi velkorysá vozovka sloužící primárně k pohybu chodců a ve výjimečných případech i k přejezdu složek IZS.

Obr. 011 Stávající situace na lávce X – 528, pohled od Opěry OP01

Obr. 012 Stávající situace na lávce X – 528, pohled od Opěry OP04

1.4 Vybavení mostu

Mostní objekt byl projektován s účelem, aby sloužil jako lávka pro pěší, byť s velkoryse navrženou vozovkou. Lávka Ocelkova – Bobkova je tedy vybavena pouze původním ocelovým zábradlím se svislou výplní a výškou 1,100 m. Dále je nutno zmínit odrazné obrubníky výšky 100 mm, které jsou tvořeny původními žulovými kostkami o rozměrech 100 x 100 x 100 mm. V tomto případě tvoří obrubníky především estetickou funkci a usměrňují odtékající srážkovou vodu z povrchu lávky. Po pravé i levé straně mostu se nachází železobetonová, monolitická římsa výšky 225 mm a šířky 450 mm / 230 mm, která je tvořena z provzdušněného betonu B 400. Provzdušnění betonu říms mělo být uvažováno v době realizace říms mezi intervalem 4 – 6 %.



Obr. 013 Detail provedené římsy na MO a ocelového zábradlí se svislou výplní

2. Hlavní mostní prohlídka

Protokol z hlavní mostní prohlídky je přiložen k této diplomové práci a jedná se o úřední dokument, který je již nyní oficiálně veden v mostní evidenci.

První mostní prohlídka, která byla pro tento MO dohledána je datována k 24.7.2009. Na této lávce proběhly pouze čtyři hlavní mostní prohlídky (včetně této HMP), což je s ohledem na statické fungování lávky a na platnou legislativu nedostačující. Jednotlivé hlavní mostní prohlídky se liší v popisu jednotlivých částí MO, proto je provedena tato podrobná a ucelená HMP, která dalece přesahuje požadavky ČSN.

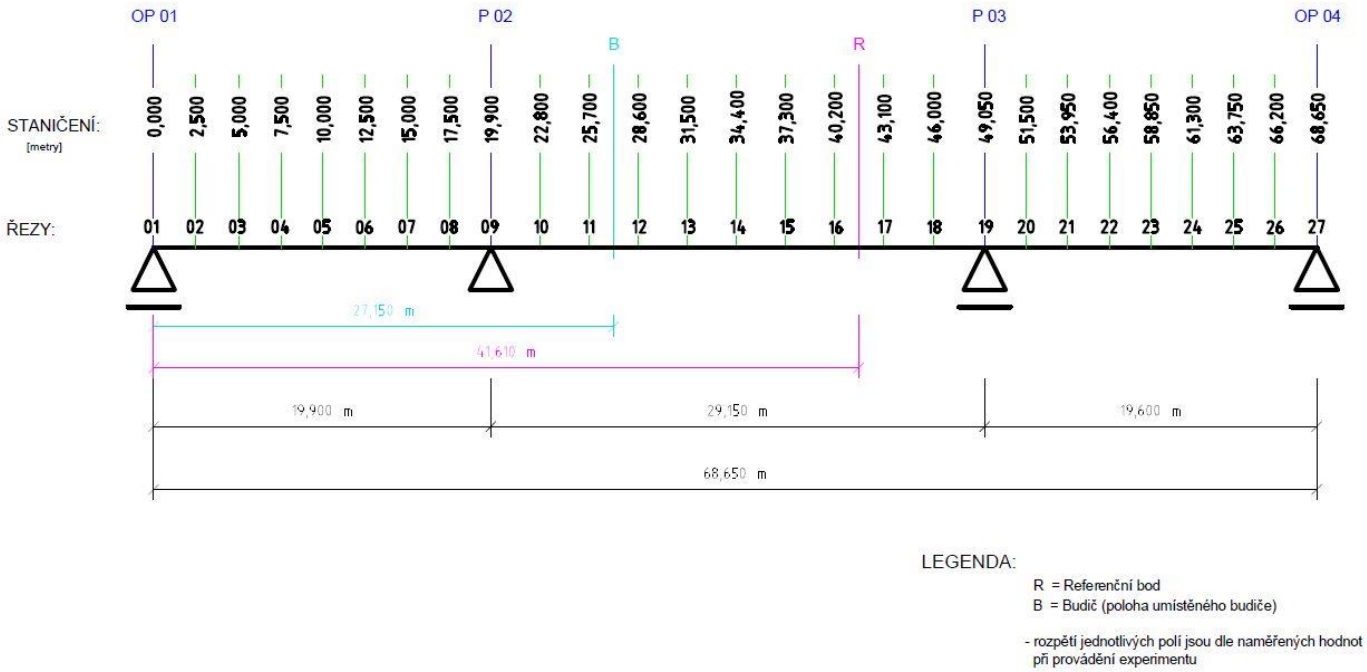
Nedostatečným bodem provedené současné HP je skutečnost, že nebyla provedena vizuální kontrola komorových lamel. Domnívám se, že izolace NK je poškozena a dochází k zatékání do NK, což může způsobovat korozi předpínací výztuže, která je v tomto případě, dle dohledaných informací, dominantním nosným prvkem segmentové nosné konstrukce. Jednotlivé segmenty NK by měly být navlečeny na společné předpínací výztuži, což vede ke „korálkovému působení NK“.

Dále je HP nejasná v bodech, kdy je popisováno založení a stavební provedení krajních opěr. Liší se:

1) v údajích, které jsou zakresleny ve výkresech z roku 11/1985;
2) v údajích, které jsou uváděny na dohledaných zbytcích TZ z roku 11/1985 a ve Statickém posudku přiloženém k PD z roku 11/1985;
3) v údajích uvedených v mostním listě a elektronické evidenci mostů.

Posledním rozporuplným bodem, který vznikl při provedení této HMP, je skutečnost, že poměr rozpětí jednotlivých polí NK není: 19,9 m + 29,0 m + 19,9 m. Při provádění dynamického experimentu došlo k rozměření délky a šířky NK. Bylo zjištěno nové statické působení rozpětí jednotlivých polí NK a sice v poměru: 19,9 m + 29,15 m + 19,6 m. Toto zjištění bylo dále zohledněno při tvorbě desko-stěnového 3D modelu.

3. Dynamický experiment prováděný na lávce X - 528



Obr. 014 Schéma rozmístění řezů v podélném směru

Obr. 015 Pohled na závaží s induktivními snímači zrychlení ve 3 na sebe kolmých směrech

3.1 Postup provádění měření v terénu

1) Lávka byla rozměřena v podélném směru podle schématu na Obr. 014.

2) V příčném směru byly na lávce rozměřeny polohy stěn komory.

3) Byl určen a rozměřen referenční bod měření přibližně v ¼ délky hlavního rozpětí a bod, do kterého byl umístěn budič. V tomto případě byl mechanický budič nahrazen vlastním impulzem vyvozeným lidskou silou, tzn. těleso o hmotnosti M vyvodilo budící sílu o velikosti F(t):

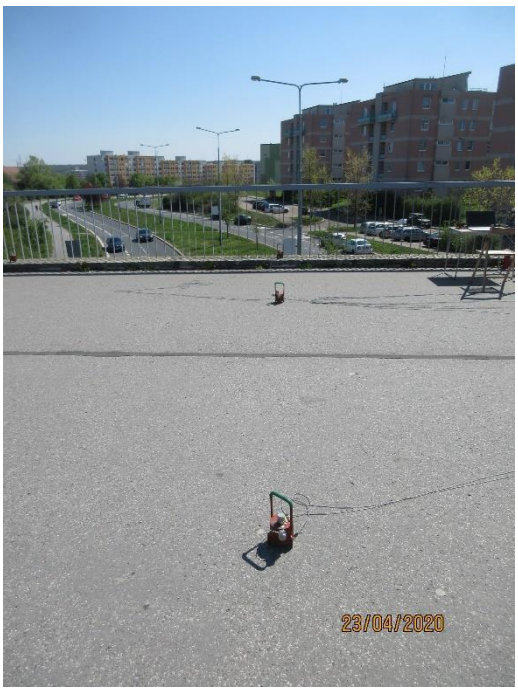
$F(t) = - M * a(t)$; kde a(t) je zrychlení kmitání budícího závaží = hmotnosti = lidské jednotky.

4) Byla sestavena měřící linka.

Obr. 016 Provizorní kalibrovaná měřící linka na lávce X – 528 se softwarem potřebným k vyhodnocování získaných údajů

Obr. 017 Kalibrovaná sběrnice dat z induktivních snímačů zrychlení napojená na notebook se softwarem potřebným k vyhodnocování získaných údajů

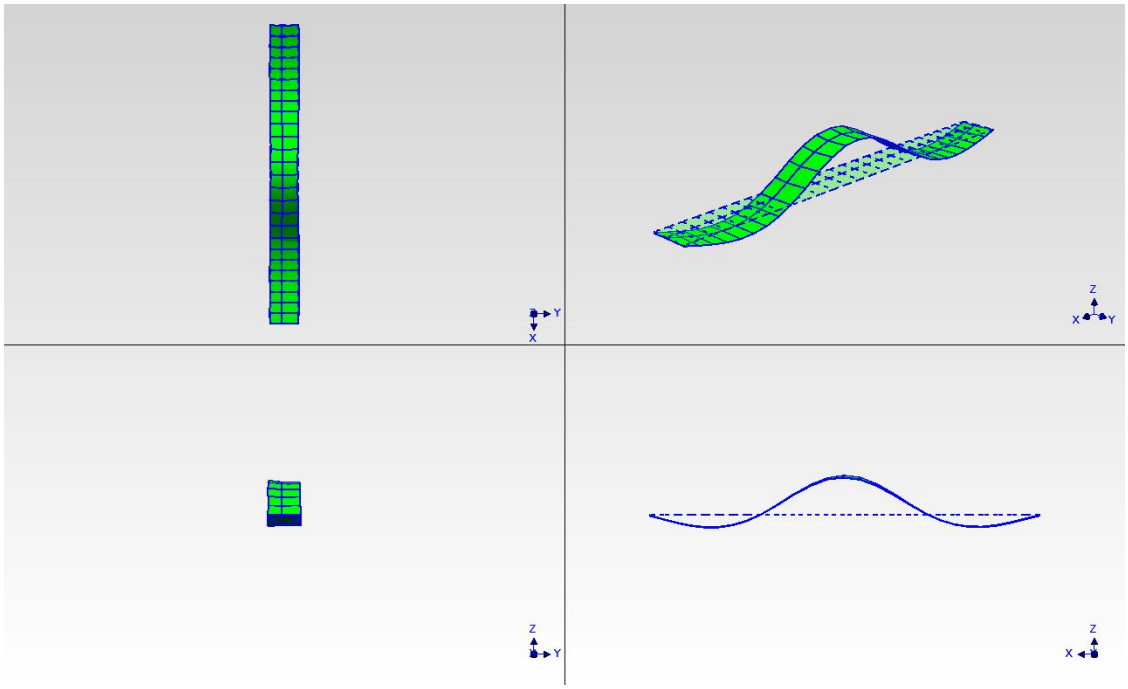
5) Do jednotlivých řezů byly postupně umisťovány induktivní snímače zrychlení a pro každý konkrétní řez bylo prováděno buzení lávky budičem, dokud v tomto konkrétním řezu nebylo měření vyhodnoceno jako dostačující. Buzení probíhalo po celou dobu experimentu v jednom konkrétním bodě dle Obr. 014.



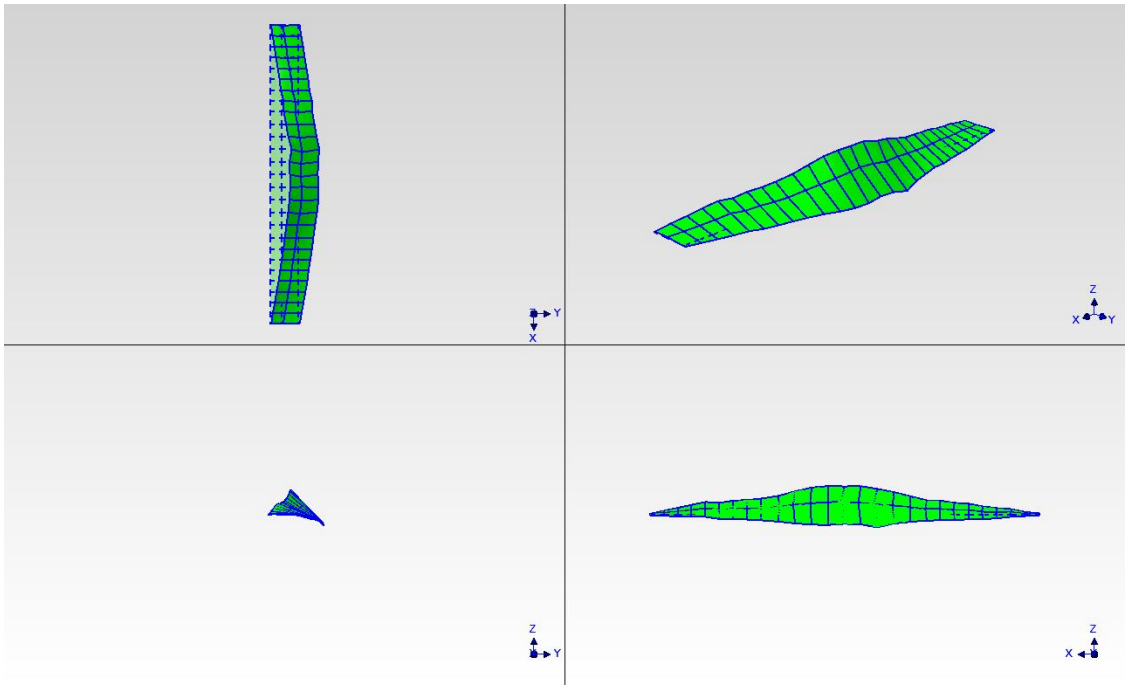
Obr. 018 Snímače zrychlení umístěné ve zkoumaném řezu

3.2 Grafický výstup z provedeného měření

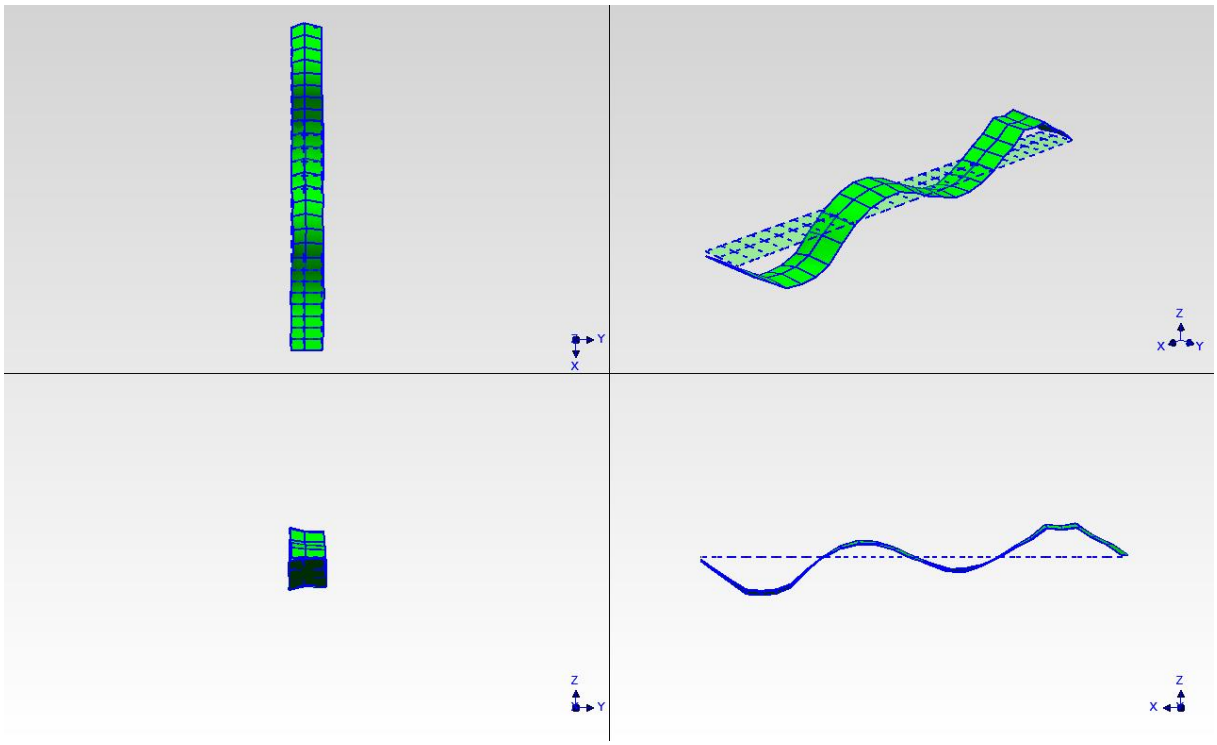
Vyhodnocení výsledků a sestavení grafických výstupů z naměřených hodnot v softwaru měřící linky pro jednotlivé vlastní tvary kmitání



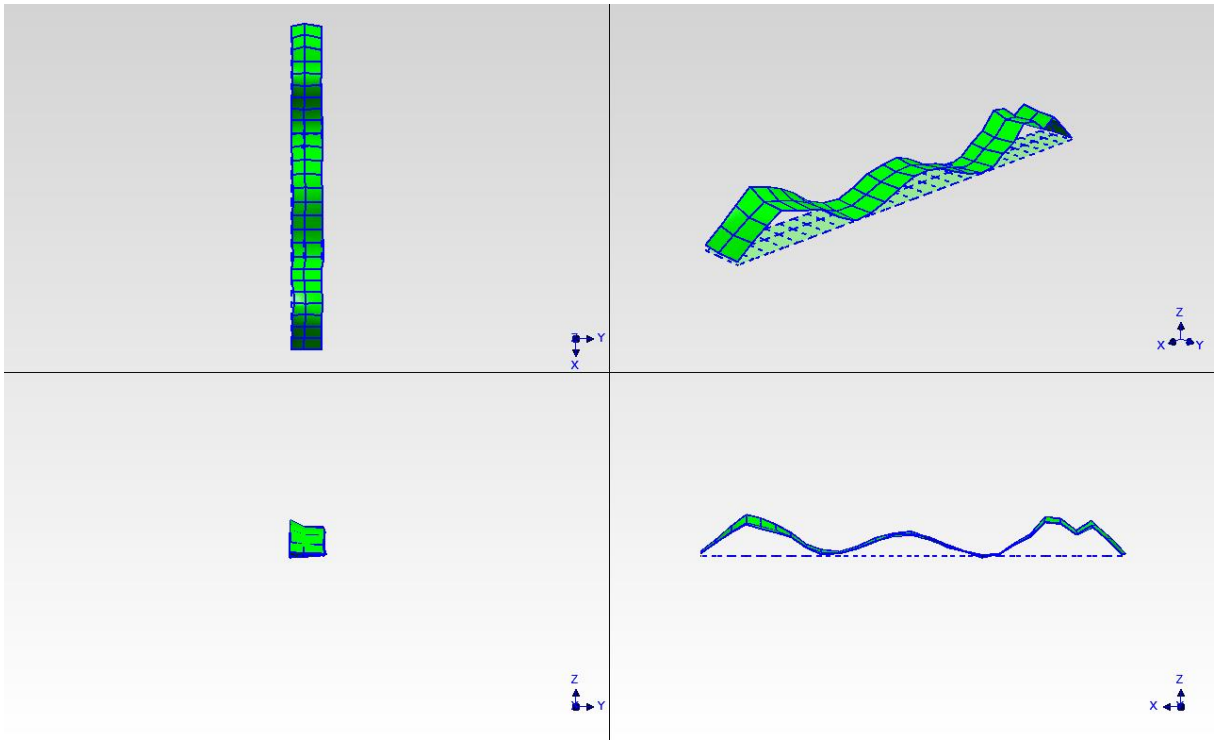
Obr. 019 První vlastní tvar svisle kmitající lávky, frekvence je rovna 3,72 Hz



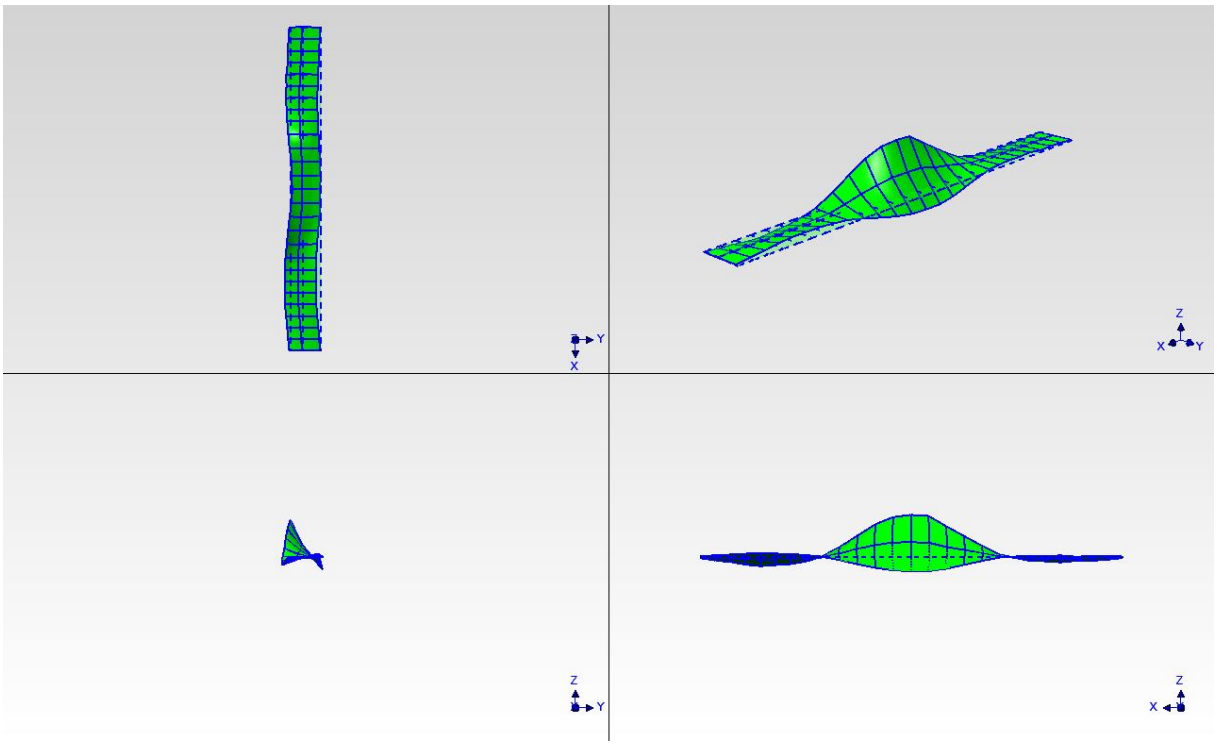
Obr. 020 První vlastní tvar pro kroucení, frekvence je rovna 5,41 Hz



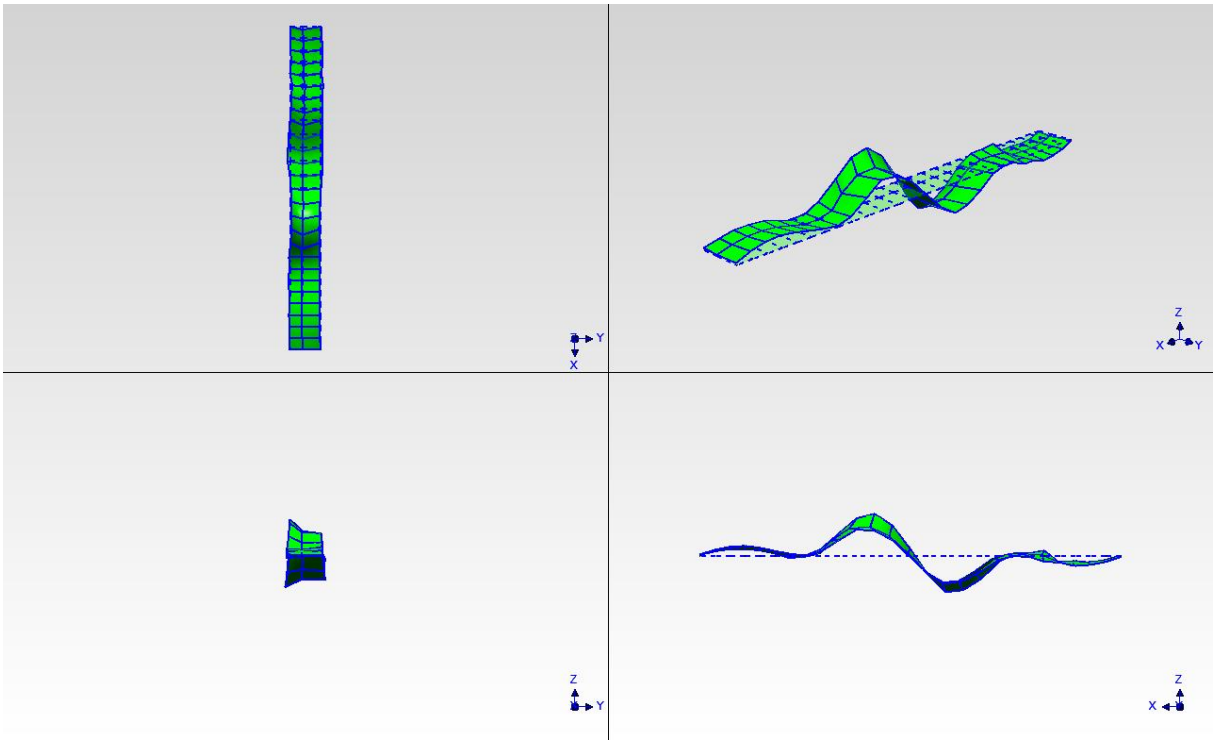
Obr. 021 Druhý vlastní tvar svisle kmitající lávky, frekvence je rovna 6,44 Hz



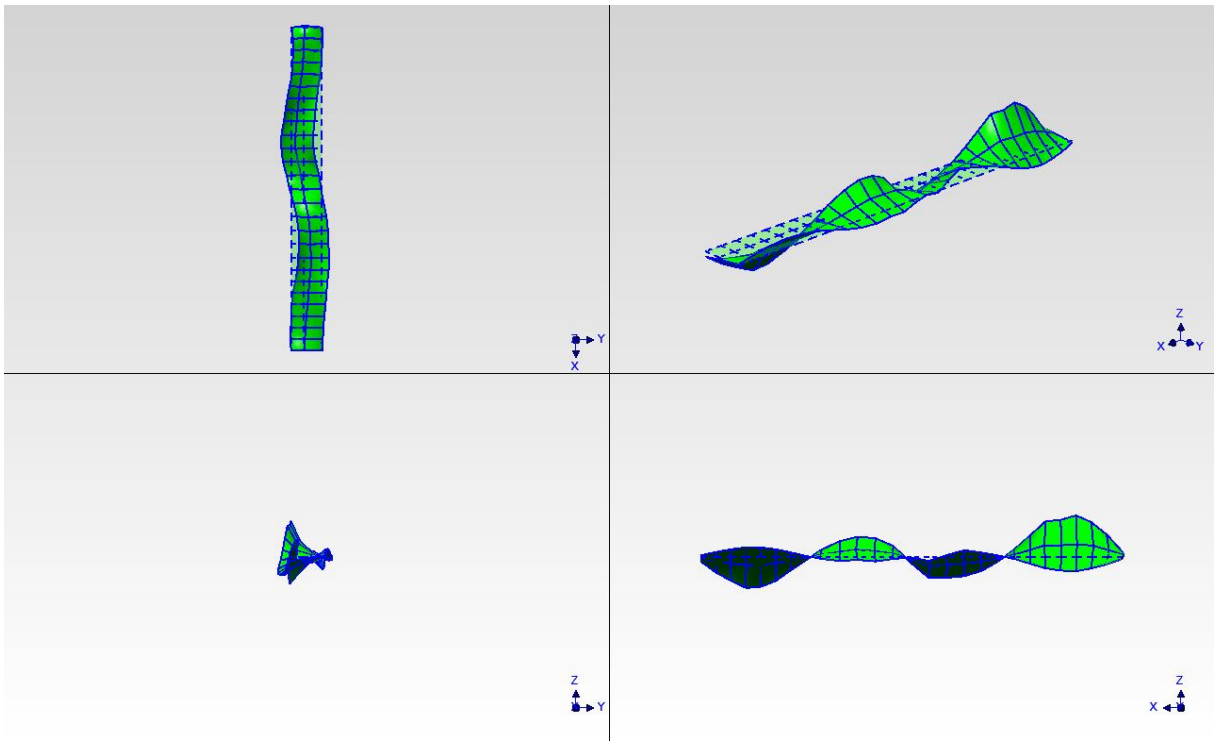
Obr. 022 Třetí vlastní tvar svisle kmitající lávky, frekvence je rovna 7,56 Hz



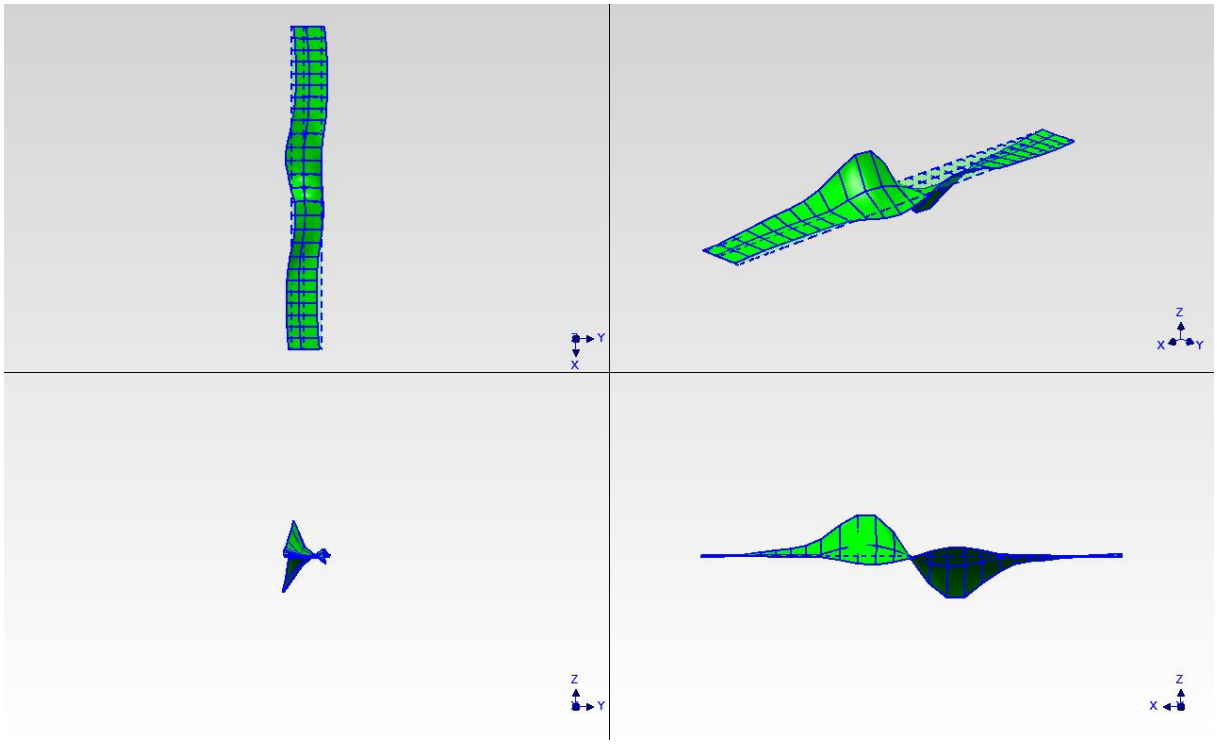
Obr. 023 Druhý vlastní tvar pro kroucení, frekvence je rovna 9,42 Hz



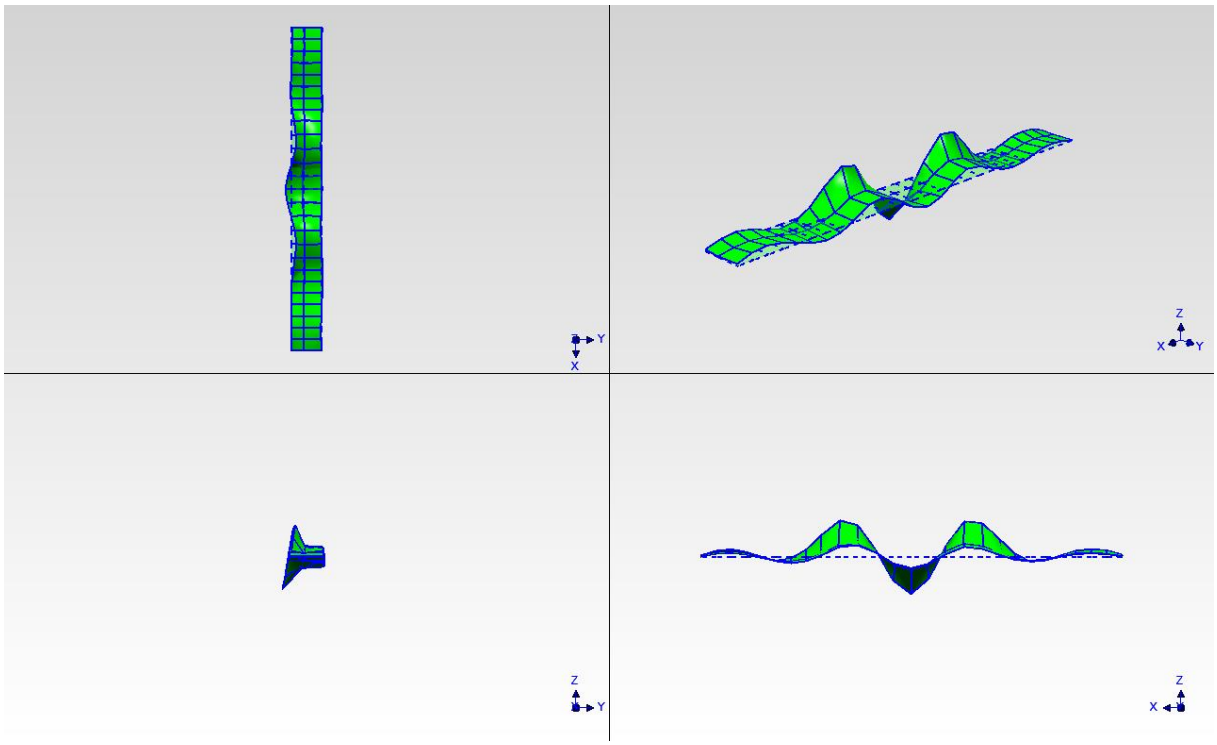
Obr. 024 Čtvrtý vlastní tvar svisle kmitající lávky, frekvence je rovna 10,70 Hz (± 0,2 Hz)



Obr. 025 Třetí vlastní tvar pro kroucení, frekvence je rovna 12,97 Hz



Obr. 026 Čtvrtý vlastní tvar pro kroucení, frekvence je rovna 15,12 Hz

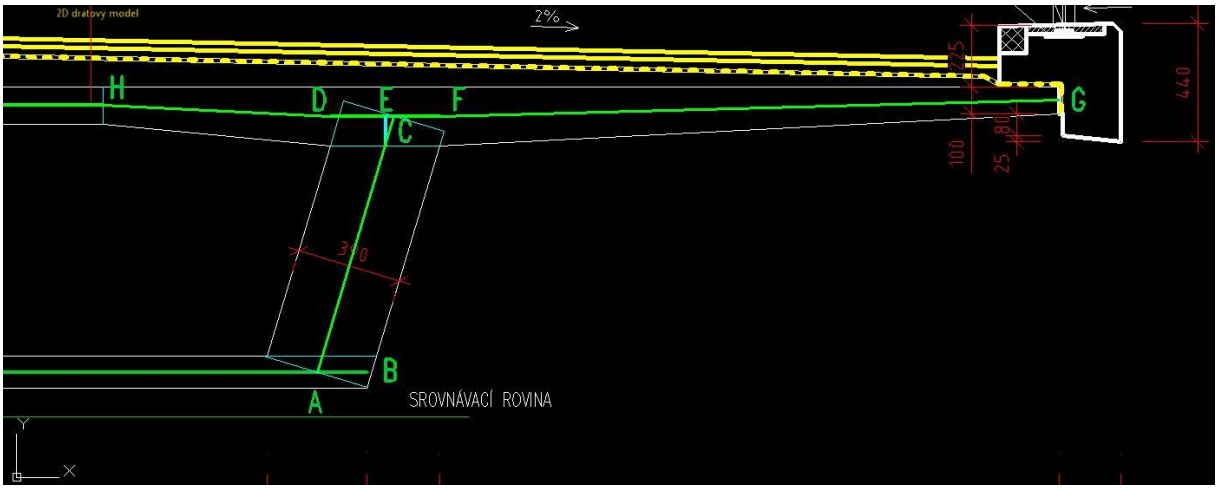


Obr. 027 Pátý vlastní tvar pro kroucení, frekvence je rovna 17,56 Hz

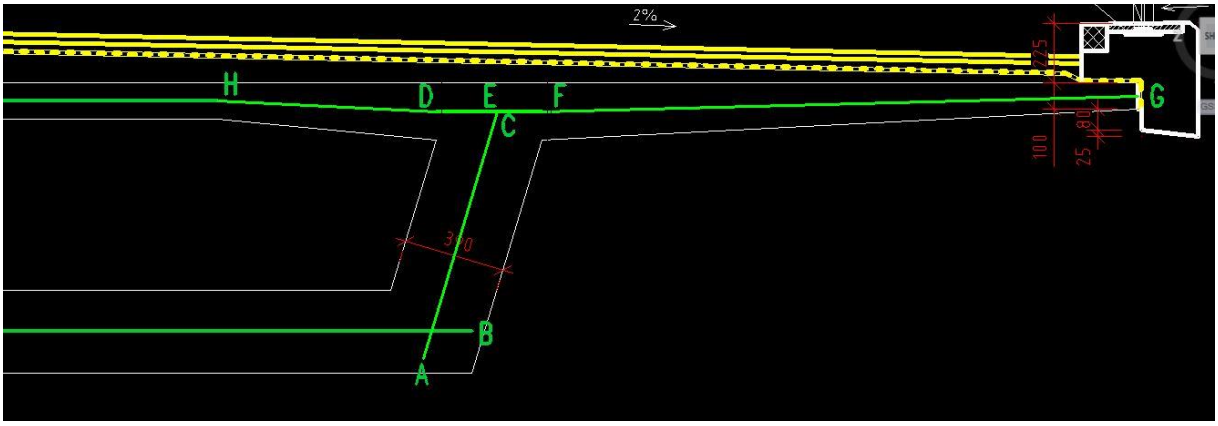
3.3 Sestavení desko-stěnového 3D modelu

Pro vytvoření desko-stěnového 3D modelu je využit výpočetní software od společnosti Dlubal Software, s.r.o., kde mi byla zapůjčena studentská licence a studentský přístup k přídavným modulům.

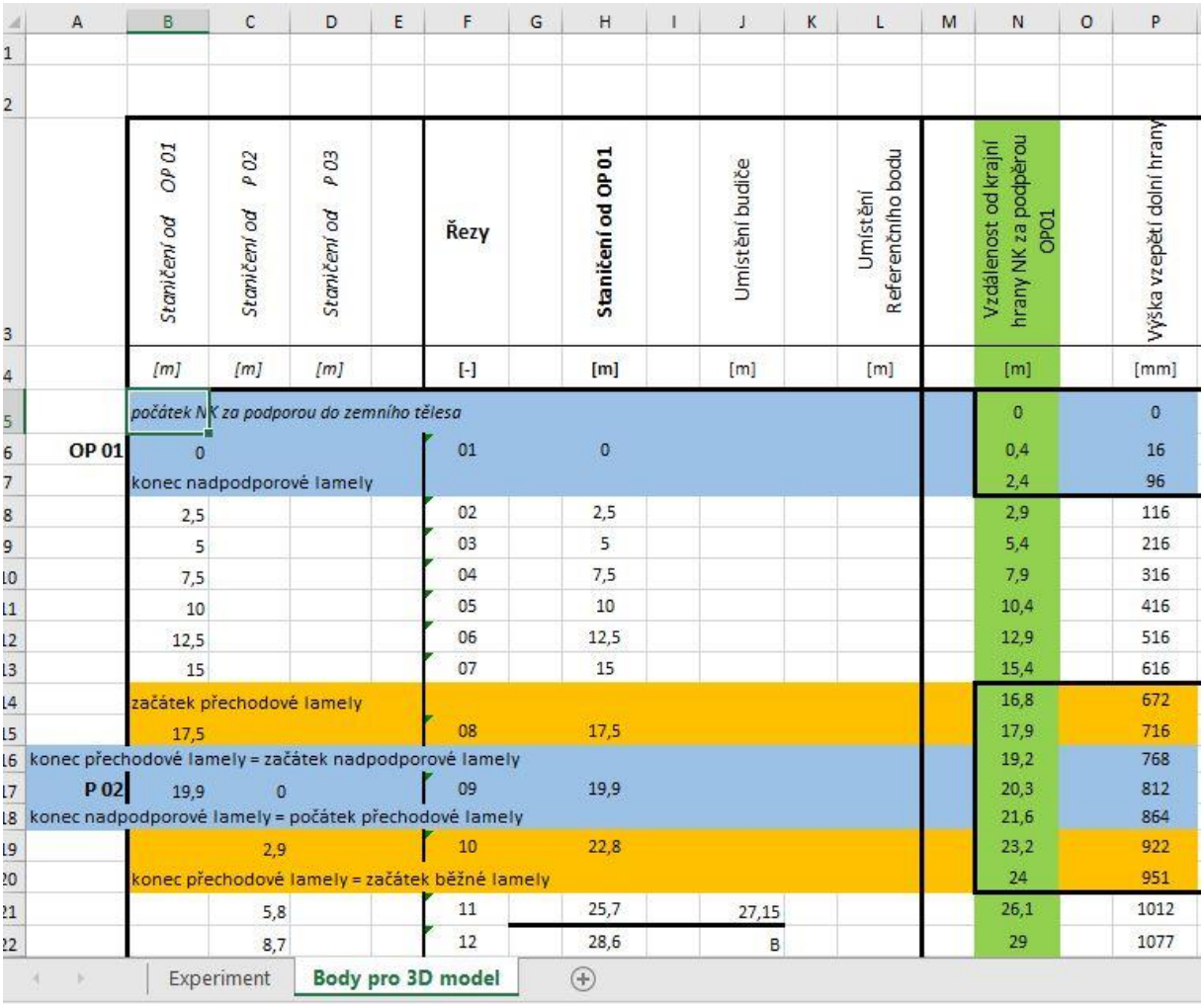
Před samotným sestavením 3D modelu v programu RFEM od společnosti Dlubal Software, s.r.o. byl využit grafický software AutoCAD 2014 a Excel 2016 k vytvoření přesného vzepětí dolního líce NK a následného dopočítání charakteristických bodů střednice jednotlivých typů průřezů = lamel NK.



Obr. 028 Běžná lamela v AutoCADu 2014 – charakteristické body střednice pro 3D model



Obr. 029 Přechodová / Nadpodporová lamela v AutoCADu 2014 – charakteristické body střednice pro 3D model



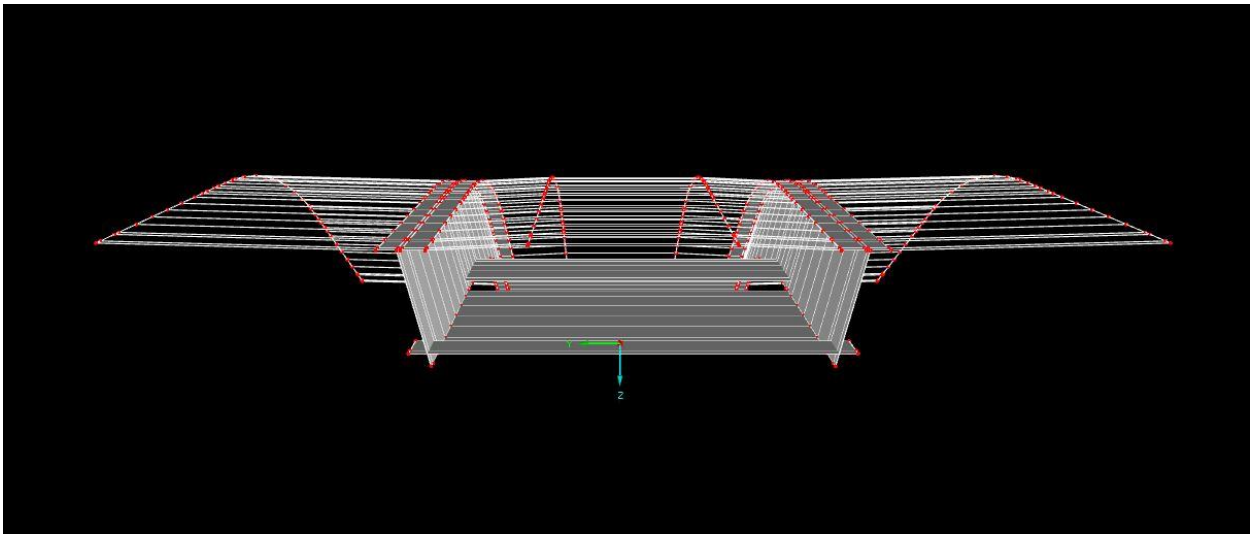
	A	B	C	D	F	H	J	L	N	P
3		Staničení od OP 01	Staničení od P 02	Staničení od P 03	Řezy	Staničení od OP 01	Umístění budiče	Umístění Referenčního bodu	Vzdálenost od krajní hrany NK za podpěrou OP01	Výška vzepětí dolní hrany
4		[m]	[m]	[m]	[-]	[m]	[m]	[m]	[m]	[mm]
5		*počátek NK za podporou do zemního tělesa*							0	0
6	**OP 01**	0			01	0			0,4	16
7		konec nadpodporové lamely							2,4	96
8		2,5			02	2,5			2,9	116
9		5			03	5			5,4	216
10		7,5			04	7,5			7,9	316
11		10			05	10			10,4	416
12		12,5			06	12,5			12,9	516
13		15			07	15			15,4	616
14		začátek přechodové lamely							16,8	672
15		17,5			08	17,5			17,9	716
16	konec přechodové lamely = začátek nadpodporové lamely								19,2	768
17	**P 02**	19,9	0		09	19,9			20,3	812
18	konec nadpodporové lamely = počátek přechodové lamely								21,6	864
19			2,9		10	22,8			23,2	922
20		konec přechodové lamely = začátek běžné lamely							24	951
21			5,8		11	25,7	27,15		26,1	1012
22			8,7		12	28,6	B		29	1077

Experiment | **Body pro 3D model**

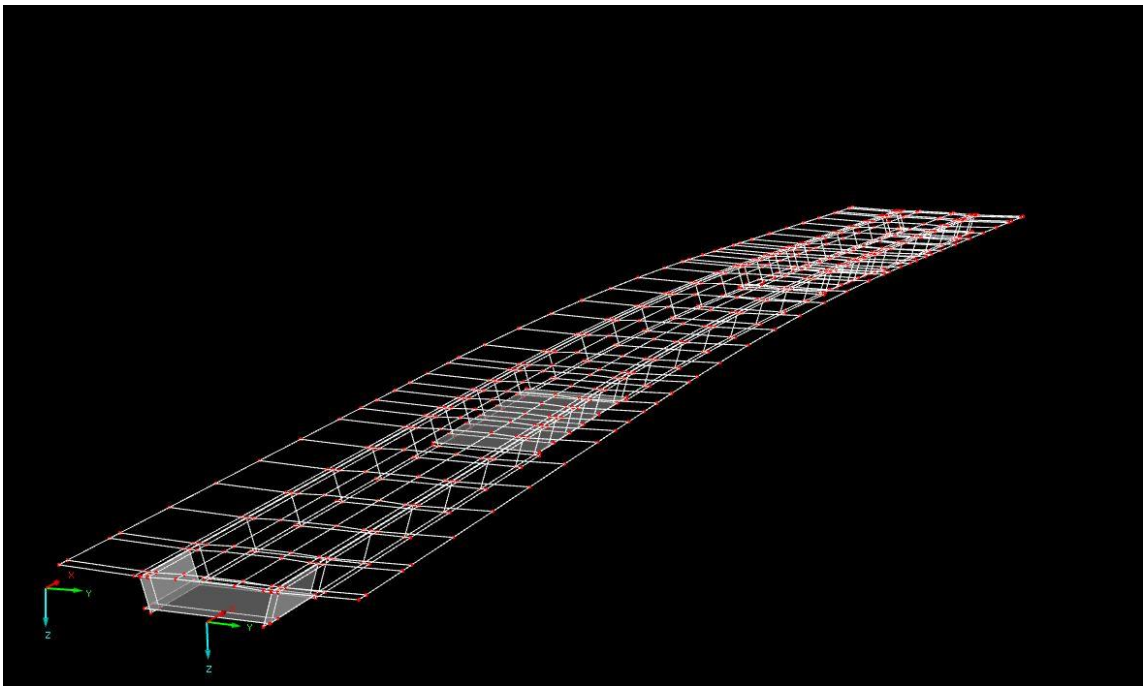
Obr. 030 Stanovení přesného vzepětí pro desko-stěnový 3D model (pro první krajní pole)

P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE
		Z s mínus						Y s plus							
Výška vzepětí dolní hrany		Poloha dolní střednice spodní desky komory ve svislé ose NK	Výška pro střednici k C,D,E,F	Výška pro střednici k G	Výška pro střednici k H	Speciální výška pro A v případě jiné lamely než běžné		A	B	C	D	E	F	G	H
[mm]		[mm]	[mm]	[mm]	[mm]			[mm]							
0		160	1010	1070	1050	56		1663	1850						
16		176	1026	1086	1066	72		1663	1850						
96		256	1106	1166	1146	152		1663	1850						
116		176	1126	1186	1166			**1665**	**1850**	**1950**	**1713**	**1917**	**2120**	**4420**	**870**
216		276	1226	1286	1266										
316		376	1326	1386	1366										
416		476	1426	1486	1466										
516		576	1526	1586	1566										
616		676	1626	1686	1666			**1665**	**1850**	**1950**	**1713**	**1917**	**2120**	**4420**	**870**
672		832	1682	1742	1722	728		1663	1850						
716		876	1726	1786	1766	772		1663	1850						
768		928	1778	1838	1818	824		1663	1850						
812		972	1822	1882	1862	868		1663	1850						
864		1024	1874	1934	1914	920		1663	1850						
922		1082	1932	1992	1972	978		1663	1850						
951		1111	1961	2021	2001	1007		1663	1850						
1012		1072	2022	2082	2062			**1665**	**1850**	**1950**	**1713**	**1917**	**2120**	**4420**	**870**
1077		1137	2087	2147	2127										

Obr. 031 Stanovení přesného vzepětí pro desko-stěnový 3D model (pro první krajní pole)



Obr. 032 Tvorba desko-stěnového 3D modelu v RFEM Dlubal Software, s.r.o.

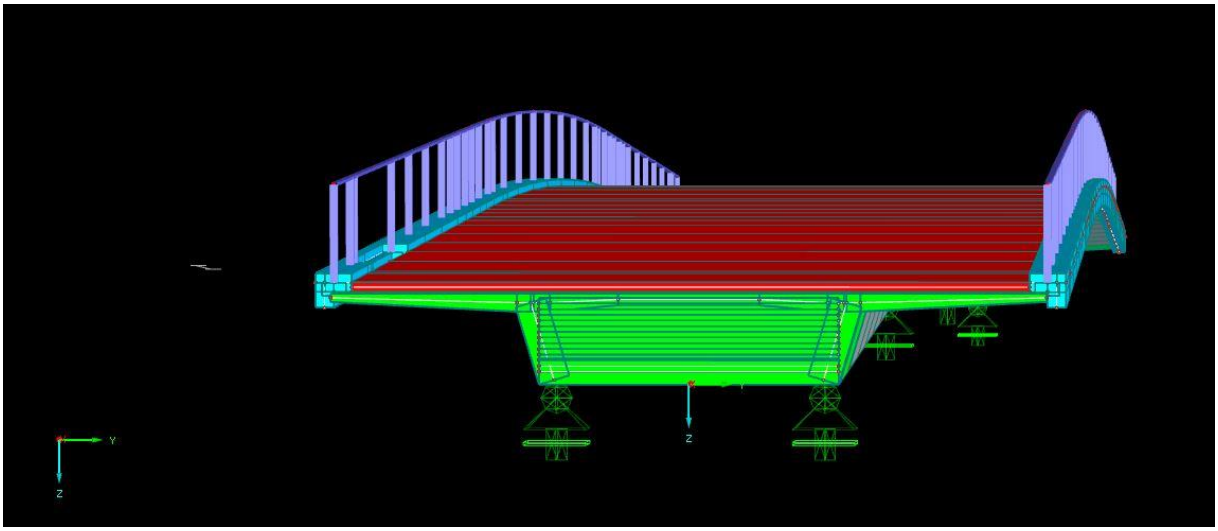


Obr. 033 Tvorba desko-stěnového 3D modelu v RFEM Dlubal Software, s.r.o.

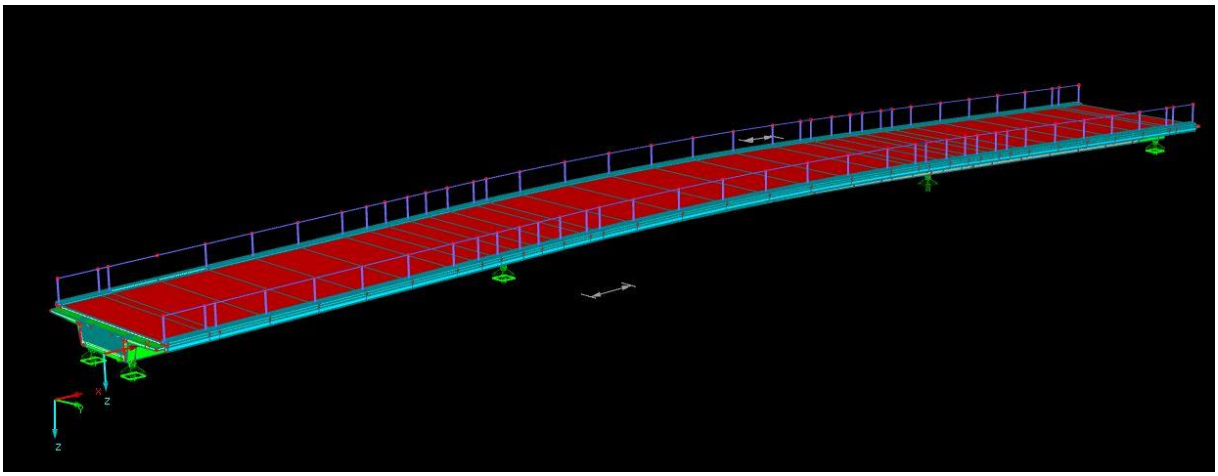
3.4 Grafický výstup z desko-stěnového 3D modelu

Sestavený desko-stěnový model v RFEM s přídavným modulem pro dynamickou analýzu RF-DYNAM Pro je sestaven a funguje relativně správně.

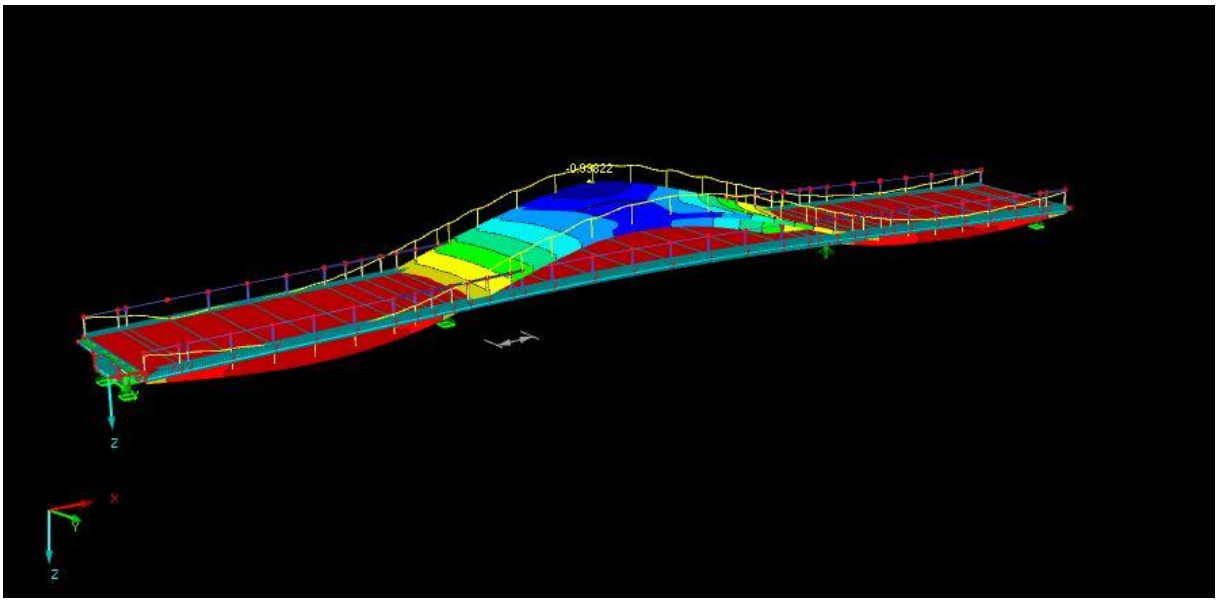
Výstupní hodnoty jednotlivých frekvencí z desko-stěnového 3D modelu se oproti měření na lávce liší. V rámci této diplomové práce nebyla dokončena verifikace modelu.



Obr. 034 Vymodelovaná komorová mostovka, lamela typ A nad OP01, se římsami, vozovkovým souvrstvím a ocelovým zábradlím



Obr. 035 Desko-stěnový 3D model v programu RFEM, podélný pohled na MO



Obr. 036 První vlastní tvar od svislého kmitání v 3D modelu RFEM, frekvence = 2,588 Hz

4. Závěr diplomové práce

Byla provedena HMP v souladu se všemi platnými normami a předpisy České republiky, která byla zavedena do elektronické mostní evidence v BMS systému. Z provedené HMP vyplývá, že je nutno provést především diagnostiku vnitřních prostor komorové mostovky, tzn. mechanické odstranění svarů na vstupních plechových poklopech, a zároveň je nutné se zaměřit na stav předpínací výztuže a možnost, že dochází k zatékání mezi jednotlivými prefabrikovanými segmenty nosné konstrukce.

Závady, které byly na MO zjištěny a zavedeny do BMS systému včetně doporučení, jak mají být odstraněny, budou projednány se správcem MO na Mostním oddělení TSK hl. m. Prahy, a.s.

Dynamickým experimentem bylo prokázáno, že vlastní frekvence lávky leží mimo krokovou frekvenci chodců. Při prováděném experimentu v terénu na lávce X – 528 byly simulovány nepříznivé zatěžovací stavy, které měly vést k rozkmitání lávky. Lávku se v těchto stavech podařilo rozkmitat s minimální amplitudou vůči použitému budiči (hmotnost 3 dospělých mužských osob). Lze konstatovat, že lávka je dostatečně odolná pro další využívání chodci.

Vytvořený desko-stěnový 3D model prokázal, že vlastní frekvence a vlastní kmitání lávky X – 528 leží mimo krokovou frekvenci chodců a vyvolání takového kmitání je možné pouze cíleně například při vandalismu velkého rozsahu. Nicméně musím konstatovat, že se nepodařilo dostatečně přesně naladit vytvořený 3D model s naměřenými hodnotami při provedeném dynamickém experimentu na lávce. Pro naladění desko-stěnového modelu je potřeba delší časové období, je nutné prozkoumat, jak přesně byla dodržena PD, ze které jsem čerpal a na základě které byl 3D model vytvořen. Závěrem konstatuji, že verifikace modelu není dostačující a bylo by nutné zjistit a podrobněji prozkoumat, proč se liší naměřené hodnoty z experimentu provedeného v terénu a získané hodnoty kmitání z desko-stěnového 3D modelu.

Použitá literatura, zdroje

MP: Oprávnění k výkonu prohlídek mostních objektů pozemních komunikací; listopad 2016

ČSN 73 6200 Mosty – Terminologie a třídění; červenec 2011

ČSN 73 6220 Evidence mostních objektů pozemních komunikací; březen 2011

ČSN 73 6221 Prohlídky mostů a pozemních komunikací; leden 2018

ČSN 73 6222 Zatížitelnost mostů pozemních komunikací; červenec 2013

ČSN 73 6222 ZMĚNA Z1 Zatížitelnost mostů pozemních komunikací; červenec 2015

Projektová dokumentace stavby z roku 11/1985 (zapůjčeno v archivu TSK hl. m. Prahy, a.s.)

Elektronická mostní evidence vedená v systému BMS

POLÁK, Michal. *Experimentální ověřování konstrukcí*

Seznam použitých zkratek

a.s.	Akciová společnost
B	Označení pro beton
Bc.	Bakalářský titul
BMS	Systém pro mostní evidenci / Systém pro hospodaření s mosty
CSc.	Vědecký titul, kandidát věd
ČR	Česká republika
ČSN	Česká státní norma
D, d	Délka / délka (obvykle myšlena v metrech, případně je jednotka doplněna)
hl. m.	Hlavní město
HMP	Hlavní mostní prohlídka
HP	Hlavní prohlídka
Ing.	Inženýrský titul
IZS	Integrovaný záchranný systém / integrované záchranné složky
ks	počet kusů, kusy
LA	Litý asfalt
LM	Levá strana mostního objektu
m	Zkratka pro jednotku metru
MD	Ministerstvo dopravy
ML	Mostní ložisko, mostní ložiska
MO	Mostní objekt
MP	Metodický pokyn
NK	Nosná konstrukce
Obr.	Obrázek
OP	Opěra
P	Pilíř
PD	Projektová dokumentace
Ph.D.	Doktorský titul
PKO	Protikorozní ochrana
PM	Pravá strana mostního objektu
prof.	Profesor
reg. č.	Registrační číslo
Š, š	Šířka / šířka (obvykle myšlena v metrech, případně je jednotka doplněna)

tj.	To je / tak jest
tl.	Tloušťka vrstvy, tloušťka
TSK	Technická správa komunikací hl. m. Prahy, a.s.
TZ	Technická zpráva
tzn.	To znamená
X	Označení silničního mostu / lávky pro pěší (speciální evidenční číslování MO ve správě TSK hl. m. Prahy, a.s.)
ŽB	Železobeton

Seznam obrázků

Obr. 001 Boční pohled na pravou stranu lávky X – 528 10
Obr. 002 Boční pohled na pravou stranu lávky X – 528 11
Obr. 003 Boční pohled na pravou stranu lávky X – 528 12
Obr. 004 Pohled na Opěru OP01 15
Obr. 005 Pohled na Opěru OP04 15
Obr. 006 Pohled na Pilíř P03 16
Obr. 007 Pohled na Pilíř P03 17
Obr. 008 Řez komorou typu A 19
Obr. 009 Řez komorou typu B 20
Obr. 010 Čelní pohled na Pilíř P03 od Pilíře P02 21
Obr. 011 Stávající situace na lávce X – 528 22
Obr. 012 Stávající situace na lávce X – 528 22
Obr. 013 Detail provedené římsy na MO a ocelového zábradlí se svislou výplní 23
Obr. 014 Schéma rozmístění řezů v podélném směru 25
Obr. 015 Pohled na závaží s induktivními snímači zrychlení ve 3 na sebe kolmých směrech 25
Obr. 016 Provizorní kalibrovaná linka 26
Obr. 017 Kalibrovaná sběrnice dat 27
Obr. 018 Snímače zrychlení umístěné ve zkoumaném řezu 27
Obr. 019 První vlastní tvar svisle kmitající lávky 28
Obr. 020 První vlastní tvar pro kroucení 28
Obr. 021 Druhý vlastní tvar svisle kmitající lávky 29
Obr. 022 Třetí vlastní tvar svisle kmitající lávky 29
Obr. 023 Druhý vlastní tvar pro kroucení 30
Obr. 024 Čtvrtý vlastní tvar svisle kmitající lávky 30
Obr. 025 Třetí vlastní tvar pro kroucení 31
Obr. 026 Čtvrtý vlastní tvar pro kroucení 31
Obr. 027 Pátý vlastní tvar pro kroucení 32
Obr. 028 Běžná lamela v AutoCADu 2014 33
Obr. 029 Přechodová / Nadpodporová lamela v AutoCADu 2014 33
Obr. 030 Stanovení přesného vzepětí pro desko-stěnový 3D model 34
Obr. 031 Stanovení přesného vzepětí pro desko-stěnový 3D model 35

Obr. 032 Tvorba desko-stěnového 3D modelu v RFEM …… 35
Obr. 033 Tvorba desko-stěnového 3D modelu v RFEM …… 36
Obr. 034 Vymodelovaná komorová mostovka …… 36
Obr. 035 Desko-stěnový 3D model v programu RFEM …….. 37
Obr. 036 První vlastní tvar od svislého kmitání v 3D modelu RFEM ……. 37