

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

---

Fakulta stavební

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

### Chování Losího mostu při účinku brzdných sil

Studijní program: Stavební inženýrství  
Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby  
Vedoucí práce: doc. Ing. Pavel RYJÁČEK, Ph.D.

**Vypracoval: Bc. Jan Krúpa**

Praha

2017



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Tháškova 7, 166 29 Praha 6

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Krúpa

Jméno: Jan

Osobní číslo: 395678

Zadávací katedra: Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Chování Losiho mostu při účinku brzdných sil

Název diplomové práce anglicky: Behaviour of the Elk bridge under brake forces

Pokyny pro vypracování:

Vyhodnocení brzdných zkoušek Losiho mostu se zaměřením na interakci kolej/most a reálnou tuhost spodní stavby a založení, tvorba nelineárního numerického modelu, validace a verifikace a srovnání s experimentem. Zhodnocení chování mostu.

Seznam doporučené literatury:

Fryba, L. Dynamika železničních mostů. 1. vyd. Praha: Academia, 1992. 328 s. ISBN 80-200-0262-6

Jméno vedoucího diplomové práce: doc. Ing. Pavel Ryjáček, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 3.10.2016

Termín odevzdání diplomové práce: 8.1.2017

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

3.10.16

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze, 8. 1. 2017

Podpis:

**Poděkování:**

Rád bych poděkoval doc. Ing. Pavlu Ryjáčkovi, Ph.D. za trpělivost, cenné připomínky a rady, bez nichž by práce v této podobě nemohla vzniknout. Zároveň bych chtěl poděkovat Ing. Karlu Karmazínovi ze společnosti Inset s.r.o. za jeho pomoc a odborné rady při vyhodnocování výsledků měření.



## **Anotace**

Tato diplomová práce se zabývá vyhodnocením brzdných zatěžovacích zkoušek železničního ocelového mostu mezi obcemi Dynín a Horusice, známém také pod názvem „Losí most“. Tento most byl založen do velmi obtížných geologických podmínek, a tak byla projektantem navržena zatěžovací zkouška pro ověření dostatečné tuhosti spodní stavby při účinku vodorovných brzdných sil. První část práce je věnována popisu mostu a zatěžovací zkoušce. Ve druhé části je popsán způsob vyhodnocení zkoušek a třetí část práce se zabývá numerickým modelem a jeho validace za účelem přiblížení se skutečnému chování mostu. Na tomto modelu je poté sledována odezva konstrukce na zkušební zatížení.

## **Klíčová slova**

zatěžovací zkouška, CSiBridge, brzdná zkouška, bezстыková kolej, ocelový most, Losí most

## **Abstract**

The aim of this thesis is to evaluate braking load tests of the steel railway bridge between Dynín and Horusice towns, also known as the "Elk bridge". This bridge was based in very difficult geological conditions, which was the reason why the designer proposed the load test to verify the stiffness of the substructure under the effect of horizontal braking forces. The first part of the thesis is devoted to the description of the bridge and load test. The second section describes the evaluation method and the third part deals with the numerical model and validation, to be as close as possible to the real behaviour of the bridge. This model then serves to observe the construction response to the test load.

## **Keywords**

load test, CSiBridge, the braking test, the continuous welded track, steel bridge, Elk bridge

# Obsah

---

1	Cíle práce.....	1
2	Úvod.....	2
3	Popis mostu .....	3
3.1	Základní údaje mostu .....	3
3.1.1	Charakteristiky konstrukce .....	4
3.1.2	Geometrická poloha koleje.....	5
3.2	Železniční svršek na objektu.....	5
3.3	Prostorové uspořádání pod objektem.....	6
3.4	Hlubinné základy opěr a pilířů.....	6
3.4.1	Piloty opěr.....	6
3.4.2	Piloty pod pilíři .....	6
3.5	Základy pilířů a opěr .....	7
3.6	Spodní stavba - opěry a pilíře .....	8
3.6.1	Dřívky pilířů .....	8
3.6.2	Dřívky opěr.....	8
3.7	Nosná konstrukce.....	9
3.8	Ložiska.....	11
3.9	Mostní závěry a podélná spára.....	11
3.10	Geotechnické poměry.....	14
4	Zatěžovací zkoušky - brzdné a rozjezdové síly.....	16
4.1	Zkušební zatížení .....	16
4.2	Poloha zkušebního zatížení.....	17
4.3	Přehled zatěžovacích stavů .....	17
5	Měřená místa .....	20
5.1	Rozpis hlavních měřených míst:.....	20

6	Popis systému měření .....	23
6.1	Měření přetvoření v patě pilíře .....	23
6.2	Měření přetvoření (napětí) na kolejnici .....	24
6.3	Měření relativních posunů O/NK, P/NK .....	26
6.4	Měření relativních posunů koleje a NK .....	27
6.5	Měření teploty .....	27
6.6	Měření absolutních deformací pilířů radarovou interferometrií InSAR .....	28
6.7	Synchronizace měřících zařízení .....	30
6.8	Měřicí počítače .....	31
6.9	Značení snímačů .....	32
7	Vyhodnocení měření .....	35
7.1	Měření rychlosti a zrychlení lokomotiv .....	36
7.1.1	Teorie .....	36
7.1.2	Vyhodnocené časové průběhy pohybu lokomotiv z vybraných testů .....	38
7.1.3	Názorné vykreslení výsledků napětí na pilířích .....	44
7.1.4	Relativní posun mezi pilířem/opěrou a nosnou konstrukcí .....	44
7.1.5	Absolutní pohyb pilířů .....	45
7.1.6	Relativní pohyb kolejnice vůči opěře .....	47
7.2	Výpočet brzdných a rozjezdových sil .....	48
7.2.1	Výpočet brzdných sil .....	48
7.2.2	Výpočet rozjezdových sil .....	50
7.2.3	Zhodnocení výsledků brzdných a rozjezdových sil .....	50
7.3	Další vyhodnocené grafy .....	51
7.3.1	Brzdné síly .....	51
7.3.2	Grafy zatížení B019 (ZS 211) - h 21:00 .....	56
7.3.3	Grafy zatížení B038 (ZS 321) - h 00:45 .....	61
8	Numerický model .....	66

8.1	Úvod.....	66
8.2	Model .....	66
8.3	Materiály .....	67
8.4	Hlavní nosné prvky konstrukce .....	67
8.4.1	Hlavní nosníky.....	68
8.4.2	Dřík.....	68
8.4.3	Základové desky pilířů .....	69
8.4.4	Kolejnice.....	69
8.4.5	Piloty.....	70
8.5	Ložiska.....	71
8.5.1	Výpočet tření .....	71
8.5.2	Princip modelování ložisek na opěrách .....	72
8.5.3	Ložiska na pilíři P1 a P3.....	72
8.5.4	Ložiska na pilíři P2.....	73
8.6	Zatížení stálé .....	73
8.6.1	Vlastní tíha - LC1 .....	73
8.6.2	Ostatní stálé zatížení - LC2 .....	73
8.7	Zatížení proměnná .....	74
8.7.1	Svislé zatížení železniční dopravou.....	74
8.7.2	Rozjezdové a brzdné síly .....	74
8.7.3	Kombinace zatížení .....	75
8.8	Výpočet vodorovné tuhosti pilot.....	75
8.8.1	Výpočet vodorovné tuhosti osamělé piloty .....	75
8.8.2	Skupinový účinek pilot .....	78
8.9	Vliv zemních tlaků na kolejové lože v přechodové oblasti .....	82
8.10	Tuhostní parametry uložení koleje .....	83
8.11	Spojení koleje a mostu .....	85

8.12	Zobrazení modelu.....	86
8.13	Časová analýza průběhu zatěžování.....	88
8.13.1	Zatěžovací stav B019 .....	89
8.13.2	Zatěžovací stav B038 .....	90
9	Výsledky z modelu.....	91
9.1	Porovnání posunů pilíře .....	91
9.2	Změna podélného odporu kolejového lože .....	92
10	Závěr.....	93
11	Použité podklady .....	95
11.1	Normy a předpisy .....	95
11.2	Literatura .....	95
11.3	Použité internetové stránky .....	96
11.4	Programy .....	96
12	Seznam zkratk .....	97
13	Seznam obrázků .....	98
14	Příloha - fotodokumentace .....	103



# 1 Cíle práce

---

Tématem této diplomové práce je vyhodnocení brzdné zatěžovací zkoušky, která proběhla v dubnu 2016 na Losím mostě, jedná se o ocelový železniční most mezi Dynínem a Horusicemi. Práce se bude nejdříve zabývat popisem sledovaného mostu a zatěžovacích zkoušek. Podrobně bude popsán způsob měření, místa a použitý systém pro měření, ze kterého budou poté vyhodnoceny výsledky. Z dat z měření budou vypočítány průběhy zatěžování v čase. Budou dopočítány polohy lokomotiv v čase a velikost sil působící na most během jednotlivých zatěžovacích stavů. Ze snímačů poté budou stanoveny pro vybrané zatěžovací stavy průběhy deformací na spodní stavbě mostu. Především na středním pilíři, který je osazen neposuvnými ložisky a předpokládá se, že se do něj bude koncentrovat největší část vodorovných sil.

Dále je předmětem diplomové práce vytvoření numerického modelu železničního mostu, tak aby se co nejvíce přiblížil chování skutečného mostu. Do modelu bude vloženo zatížení odpovídající lokomotivám na mostě, které měly vyvodit maximální vodorovnou sílu tak, aby zatěžovací zkouška brzdných sil napomohla stanovit průběh deformace středního pilíře, která bude následně porovnána s naměřenými hodnotami. Vzhledem k tomu, že most je založen ve složitých geologických podmínkách, bude nutné zahrnout do výpočetního modelu hlubinné založení stavby a vypočítat jeho vodorovné tuhosti,

Pro zjištění parametrů chování konstrukce je také třeba se zaměřit na chování interakce koleje s mostem a možné účinky.



## 2 Úvod

V některých případech je nutné postavit most na místě, které není z geologického hlediska pro stavbu optimální, o to více je tedy poté potřeba ověřit, zda konstrukce vyhovuje všem požadavkům na zatížení. Takovým případem je i tzv. „Losí“ most založený ve velmi nepříznivých podmínkách přímo v přírodní rezervaci Horusická blata, tedy most mezi Horusicemi a Dynínem, který na místě ve své podobě vznikl z důvodu umožnění průchodu divokých zvířat, zejména vzácně se vyskytujícího losa evropského.

Tématem této diplomové práce je vyhodnocení brzdných zatěžovacích zkoušek, které mají na most vyvodit největší možnou vodorovnou sílu. Most je založen ve složitých geologických podmínkách, při kterých je pomocí hloubkového založení dosaženo dostatečné tuhosti stavby při účinku dlouhodobých sil. Při dlouhodobém zatížení jsou výpočty tuhosti spodních staveb ověřeny mnoha experimenty a dlouhodobými zkušenostmi. Při krátkodobém zatížení jako jsou brzdné síly, které působí řádově jen několik málo sekund a jde o velmi krátké impulsy síly, může mít odezva konstrukce jiný jiné vlastnosti, protože nedojde k dlouhodobým deformacím základové zeminy. Na místě založení stavby se nachází jen velmi málo únosné zeminy, ve kterých byly zjištěny dokonce dvě zvodně, jedna přímo na úrovni povrchu a druhá napjatá zvodně ve větší hloubce. Pro geologii území zajímavé, pro zakládání mostu však nikoliv. Proto bylo projektantem navrženo velmi robustní hlubinné založení na pilotách, které je nyní předmětem této diplomové práce.

Pro analýzu a zjištění parametrů pro správné chování konstrukce je třeba se zaměřit na vzájemné interakce koleje s mostem. Z vyhodnocených dat pak bude možné ověřit předpoklady chování konstrukce a zjistit možné parametry interakce mostu a bezстыkové koleje.

Dále je nutné se zaměřit na chování ložisek, které v případě vodorovných účinků začnou hrát nemalou roli při přenosu sil a pohybu nosné konstrukce. Ložiska se chovají plasticky. Do překonání třecí síly drží a poté nastává krátký posun nosné konstrukce. Pro stanovení třecích sil je nutné vypočítat charakteristické hodnoty zatížení, které nastalo v okamžiku zatěžovacích zkoušek na mostě.

Možné ovlivnění při vodorovném posunu konstrukce také může být vyvozeno kolejovým v přechodové oblasti. Kde v kolejovém loži při posunu konstrukce může vznikat aktivní zemní tlak.



## 3 Popis mostu

SO 44-20-03 Dynín-Horusice, železniční most v km 30,920, je nový železniční most přes Bukovský potok o čtyřech polích na přeložce trati ve směrovém oblouku o  $R=2500$  m. Pod mostem se nachází významná migrační trasa losa evropského, požadavek na průchod zvěře o velikosti losa tedy udává rozměry mostu: rozpětí jednotlivých polí činí  $17+23+23+17$  m a volná výška pod mostem je v rozmezí 3,8 - 4,24 m.

Jedná se ocelovou roštovou spojitou konstrukci s ocelovou mostovkou a šterkovým ložem, most je přímý, vliv poloměru není značný a rozšíření mostu o vzepětí 340 mm snížilo komplikovanou výrobu půdorysně zalomené konstrukce. Pevné uložení je umístěno na středním pilíři s ohledem na dilatující délku. Na této rozšířené podpěře jsou umístěny i podpěry trakčního vedení. Založení mostu je komplikované složitými geologickými podmínkami.

### 3.1 Základní údaje mostu

Správce mostního objektu:	Správa dopravní cesty České Budějovice, SMT
Katastrální území:	Horusice
Okres:	České Budějovice
Kraj:	Jihočeský
Trať SŽDC:	č. 220 České Budějovice – Praha
Traťový úsek:	1781 Nemanice I. – Veselí nad Lužnicí (mimo)
Definiční úsek:	12 – Dynín-Horusice
Staničení:	evidenční km 30,920 596
Situování v terénu:	most se nachází v širé trati
Počet kolejí na mostě:	2
Železniční svršek na mostě:	kolejnice tvaru UIC60, upevnění pružné bezpodkladnicové s vrtulemi na betonových pražcích B 91/S s hmotností větší než 300 kg, rozdělení pražců “u”.
Poloměr oblouku:	$R_2 = 2500$ m, $R_1 = 2504$ m, převýšení $l = 61$ mm





Sklonové poměry:	klesá 4,867 ‰ a 9,793 ‰ v koleji č. 1 i koleji č. 2
Prostorové uspořádání:	most navržen pro průjezdní průřez VMP dle ČSN 73 6201, poloviční šířka VMP = 3,0 m (most v širé trati)
Traťová rychlost v novém stavu:	160 km/h soupravy s NT 160 km/h
Třída zatížení:	traťový úsek je řazen do evropského železničního systému jako koridorová trať ve smyslu Směrnice GŘ SŽDC s.o.č. 16/2005 (č. j. 3790/05-OP – ze dne 17. 1. 2006)

### 3.1.1 Charakteristiky konstrukce

Druh nosné konstrukce:	ocelová roštová konstrukce s ortotropní mostovkou – spojitý nosník o čtyřech polích, přímá, samostatná pro každou kolej. Spodní stavba masivní, monolitická železobetonová, hlubinně založená. Most přes Bukovský potok.
Počet mostních otvorů:	4
Délka přemostění:	78,00 m
Délka mostu:	97,80 m
Rozpětí nosné konstrukce:	17,00+23,00+23,00+17,00 m
Stavební výška:	2,088 m
Volná výška pod mostem:	3,80 m
Výška mostu:	6,337 m
Volná šířka na mostě:	10,78 m
Šířka mostu:	11,50 m
Šikmost objektu:	kolmý most
Uložení nosné konstrukce:	ložiska hrncová
Statické působení:	spojitá desková konstrukce bodově podepřená



Obrázek 1: Pohled na most

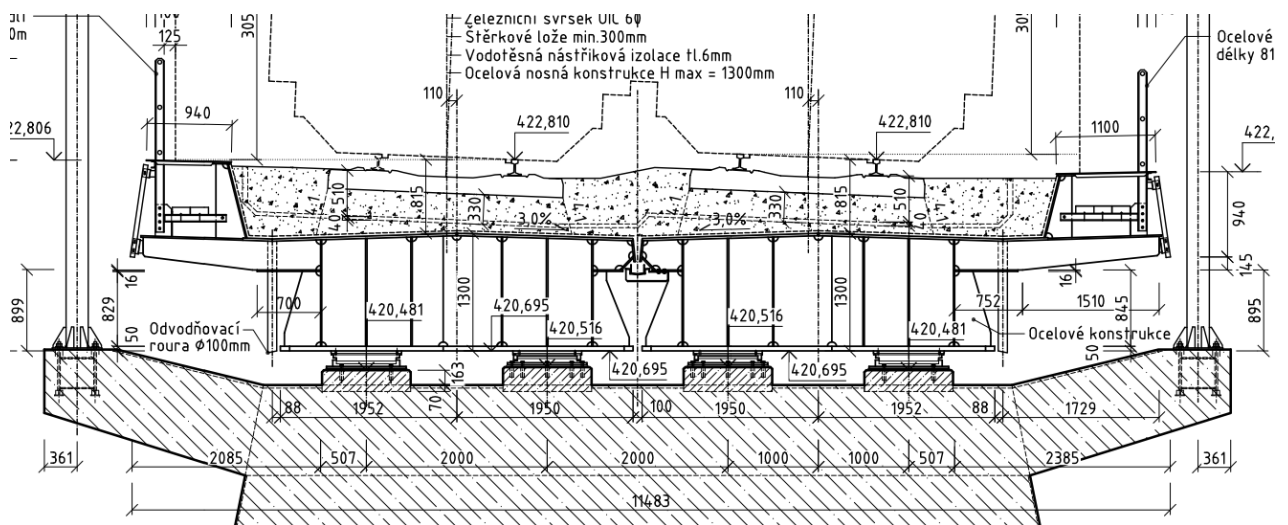
### 3.1.2 Geometrická poloha koleje

Směrový průběh koleje: č. 1 – poloměr  $R = 2504$  m, převýšení  $p = 60$  mm;

č. 2 – poloměr  $R = 2500$  m, převýšení  $p = 60$  mm

Podélný sklon koleje: 4,87 a 9,79 ‰ (nad středním pilířem je zakončen oblouk)

Vzdálenost osy koleje od osy konstrukce: na začátku NK  $e = 210$  mm, uprostřed na pilíři  
 $e = 110$  mm,  $e = 210$  mm



Obrázek 2: Příčný řez mostovkou

## 3.2 Železniční svršek na objektu

Na mostě je nový svršek s kolejnicemi tvaru UIC60. Upevnění kolejnic je pružné bezpodkladnicové s vrtulemi na betonových pražcích B 91/S. Rozdělením pražců je typu “u“ se vzdáleností mezi pražci 600 mm.



### 3.3 Prostorové uspořádání pod objektem

Most se nachází v širé trati na přeložce v úseku mezi železniční stanicí Dynín a železniční stanicí Horusice. Pod mostem se v 1. otvoru nachází přeložka Bukoveckého potoka, ostatní otvory jsou inundační a současně slouží jako migrační trasa velkých zvířat – losů. Prostorové uspořádání podpěr je podobné jako na sousedící stavbě, tedy silničního mostu dálnice D3. Minimální volná výška pro migraci velkých zvířat jako los evropský je minimálně 3,60 m, tato výška je dodržena ve všech otvorech.

### 3.4 Hlubinné základy opěr a pilířů

#### 3.4.1 Piloty opěr

Piloty krajního pole procházejí geotechnickým prostředím jílovitých zemin vysoké plasticity, ve větších hloubkách střídaných vrstvami nesoudržných písčitých zemin. V blízkosti terénu se nacházejí v profilu i vrstvy zemin typu rašelin. Hladina podzemní vody je v blízkosti terénu a je agresivní obsahem CO<sub>2</sub>.

Každá opěra má 14 pilot o průměru 1180 mm, u opěry O1 o délce 15,00 m a O2 o délce 16,5 m pod úrovní základové spáry opěr, piloty byly vrtány a betonovány pod ochranou ocelové výpažnice, která byla s postupem betonáže postupně vytahována.

Jakost betonu pilot je C 25/30 - XC2, XA2, betonářská výztuž B500B.

#### 3.4.2 Piloty pod pilíři

Piloty pod pilíři procházejí, podobně jako opěry, geotechnickým prostředím jílovitých zemin vysoké plasticity, ve větších hloubkách střídaných vrstvami nesoudržných písčitých zemin. V blízkosti terénu se nacházejí v profilu i vrstvy zemin typu rašelin. Hladina podzemní vody je v blízkosti terénu a je agresivní obsahem CO<sub>2</sub>. Horní poloha profilu u pilířů je po vyvrtání pilot odtěžena v rámci štětovnicových jímek do úrovně pro podkladní beton.

Pilíř P1 má 16 pilot o průměru 1180 mm, dlouhých 15,00 m. Pilíř P2 má 22 pilot o průměru 1180 mm dlouhých 15,00 m a pilíř P3 sestává z 16 pilot o průměru 1180 mm dl. 16,00 m (pod úrovní základové spáry opěr), které jsou vrtány a betonovány pod ochranou ocelové výpažnice, které byly postupně při betonáži vytahovány. Jakost betonu pilot je C 25/30 - XC2, XA2.



Obrázek 3: Hlavy pilot středního pilíře při odbourávání, autor: Firesta s.r.o.

### 3.5 Základy pilířů a opěr

Základové desky pilířů a opěr jsou proměnné výšky se skloněným horním povrchem usnadňujícím odvodnění. Beton základů je třídy C 30/37 - XC2, XA2, XF3, výztuž B500B. Základy jsou vybetonovány na podkladní vrstvě z betonu C 25/30 tloušťky 200 mm. Základové desky pilířů P1 a P3 jsou stejné velikosti o půdorysných rozměrech 13,40 x 6,40 m, pouze různě výškově osazené, základová deska prostředního pilíře P2 je po délce mostu delší (13,40 x 8,40 m) z důvodu většího přenosu brzdě síly z mostu. Základové desky opěr jsou také shodného rozměru, pouze v různé výšce založení. Půdorysné rozměry základové desky opěry O1 činí 12,00 x 6,40 m, opěry O2 12,00 x 6,40 m. Minimální výška základů opěry na okraji činí 1200 mm, horní povrch je spádovaný.



## 3.6 Spodní stavba - opěry a pilíře

### 3.6.1 Dříky pilířů

Dříky mají konstantní šířku 1,3 m, v pohledu je tvar lichoběžníkový. Úložný práh pilířů o výšce 1,0 m má stejnou šířku jako dřík, je oddělen pouze opticky od tělesa dříku vloženou lištou do bednění. Beton dříků včetně úložných prahů je třídy C 30/37 – XC4, XD1, XF3, výztuž B500B. Plochy dříků jsou opatřeny profilováním povrchu betonu do 20 mm. Na pilíři P2, kde je umístěna podpěra trakčního vedení, je úložný práh oboustranně vykonzolován přes obrys dříku. Prahy mají střechovitý sklon 5 % od osy pilíře. Na úložném prahu jsou pro obě mostovky čtyři hrcová ložiska, která jsou uložena na železobetonových blocích.



*Obrázek 4: Dřík středního pilíře P2*

### 3.6.2 Dříky opěr

Dříky opěr mají tloušťku 2,35 m. Na dříky z každé strany kolmo navazují stěny o šířce 1,0 metru pro zavěšená křídla. Třída betonu dříků včetně úložných prahů je C 30/37 - XC4, XD1, XF3 a výztuž B500B. Úložné prahy mají spád 5 % od závěrné zdi. Na každém úložném prahu

jsou uložena čtyři hrncová ložiska na železobetonových úložných blocích. Pro každou mostovku připadají dvě ložiska.

Tloušťka závěrné zdi je 450 mm. V horní části zdi je konzola pro uložení mostního závěru. Na dřík a závěrnou zeď jsou připojena křídla, která mají skloněný horní povrch jako přechod z uzavřeného do otevřeného uspořádání kolejového lože.



Obrázek 5: Opěra před hutněním první vrstvy zeminy, autor: Firesta s.r.o.

### 3.7 Nosná konstrukce

Jedná se o trémový, plnostěnný, půdorysně kolmý most s horní ortotropní mostovkou, ve které je uloženo průběžné kolejové lože. Most má čtyři pole o rozpětích 17,0+23,0+23,0+17,0 m, staticky jde o spojitý nosník s postranními konzolami pro připevnění lávky a zábradlí. Most je dvukolejný.

Hlavní nosná ocelová konstrukce je vyrobena z plechu tloušťky 25 mm. Hlavní nosníky nemají žádné podélné výztuhy. Kolejový žlab má příčné střechovité spádování 3 %. Žlab typu



KL je uzavřen kolmými stěnami ve sklonu 4:1, které jsou z plechu tloušťky 14 mm. Ocelová konstrukce je vyztužena příčnými výztuhami s průřezem obráceného T profilu z plechu tloušťky 12 mm a pásnice z profilu P16 x 200. Výztuhy jsou ve vzdálenostech 1/8 rozpětí krajního pole a v 1/11 rozpětí vnitřního. Na výztuhy je z boku mostu připevněna ocelová příčka pro plastové kabelové žlaby.



*Obrázek 6: Ocelová konstrukce během montáže, autor: Firesta s.r.o.*

Jednotlivé I nosníky jsou propojeny příčnicí v místě uložení na ložiska, tedy v místě opěr a pilířů. Výška příčniců odpovídá výšce hlavních nosníků. Příčnicí u opěr jsou tloušťky 14 mm s dolní pásnicí z plechu P25. Příčnicí u pilířů mají stěny o tloušťce 22 mm a dolní pásnice jsou z plechu P50.

Hlavní nosníky mají rozdílnou výšku podle příčného sklonu žlabu KL. Krajní nosníky jsou vysoké 1255 mm, zatímco vnitřní nosníky mají výšku 1285 mm. Tloušťka dolního pásu hlavních nosníků se pohybuje v rozmezí od 25 do 50 mm. Dolní povrch pásnic je průběžný, změna tloušťek je provedena směrem do stěny. Stěna hlavních nosníků je tloušťky 14 mm v celé délce. Stěny jsou vyztuženy svislými výztuhami P12 x 150 mm.

Ocelová konstrukce je vyrobena z oceli S355J2+N.

### 3.8 Ložiska

Celkem je na mostě osazeno 20 ložisek od výrobce RW PRIMO - příslušenství mostů s.r.o. Všechna ložiska jsou hrncová, umožňující natočení v obou směrech. Každé ložisko je vloženo mezi dvě ocelové desky, aby byla možná jednodušší výměna ložiska v průběhu životnosti mostu. Na každém pilíři a opěře jsou pro každou mostovku 2 ložiska. Střední pilíř je osazen pevnými ložisky TF a příčně posuvnými ložisky TGe. Ostatní pilíře a opěry jsou osazeny podélně posuvnými ložisky TGe nebo všesměrně posuvnými ložisky TGa. Do středního pilíře by se tak měla koncentrovat největší složka vodorovných brzdných a rozjezdových sil.



*Obrázek 7: Pohled na ložisko na opěře*

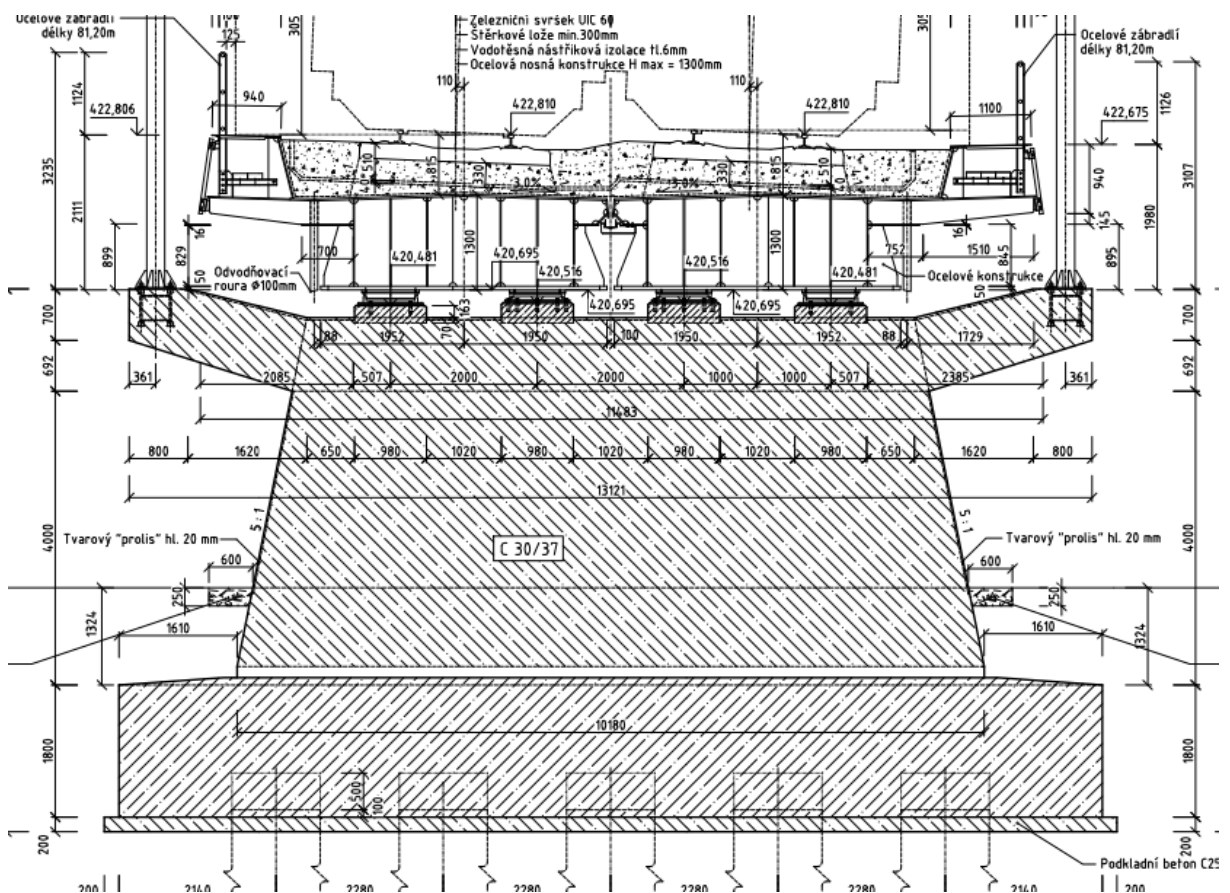
### 3.9 Mostní závěry a podélná spára

Mostní dilatační závěry jsou lamelové. Kotvené jsou oky a betonářskou výztuží do kapes v závěrné zídce opěr a z druhé strany jsou přímo přivařeny k nosné ocelové konstrukci. Tvarem kopírují obrys žlabu kolejového lože. Podélná spára mezi nosnými konstrukcemi je překryta deskami z PEHD (polyethylenu s vysokou hustotou) s centrovacími prvky.

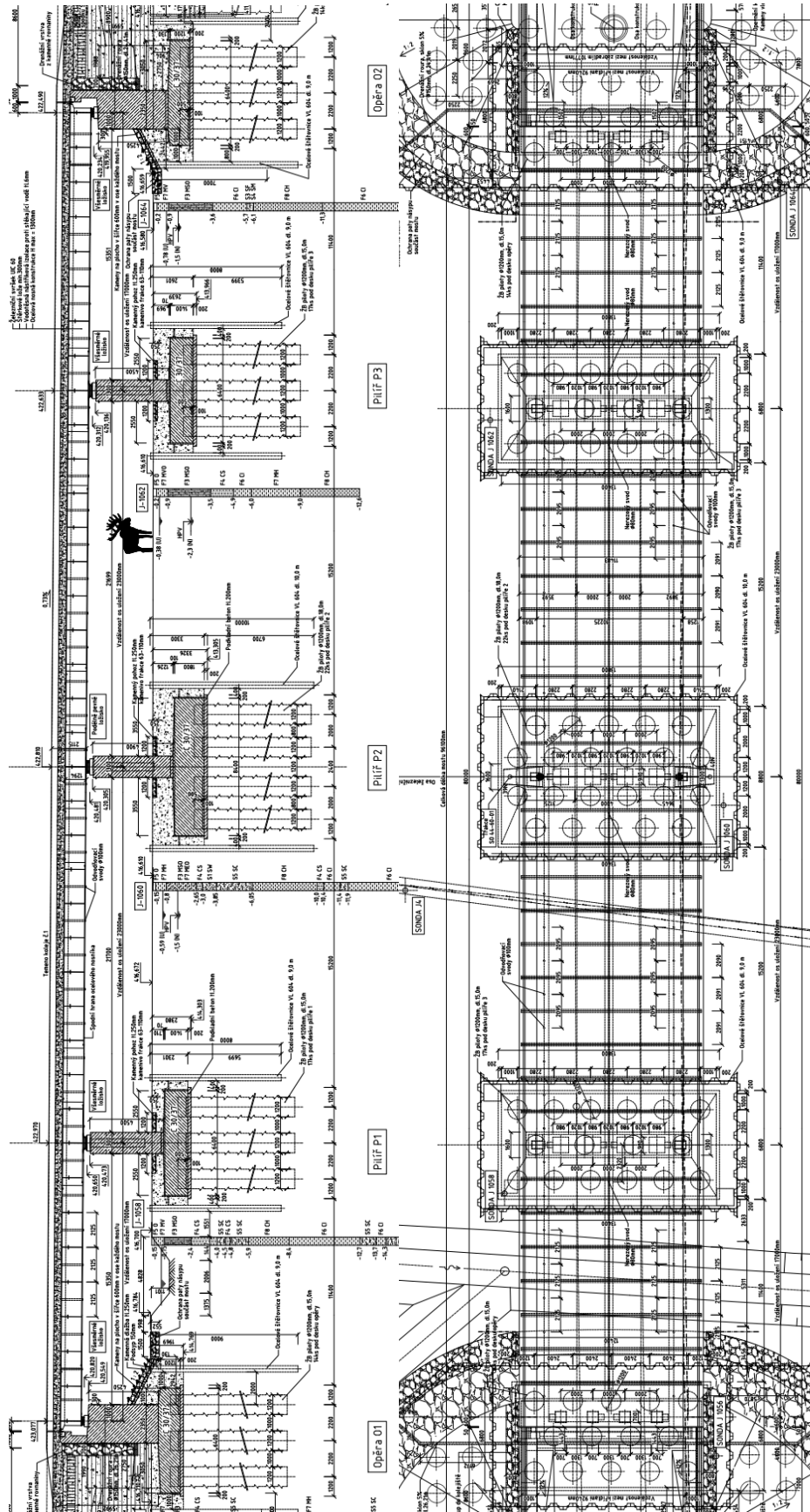




Obrázek 8. Pohled na dilatační a podélnou spáru během stavby



Obrázek 9: Příčný řez středním pilířem a mostovkou



Obrázek 10: Podélný řez a půdorys mostu

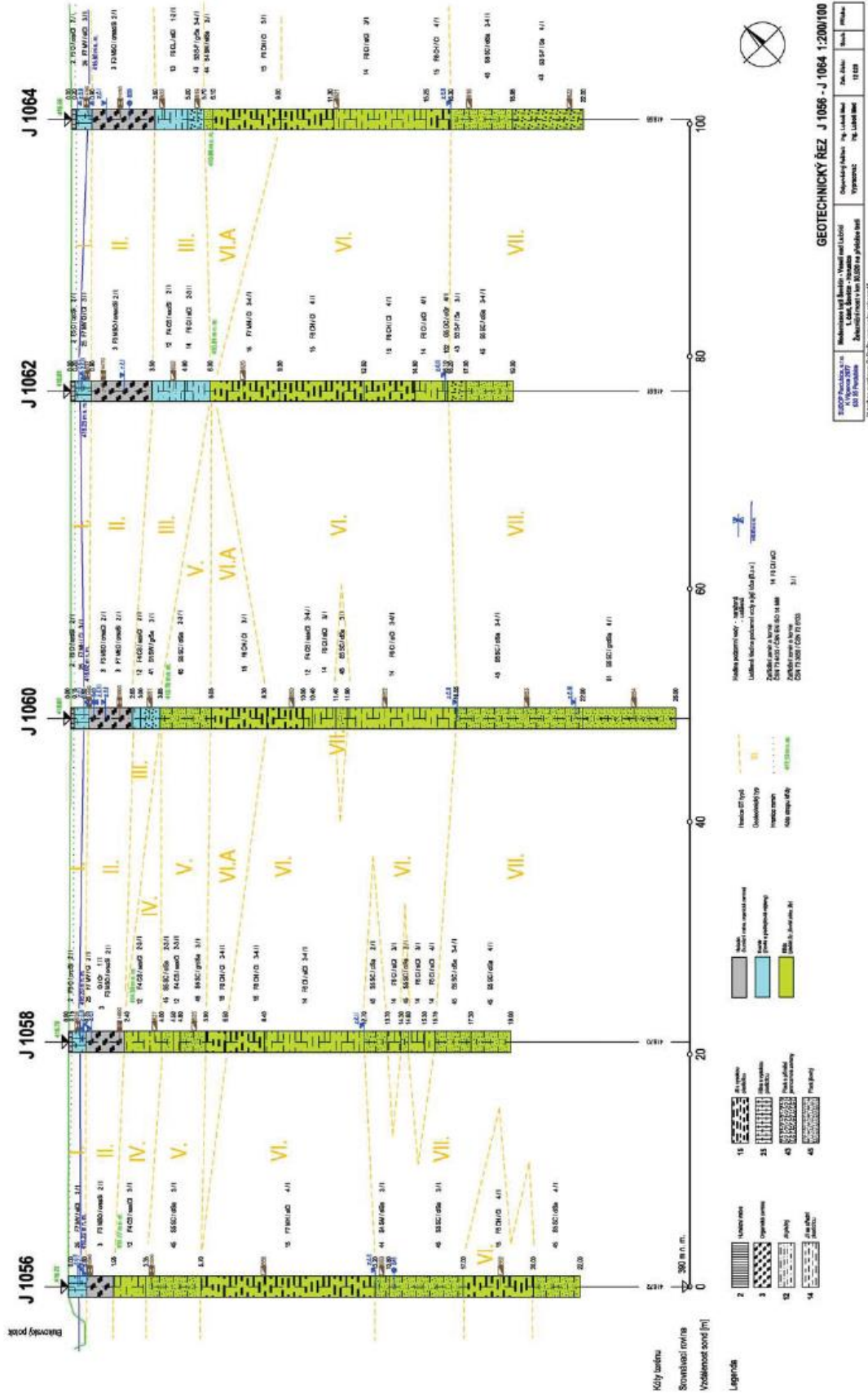


### 3.10 Geotechnické poměry

Základové poměry stavby jsou klasifikovány jako složité. Prvními vrstvami jsou kvartérní uloženiny, které nezasahují do příliš velké hloubky, nicméně se jedná o zeminy krajně nepříznivých vlastností. Ve vrtu byla zastižena povrchová vrstva jílovité hlíny tř. F7 konzistence tuhé obsahující organické zbytky. Pod touto vrstvou je vyvinuta souvislá poloha rašeliny o mocnosti 1,2 – 2,7 m a na bázi kvartéru jsou to jílovité písky nebo písčité jíly, vesměs tuhé. V kvartéru se nachází souvislá zvođen. Další vrstvy předkvartérního podloží jsou tvořeny svrchnokřídovým souvrstvím (klikovských) písků a jílu s povrchem v hloubce 2 – 6 m pod stávajícím rovinným terénem nacházejícím se na úrovni zhruba 416,7 m n. m. V tomto souvrství převažují pelitické sedimenty konzistence tuhé, někdy až pevné, nad vrstvami středně ulehých jílovitých písků, vesměs zvodněných s artézsky napjatou podzemní vodou. Dále se v nich nacházejí také zvodnělé písčité sedimenty klikovského souvrství s napjatou hladinou podzemní vody. Stavba je tak vzhledem k velmi složitým základovým poměrům zrealizována hlubinnými základy na pilotách, které využívají ulehle jílovité písky klikovského souvrství, respektive velmi slabě zpevněných pískovců, do kterých jsou piloty opřeny.

Na tomto území byly objeveny dvě zvodně. První kvartérní, vázaná na polohu rašeliny, a druhá ve spodních jílovitých píscích klikovského souvrství, kde je tato voda napjatá s artézskou hladinou zasahující až k terénu. Zároveň je voda z obou zvodní agresivní. Obsahuje zejména  $\text{CO}_2$  a Ca. Vysoký obsah vedl ke stanovení agresivity stupně XA2. Betonáž pilot vzhledem ke složitým poměrům byla prováděna pod ochranou pažení.





Obrázek 11: Geotechnický řez

## 4 Zatěžovací zkoušky - brzdné a rozjezdové síly

Zatěžovací zkouška byla provedena na základě požadavku projektanta mostu pro ověření reálné tuhosti konstrukce a porovnání s návrhovými hodnotami.

Test se uskutečnil 6. a 7. dubna. První den byl věnován především instalaci snímačů a měřicí techniky na most. Umístění všech snímačů je patrné z obrázku (Obrázek 12)

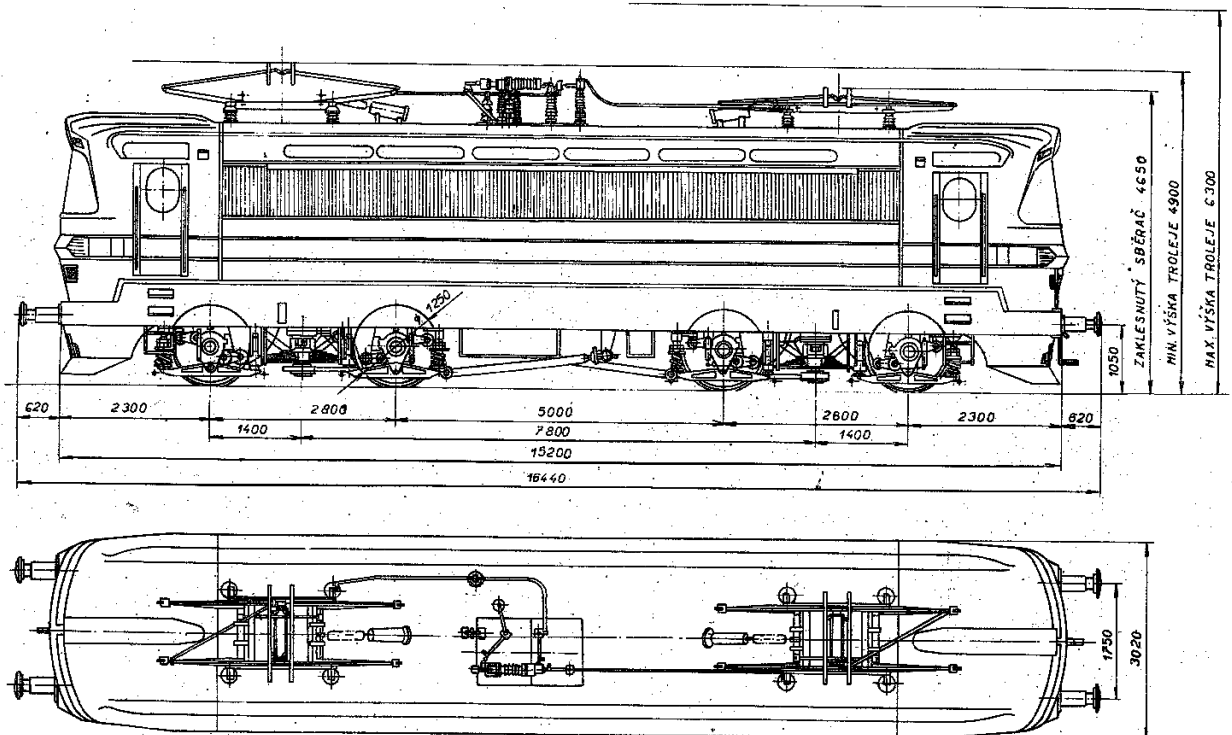
Výluka mostu byla naplánována na koleji č. 2 od 7 hodin ráno a výluka na obou kolejích od půlnoci do 4 hodin ráno. Měření prováděly společnosti INSET s r.o. a Vintegra s.r.o.

### 4.1 Zkušební zatížení

Dynamické zatížení bylo vyvoláno přejezdy, brzděním a rozjezdy elektrických lokomotiv řady 230 – laminátka, rok výroby 1966-1967, výrobce Škoda Plzeň. Celkem byly použity 4 lokomotivy, každá o hmotnosti 85 tun. Svislá síla působící od jedné lokomotivy tedy je:

$$F_v = m \cdot g = 8500 \cdot 9,81 = 833,5 \text{ kN}$$

Na jednu nápravu tedy vychází síla přibližně 208,4 kN.



Obrázek 12: Schéma lokomotivy 230



## 4.2 Poloha zkušebního zatížení

Během brzdných zkoušek se lokomotivy rozjely v širé trati na požadovanou rychlost a následně naplno brzdily tak, aby zastavily na vyznačených místech na mostě pro vyvolání maximální síly na střední pilíř. Při brzdění na obou kolejích bylo nutné, aby lokomotivy brzdily souběžně. Rozjezdy lokomotiv pak vždy proběhly z místa zastavení lokomotiv na opačnou stranu než směr brzdění.

## 4.3 Přehled zatěžovacích stavů

Celkem bylo provedeno 44 zatěžovacích stavů zaměřených na vodorovné účinky. Každý zatěžovací stav je označen číslem, dle následujících pravidel.

První číslo odpovídá počtu lokomotiv při testu: číslice 1 pro přejezdy samostatných lokomotiv, číslice 2 pro test se 4 lokomotivami na koleji č. 2 a číslice 3 pro 2 lokomotivy na každé koleji. Druhá pozice čísla zatěžovacího stavu označuje rychlost, kterou lokomotivy jely během přejezdu, brzdění nebo rozjezdu po zabrzdění z dané rychlosti – číslice 1 představuje rychlost 60 km/h, číslice 2 představuje rychlost 90 km/h. Třetí číslo je pro určení směru: číslice 1 pro směr na České Budějovice a číslice 2 pro směr na Tábor (Prahu).

Pro příklad, test číslo 311 představuje 2 lokomotivy na koleji č. 1 a 2 lokomotivy na koleji číslo 2 brzdily z rychlosti 60 km/h ve směru na České Budějovice.

Některé zatěžovací stavy musely být opakovány vícekrát z důvodu obtížného sladění jízdy lokomotiv, které musely začít brzdit synchronizovaně v dostatečné vzdálenosti od mostu. Při brzdění z vyšších rychlostí také docházelo k častému přehřívání brzd.

Měření bylo vždy zapnuto v okamžiku rozjezdu vlaků mimo most a po zastavení vlaku bylo měření pozastaveno. Lokomotivy se připravily pro rozjezd na opačnou stranu, bylo zapnuto nové měření, načež se soupravy rozjely plnou silou směrem, ze kterého přijely. Po dostatečném vzdálení vlaků bylo měření opět pozastaveno.

Pro všechny vyhodnocené grafy platí konvence, že záporné hodnoty představují tlak, zatímco kladné hodnoty tah. Pozice lokomotivy je vždy vztažena ke středu mostu. Záporné hodnoty vzdálenosti od středu se vztahují k případům, kdy vlak přijíždí směrem do středu mostu, kladné hodnoty se potom vztahují k případům, kdy vlak střed mostu přejede.



Bariéra byly značky umístěné vedle trati, které označovaly místo pro zastavení vlaku. Použity byly výstražné trojúhelníky, které jsou v noci dobře viditelné. Při prvních testech byla bariéra umístěna na střed druhého pole. V druhé fázi zatěžování byla umístěna na střední pilíř. Ve třetí fázi opět na střed 2. pole.

Před brzdými zkouškami proběhly na mostě zkoušky přejezdů lokomotiv při různých rychlostech od 5 do 100 km/h ( Tabulka 1), pro stanovení odezvy konstrukce na dynamické buzení a stanovení základních vlastních frekvencí a tvarů z dokmitu nosné konstrukce. Přejezdy byly provedeny pro oba směry, jak na Prahu, tak na České Budějovice (ČB).

Přehled zatěžovacích stavů z brzdých a rozjezdových zkoušek, čísla záznamů, kde lokomotivy zastavily a další podrobnosti jsou zřejmé z tabulky (Tabulka 2)

Přejezdy na 2. koleji 2 spojené lokomotivy za sebou							
číslo záznamu		Zatěžovací stav	čas začátku měření	děj	rychlost km/h	směr	poznámka
INTERFER. 1+2	INSET A+B						
U001	B001	ZS101	19:10	přejezd	5	ČB	bez brždění
U002	B002	ZS102	19:12	přejezd	5	Praha	bez brždění
U003	B003	ZS111	19:15	přejezd	15	ČB	bez brždění
U004	B004	ZS112	19:17	přejezd	15	Praha	bez brždění
U005	B005	ZS121	19:19	přejezd	30	ČB	bez brždění
U006	B006	ZS122	19:21	přejezd	30	Praha	bez brždění
U007	B007	ZS131	19:24	přejezd	45	ČB	bez brždění
U008	B008	ZS132	19:28	přejezd	45	Praha	bez brždění
U009	B009	ZS141	19:30	přejezd	60	ČB	bez brždění
U010	B010	ZS142	19:33	přejezd	60	Praha	bez brždění
U011	B011	ZS151	19:36	přejezd	75	ČB	bez brždění
U012	B012	ZS152	19:42	přejezd	75	Praha	bez brždění
U013	B013	ZS161	19:45	přejezd	90	ČB	bez brždění
U014	B014	ZS162	19:50	přejezd	90	Praha	bez brždění
U015	B015	ZS171	19:52	přejezd	100	ČB	bez brždění
U016	B016	ZS172	19:54	přejezd	100	Praha	bez brždění

Tabulka 1: Přehled zatěžovacích stavů přejezdových zkoušek



Brzdění na 2. koleji (bariéra na středu 2. pole) 4 spojené lokomotivy za sebou							
číslo záznamu		Zatěžovací stav	čas začátku měření	děj	rychlost km/h	směr	místo zastavení
INTERFER.	INSET						
1+2	A+B						
U017	B017	ZS211	20:52	brzdění	60	ČB	3.5 m před bariérou
U018	B018	ZS212	20:54	rozjezd	---	Praha	---
U019	B019	ZS211	21:02	brzdění	60	ČB	0.6 m před bariérou
U020	B020	ZS212	21:04	rozjezd	---	Praha	---
U021	B021	ZS221	21:10	brzdění	90	ČB	přejely, zastavily 9.6 m za bariérou
U022	B022	ZS222	21:13	rozjezd	---	Praha	---
U023	B023	ZS221	21:23	brzdění	90	ČB	zastavily za mostem
U024	B024	ZS221	21:32	brzdění	90	ČB	zastavily za mostem, poslední lok. 10 m na mostě

Brzdění na 2. koleji (bariéra pilířem P3, u snímače na koleji v.č. 022) 4 spojené lokomotivy za sebou							
číslo záznamu		Zatěžovací stav	čas začátku měření	děj	rychlost km/h	směr	místo zastavení
INTERFER.	INSET						
1+2	A+B						
U025	B025	ZS232	22:27	brzdění	80 - 90	Praha	zastavily za mostem
U026	B026	ZS232	22:42	brzdění	80 - 90	Praha	cca 20 m před bariérou
U027	B027	ZS231	22:46	rozjezd	---	ČB	---
U028	B028	ZS232	22:54	brzdění	80 - 90	Praha	zastavily 39.6 m před bariérou
U029	B029	ZS231	23:01	rozjezd	---	ČB	---
U030	B030	ZS242	23:05	brzdění	60	Praha	zastavily 4.8 m před bariérou
U031	B031	ZS241	23:10	rozjezd	---	ČB	---
U032	B032	ZS242	23:14	brzdění	60	Praha	zastavily 6 m před bariérou
U033	B033	ZS241	23:17	rozjezd	---	ČB	---

Brzdění na obou kolejích (bariéra na středu 2. pole, u snímače na koleji v.č. 020) 2 spojené lokomotivy za sebou na každé koleji								
číslo záznamu		Zatěžovací stav	čas začátku měření	děj	rychlost km/h	směr	místo zastavení kolej č. 1	místo zastavení kolej č. 2
INTERFER.	INSET							
1+2	A+B							
U034	B036	ZS321	0:14	brzdění	90	ČB	zastavily za mostem	zastavily za mostem
U035	B037	ZS321	0:23	brzdění	90	ČB	zastavily 24.6 m před bariérou	zastavily 3.6 m za bariérou
U036	B038	ZS321	0:35	brzdění	90	ČB	zastavily 6 m před bariérou	zastavily 4.2 m před bariérou
U037	B039	ZS322	0:39	rozjezd	---	Praha	---	---
U038	B040	ZS321	0:48	brzdění	90	ČB	zastavily za mostem	zastavily za mostem
U039	B041	ZS311	0:58	brzdění	60	ČB	zastavily 0.6 m před bariérou	zastavily 1.8 m před bariérou
U040	B042	ZS312	1:03	rozjezd	---	Praha	---	---
U041	B043	ZS321	1:08	brzdění	90	ČB	zastavily 25.2 m za bariérou	zastavily 5.4 m za bariérou
U042	B044	ZS321	1:20	brzdění	90	ČB	lokomotivy mimo most	zastavily 15.6 m za bariérou
U043	B045	ZS321	1:52	brzdění	90	ČB	lokomotivy těsně za mostem	lokomotivy těsně za mostem
U044	B046	ZS321	2:03	brzdění	90	ČB	zastavily 20.4 m za bariérou	zastavily 16.2 m za bariérou

Tabulka 2: Přehled zatěžovacích stavů brzdných a rozjezdových zkoušek





## 5 Měřená místa

---

Níže jsou popsány hlavní měřené veličiny a místa.

### 5.1 Rozpis hlavních měřených míst:

**Deformace** – vodorovná absolutní, pomocí radarové interferometrie

2x P1 – na pilíři v ose každé NK a úrovni ložisek

6x P2 – na pilíři v ose každé NK a úrovni ložisek a v patě pilíře, dále pak na každé NK

2x P3 – na pilíři v ose každé NK a úrovni ložisek

**Relativní deformace** – vodorovný posun mezi měřenými body, induktivní snímače dráhy

2x O1 – opěra/NK 1 a 2

2x P1 – pilíř/NK 1 a 2

2x P2 – pilíř/NK 1 a 2

2x P3 – pilíř/NK 1 a 2

2x O2 – opěra/NK 1 a 2

2x2x posun kolej/most pomocí struny na obou stranách mostu

**Poměrné přetvoření** – induktivní tenzometry, pro stanovení napětí v prvku koleje

2x4x induktivní snímače přetvoření na kolejnici, v těžišti, jednostranně, nad dilatačním závěrem

1x kompenzační snímač přetvoření na kolejnici pro DZZ

P1 – 4x snímač přetvoření svisle, v patě pilíře

P2 – 4x snímač přetvoření svisle, v patě pilíře

P3 – 4x snímač přetvoření svisle, v patě pilíře

**Teplota**

1x teplota kolejnice

1x teplota NK v kolejovém loži, spodní líc



1x teplota NK – horní povrch hlavního nosníku

### **Rychlost (zrychlení)**

2x8x rychlost  $v_z$  na hlavním nosníku ve  $\frac{1}{4}$  rozpětí, vlevo a vpravo, na dolní pásnici, v krajních polích jen uprostřed rozpětí

### **Rychlost lokomotiv**

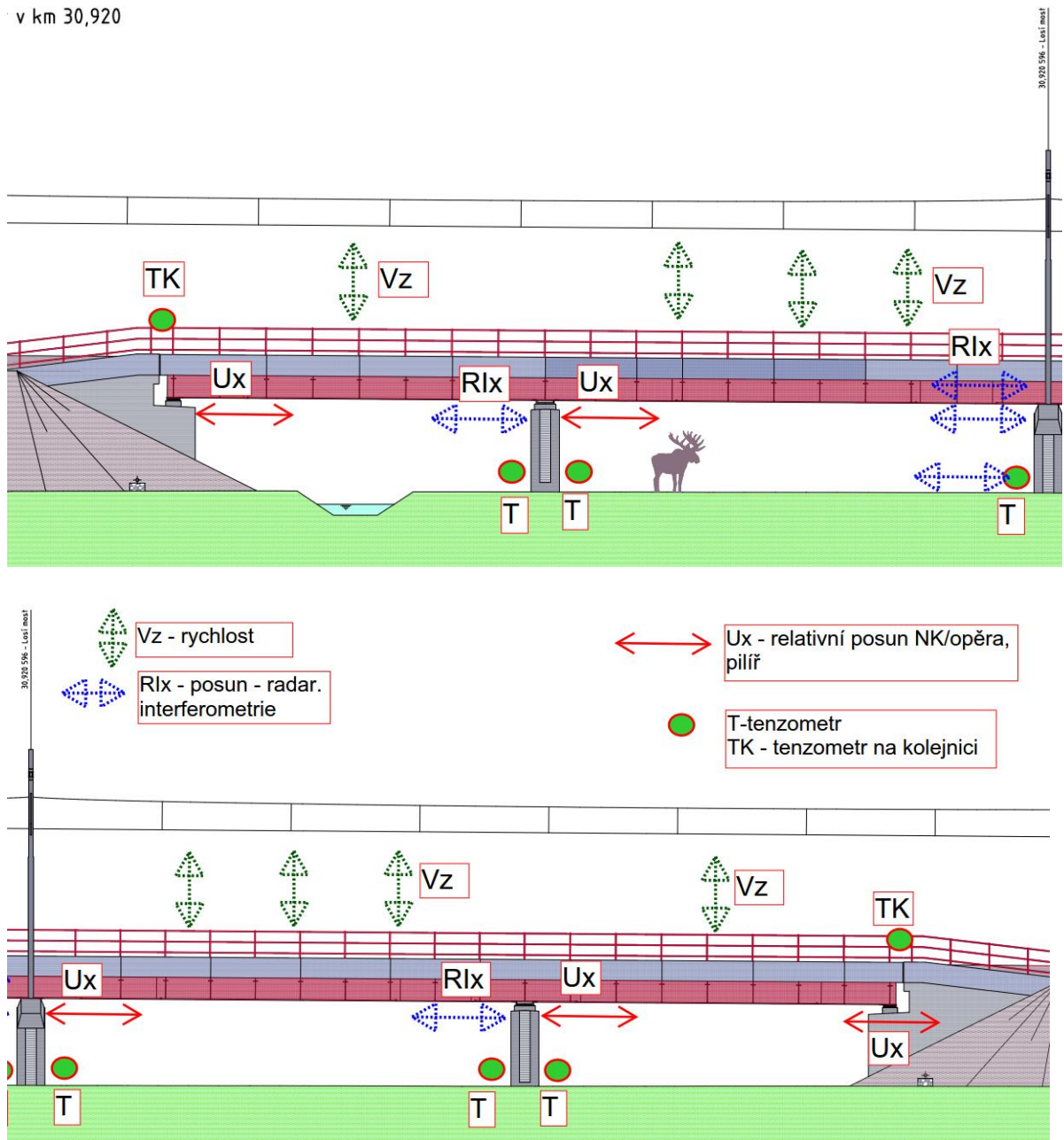
Snímače rychlosti na trati, na každé koleji cca 60m od mostu na každou stranu. Pro měření polohy vlaku a zpomalení.

### **Synchronizační snímač**

Požaduje se umístění vhodného snímače, který umožní synchronizaci klasického měření a radarové interferometrie. Přesná specifikace a poloha bude stanovena po dohodě obou měřících organizací.

### **Poloha měřených míst.**

Přibližná poloha je znázorněná na následujícím obrázku (Obrázek 13).



Obrázek 13: Celkový pohled na most se specifikací měřených míst

## 6 Popis systému měření

### 6.1 Měření přetvoření v patě pilíře

K měření přetvoření mostních pilířů bylo použito 12 ks velmi přesných indukčních snímačů přetvoření SP\_1\_1000 speciálně vyvinutých pro jadernou energetiku.

#### Technické údaje:

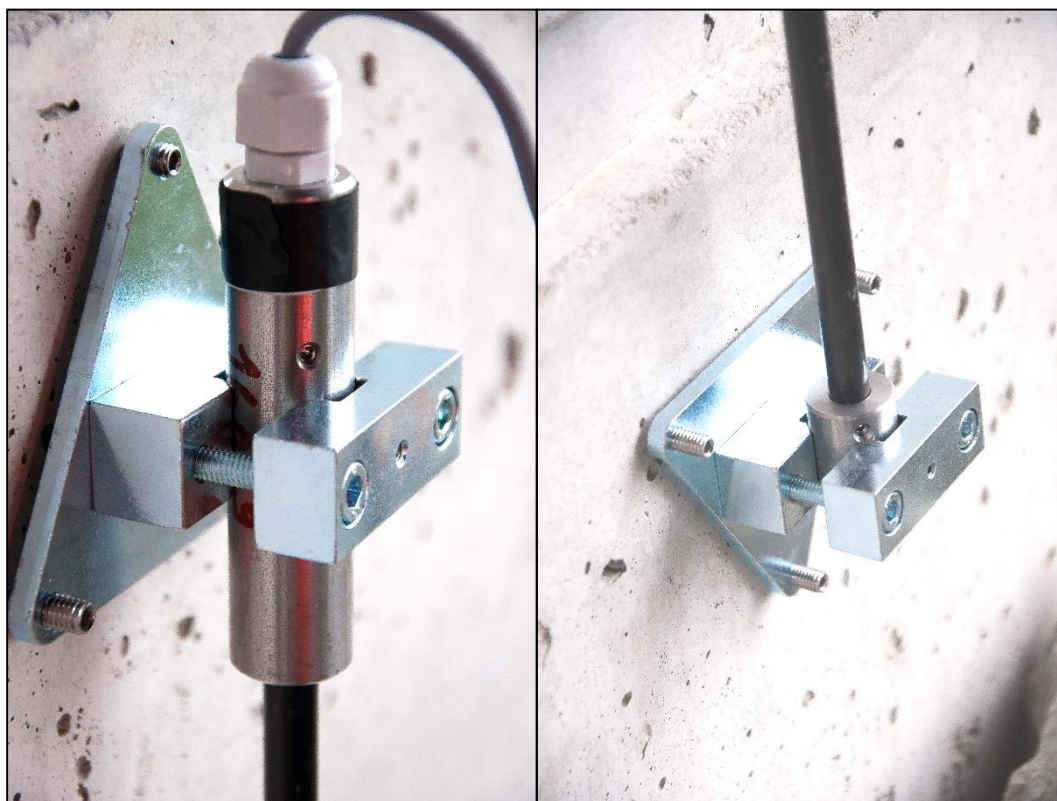
Rozlišení:  $5 \cdot 10^{-7}$

Měřicí rozsah:  $\pm 100 \cdot 10^{-5}$

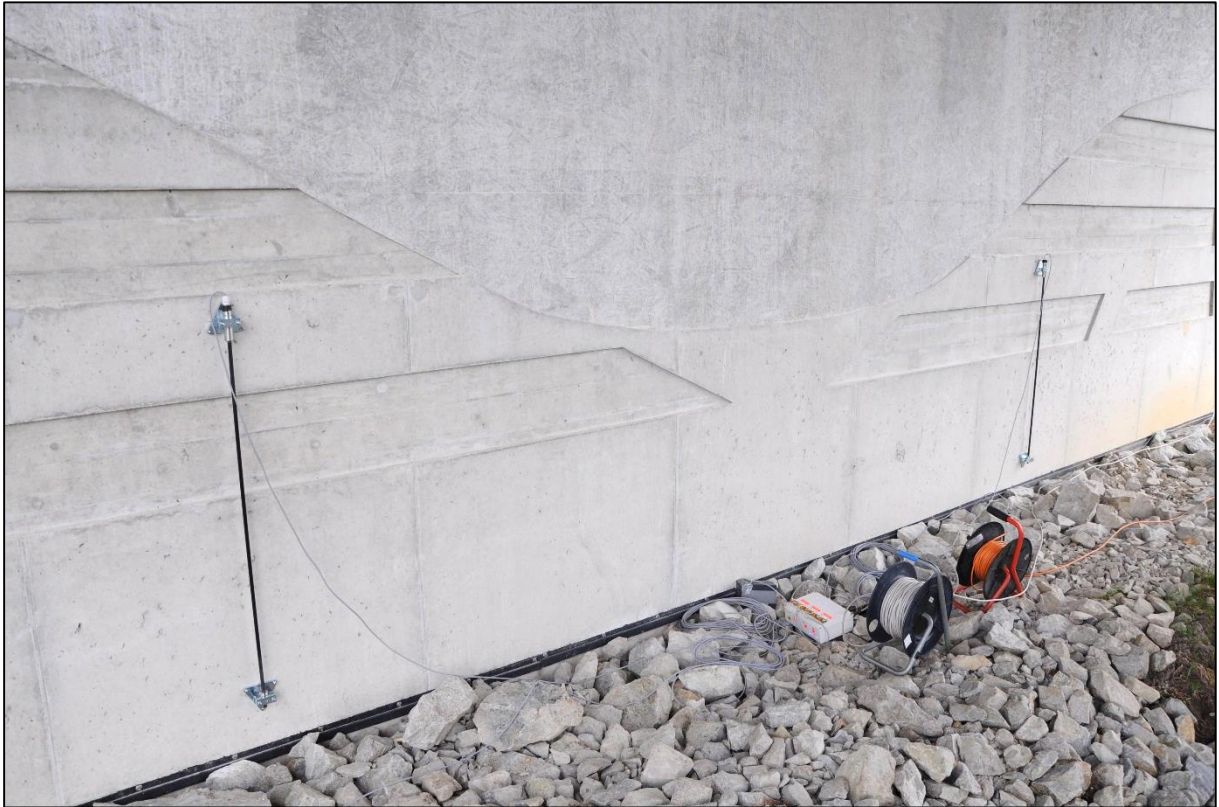
Měřicí základna: 1000 mm

Napěťový výstup: 0 až 10 V

Citlivost: 5000 mV/mm



Obr. 5: Detaily indukčního snímače na pilíři



*Obr. 6: Induktivní snímače na pilíři*

Každý snímač byl instalován pomocí 2 ocelových hmoždinek se závitem M10 do tělesa pilíře ve vertikálním směru.

## 6.2 Měření přetvoření (napětí) na kolejnici

K měření přetvoření (napětí) v kolejnici byly použity indukční snímače přetvoření SP\_1\_100. Celkový počet instalovaných snímačů přetvoření byl 22. Četnost a rozmístění snímačů přetvoření na kolejnicích vychází z dokumentu: „Specifikace požadavků na DZZ a BZ“ (autor doc. Ing. Pavel Ryjáček, Ph.D.), kde jsou definovány požadavky na měření přetvoření a zároveň i měření brzdných sil. Tyto snímače byly zároveň využity ke stanovení rychlosti a zrychlení nebo zpomalení zatěžovacích lokomotiv.

### Technické údaje:

Rozlišení:  $5 \cdot 10^{-6}$

Měřicí rozsah:  $\pm 100 \cdot 10^{-4}$



Měřicí základna: 100 mm

Napěťový výstup: 0 až 10 V

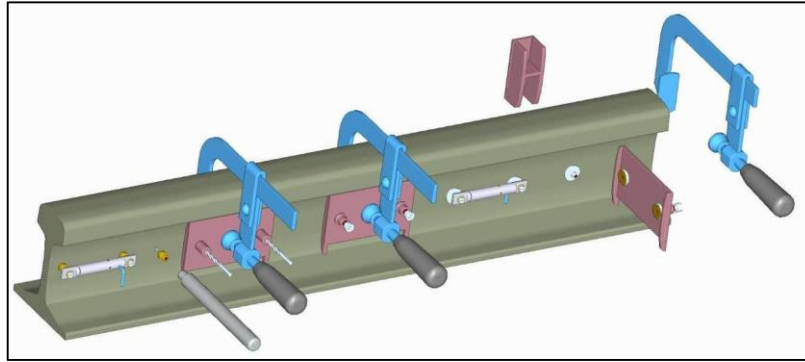
Citlivost: 5000 mV/mm



*Obrázek 14: Induktivní snímač přetvoření SP\_1\_100*

Snímač přetvoření byl instalován do tělesa kolejnice technologií vrtání. Běžně používaná technologie lepení, kterou by nebylo nutné vrtat do kolejnice, vyžaduje splnění specifických podmínek kombinace teploty a vlhkosti vzduchu, které v tomto případě splněny nebyly. Proto bylo v tomto případě přistoupeno k technologii vrtání a nalisování snímačů do kolejnice.

Pomocí speciální vrtací šablony byly vyvrtány 2 slepé otvory o  $\varnothing$  5 mm do hloubky 5 mm do kterých byly nalisovány antikoroziční fixační čepy opatřené závitem M5 k uchycení tělesa snímače. Výhodou tohoto způsobu je vytvoření pevného a stabilního uchycení. Kotvící body zůstanou po odinstalování snímače trvale v tělese kolejnice a lze je opětovně využít k případnému opakovanému měření. Na obrázku (Obrázek 15) jsou naznačeny oba způsoby instalace snímačů přetvoření. V levé části je technologie vrtání a v pravé technologie lepení.



Obrázek 15: Vrtání a lepení snímačů do kolejnic

### 6.3 Měření relativních posunů O/NK, P/NK

Toto měření bylo realizováno pomocí 10 ks indukčních snímačů dráhy DH 100 s odpruženým hrotem vybavených magnetickými upínkami. K přenosu relativního posunu mezi NK a měřicí základnou byl použit uzavřený ocelový profil 40x3 ČSN 426935 uchycený do pilíře/opěry rovněž pomocí ocelových hmoždinek M10.

#### Technické údaje:

Rozlišení:	10 <sup>-2</sup> mm
Měřicí rozsah:	0 až 100 mm
Napěťový výstup:	0 až 10 V
Citlivost:	100 mV/mm



Obrázek 16: Induktivní snímač dráhy DH 100

## 6.4 Měření relativních posunů koleje a NK

K měření relativních posunů mezi kolejí a mostem bylo použito 4 ks strunového induktivního snímače dráhy DKBT 50 uchyceného k naklápěcímu držáku. Struna byla k tělesu kolejnice fixována podobným způsobem jako snímače přetvoření (napětí).

### Technické údaje:

Rozlišení:  $10^{-2}$  mm  
Měřicí rozsah:  $\pm 50$  mm  
Napěťový výstup: 0 až 10 V  
Citlivost: 100 mV/mm



Obrázek 17: Strunový induktivní snímač dráhy DKBT 50

## 6.5 Měření teploty

K měření teploty byla použita lineární odporová teplotní čidla KTY-6 s teplotním zesilovačem. Rozšířená kombinovaná nejistota měření ( $k=2$ ) činila  $0,7$  °C. Celkem byly, podle požadavku, instalovány 3 snímače, a to na kolejnici, NK v kolejovém loži na spodním líci, a dále NK na horním povrchu hlavního nosníku.





Obrázek 18: Odporové teplotní čidlo KTY-6

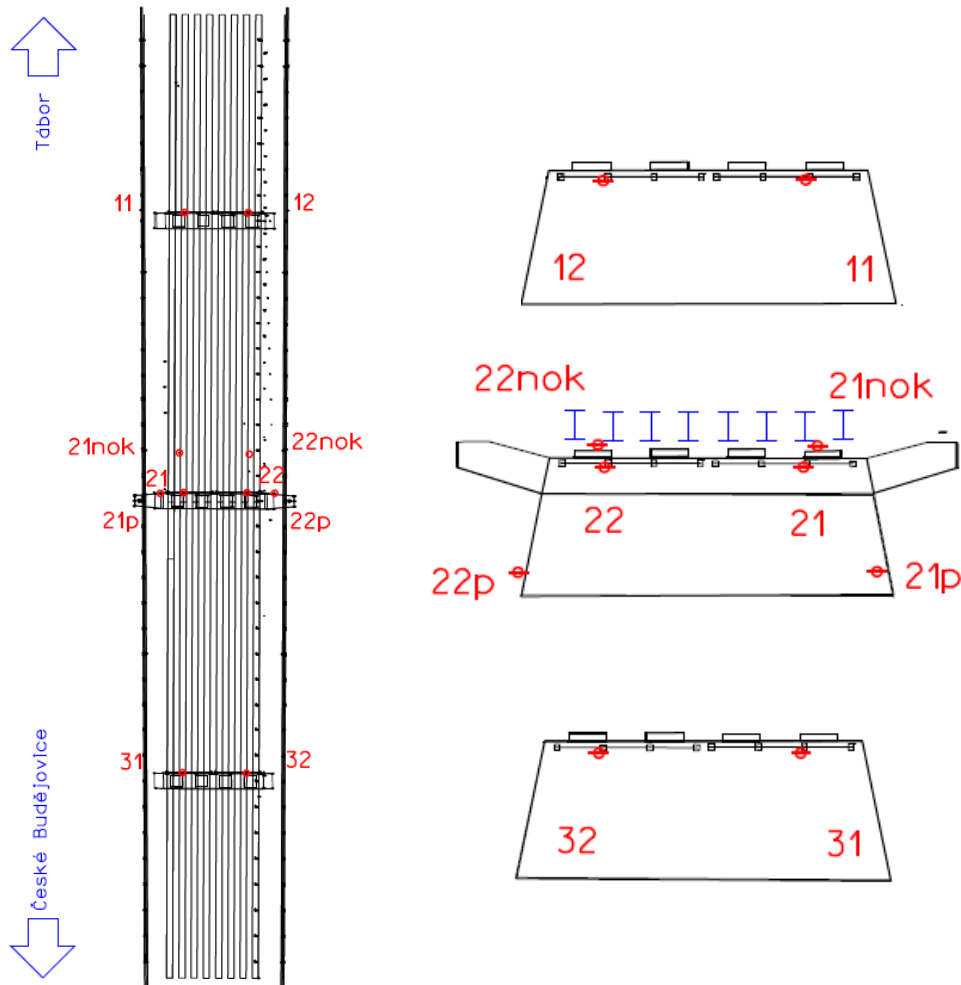
## 6.6 Měření absolutních deformací pilířů radarovou interferometrií InSAR

Měřicí technologie InSAR umožňuje monitorovat deformace mostu. Tato metoda funguje na dálkovém sledování odrazných koutových odražečů. Metoda má přesnost až 0,01 mm a dokáže sledovat kontinuálně více bodů najednou v reálném čase s frekvencí 50 Hz

Na každý pilíř byly umístěny dva koutové odražeče přímo pod osami každé koleje. Další koutové odražeče byly upevněny na patě středního pilíře ve výšce 50 cm nad zemí z vnější strany pilíře a ukotveny pomocí lepidla. Poslední dva koutové odražeče byly připevněny přímo na nosnou konstrukci u prostředního pilíře dva metry od hrany pilíře a vždy k druhému podélnému nosníku od okraje. Každý odražeč má své číslo, kde první číslice je číslo pilíře a druhá číslice je číslem koleje, pod kterou je umístěn. Dále jsou označeny písmenem p, jako pata pilíře a zkratkou nok, tedy nosná konstrukce.

Popis měřených bodů (Koutových odražečů)	
umístění	číslo KO
pilíř P1 - kolej 1	11
pilíř P1 - kolej 2	12
nosná ocelová konstrukce u P2 - kolej 1	21nok
pilíř P2 - kolej 1 - pata pilíře	21p
pilíř P2 - kolej 1 - hlava pilíře	21
nosná ocelová konstrukce u P2 - kolej 2	22nok
pilíř P2 - kolej 2 - hlava pilíře	22
pilíř P2 - kolej 2 - pata pilíře	22p
pilíř P3 - kolej 1	31
pilíř P3 - kolej 2	32
synchronizační snímač	00

Tabulka 3: Popis koutových odražečů



Obrázek 19: Schéma rozmístění odražečů

Při odečítání výsledků z interferometrie je třeba dát si pozor na číslování pilířů. Vintegra s.r.o. prohodila značení pilířů P1 a P3 oproti projektové dokumentaci. Správně dle projektové dokumentace je pilíř P1 první ze směru z Českých Budějovic. Tato práce a vyhodnocené výsledky z měření se pro přehlednost řídí značením použité společnosti Vintegra.



*Obrázek 20: Koutový odražeč na pilíři*



*Obrázek 21: Radar interferometrie*

## 6.7 Synchronizace měřících zařízení

Za tímto účelem byl využit přípravek dávající odezvu jak z analogového snímače, tak z metody radarové interferometrie. Tímto způsobem bylo možné původně nekompatibilní časové záznamy synchronizovat s chybou 5 ms.



Obrázek 22: Synchronizační zařízení

## 6.8 Měřicí počítače

Vzhledem k počtu snímačů byly pro potřeby brzdných sil použity 2 měřicí počítače, každý vybavený A/D převodníkovou 80 kanálovou měřicí kartou od firmy National Instruments USB 8255.



Obrázek 23: Měřicí počítače





## 6.9 Značení snímačů

Na schématu mostu (Obrázek 24) je uvedeno rozmístění čidel, včetně zesilovačů a délky použitých kabelů. Na prvním obrázku snímačů je dobře vidět, kde jsou rozmístěny jednotlivé snímače podle svých číselných názvů. Na druhém obrázku jsou zobrazeny čísla přiřazených kanálů a pojmenování snímačů. Vzhledem k velkému množství snímačů byly použity dva počítače pro sběr dat. Zeleně jsou označeny snímače připojené k počítači s označením A, červeně jsou označeny snímače připojené k počítači B.

Snímače přetvoření jsou na koleji 1 označeny názvy postupně od Českých Budějovic: K48, J46, J45, I38, G30, F22, F20, C12, B06, B05, A02. Na koleji 2 dva od Českých Budějovic to jsou snímače K47, J43, J44, I37, G29, F21, E19, C1, B03, B04, A01.

Strunové snímače pro měření relativních posunů DKBT50 mezi kolejí a NK: od Českých Budějovic jsou označeny J39 a J40. Ze směru z Prahy snímače B09 a B10.

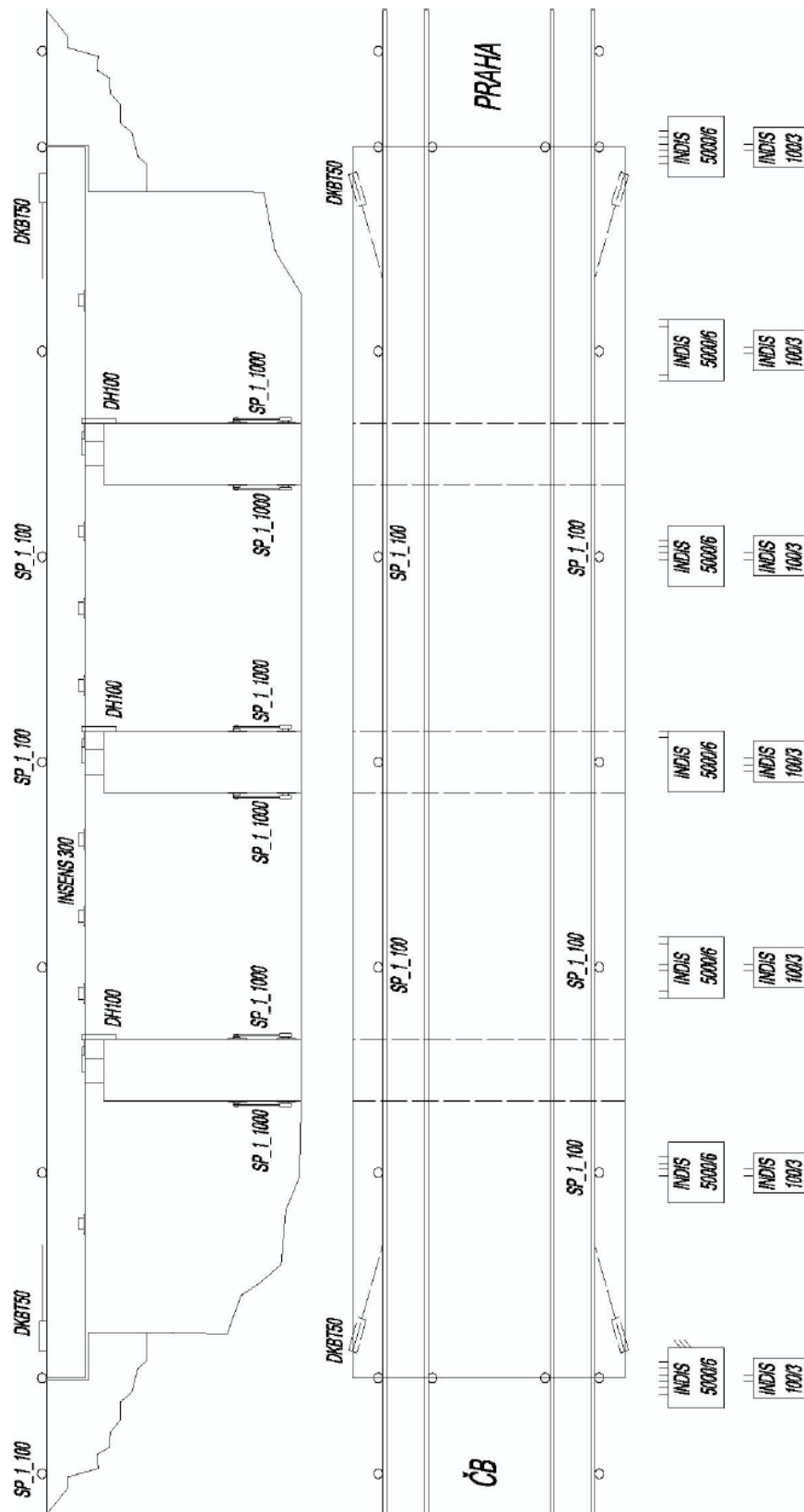
Snímače pro měření relativních přetvoření SP\_1\_1000 v patě pilíře P1 (P1 dle spol. Vintegra) jsou D18, D17, D16, D15. Pro pilíř P2 snímače: F25, F26, F27, F28. Pro pilíř P3 snímače: H33, H34, H35, H36.

Relativní posuny měřené mezi NOK a opěrami ve směru na ČB snímači DH100 jsou označeny J42, J41, na Prahu pak B07, B08.

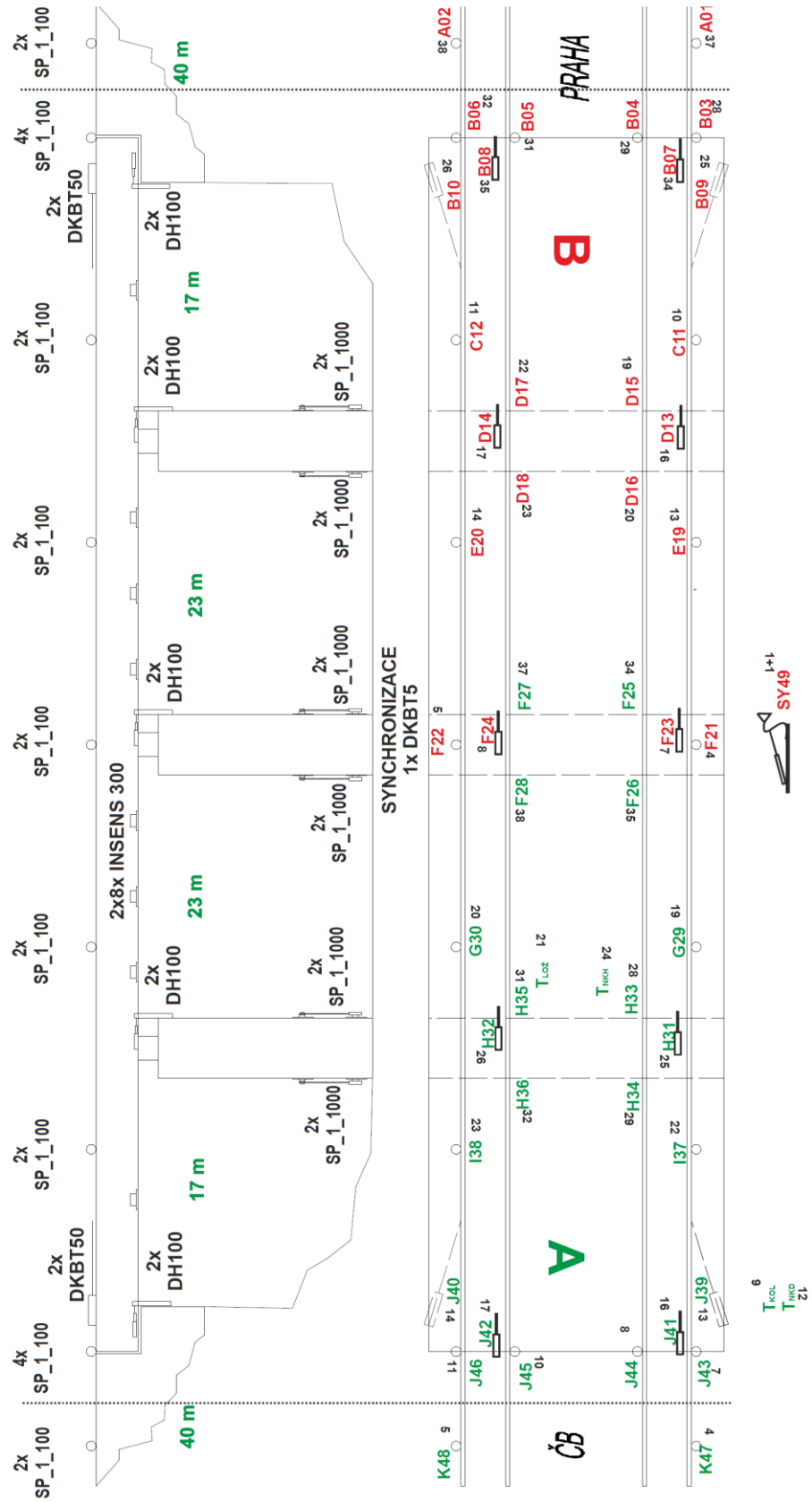
Relativní posuny měřené snímači DH100 mezi NOK, jsou označeny na pilíři P1: D13, D14, na pilíři P2: F23, F24, na pilíři P3: H31, H32

Synchronizační čidla pro sjednocení záznamů jsou označeny SY49.

Dále jsou na mostě snímače teploty. Měřena je teplota koleje  $T_{KOL}$ , teplota nosné konstrukce dole pod mostem  $T_{NKD}$ , teplota nosné konstrukce nahoře  $T_{NKH}$  a teplota kolejového lože  $T_{LOŽ}$ .



Obrázek 24: Rozmístění snímačů na mostě



Obrázek 25: Číslo kanálů a názvy přiřazené snímačům





## 7 Vyhodnocení měření

Získaná binární data z analogových snímačů bylo nutné nejdříve zpracovat. Použit byl software SUDONYN společnosti INSET, pomocí kterého mohlo dojít k:

- Odstranění offsetu (statické složky časových průběhů)
- Nalezení času synchronizace (nuly)
- Odstranění rušivých složek (filtrace signálu pomocí FFT analýzy)
- Oříznutí záznamu
- Nalezení funkční závislosti pohybu (ujeté dráhy) lokomotivy na čase  $s=s(t)$
- Konverzi upravených binárních dat do textového formátu \*.mio na \*.txt

Dále bylo nutné sloučit časové řady z obou měřících počítačů a z radarové interferometrie. Pro sloučení bylo použito program SUDONYN, který firma INSET vyvinula speciálně pro slučování dat z více počítačů. Tento program dovoluje časově synchronizovat jednotlivé datové soubory a slučovat je dohromady.

Viz následující konverzní schéma pro každou řadu měření:

A.mio → A.txt

B.mio → B.txt

A.txt + B.txt = (A+B).txt + V.txt = ABV.dat

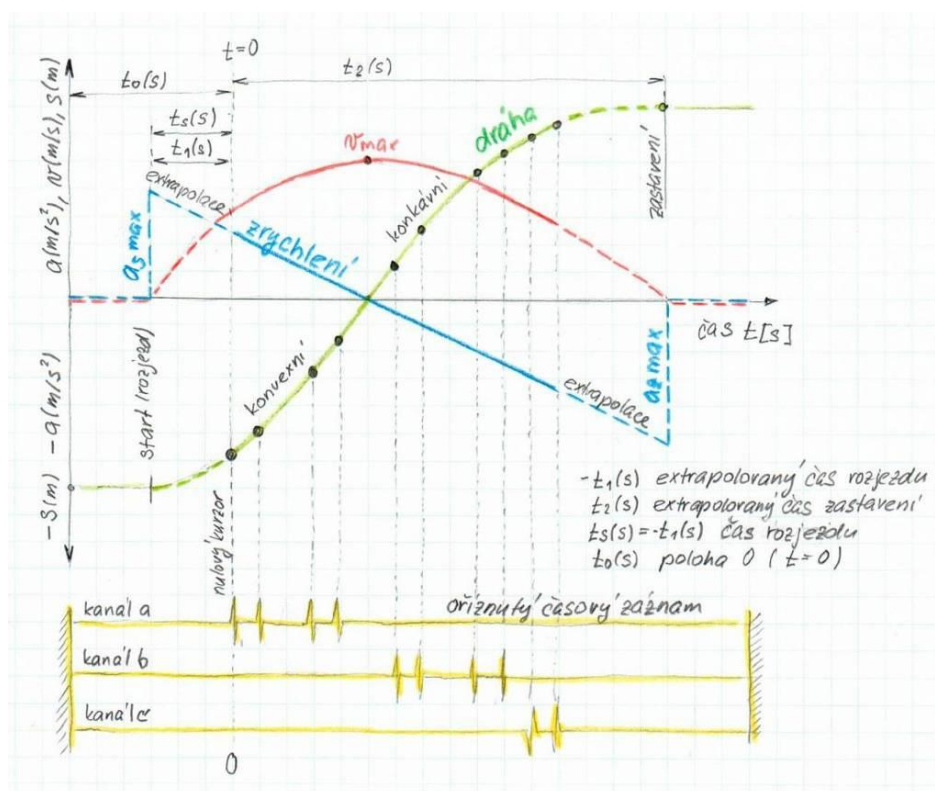
Výsledný soubor ABV.dat lze pomocí programu SUDODYN.exe analyzovat a následně prezentovat výsledky z různých kombinací snímačů (kanálů). Výsledky byly uloženy do souboru.txt a naimportovány do Excelu pro lepší přehlednost.

## 7.1 Měření rychlosti a zrychlení lokomotiv

### 7.1.1 Teorie

Ke zjištění vzájemných vazeb kinematických veličin dráha-rychlost-zrychlení byly využity snímače přetvoření SP\_1\_100, které dávají velmi dobrou odezvu na průjezd, tedy polohu kola lokomotivy. Lokální maxima v grafech sestavených z časových záznamů ze snímačů přetvoření v kolejnicích, nám umožnila zjistit časy přejezdu jednotlivých kol lokomotivy přes měřená místa. Tímto způsobem bylo možné z rozměrů náprav zatěžovacích lokomotiv a polohy snímače určit polohu lokomotivy, a následně pak ze závislosti  $s=s(t)$  zjistit okamžitou rychlost a zrychlení. Dráhu lze poté vyjádřit polynommickou rovnicí třetího stupně, závislost dráhy na čase  $s = s(t)$  ve tvaru:

$$s = at^3 + bt^2 + ct + d \quad [m]$$



Obrázek 26: Časové parametry, zdroj: INSET s.r.o.

Z první a druhé derivace vztahu dostáváme okamžitou rychlost lokomotivy či zrychlení ve tvaru:

$$v = 3at^2 + 2bt + c \quad [m/s]$$



$$a = 6at + 2b \quad [m/s^2]$$

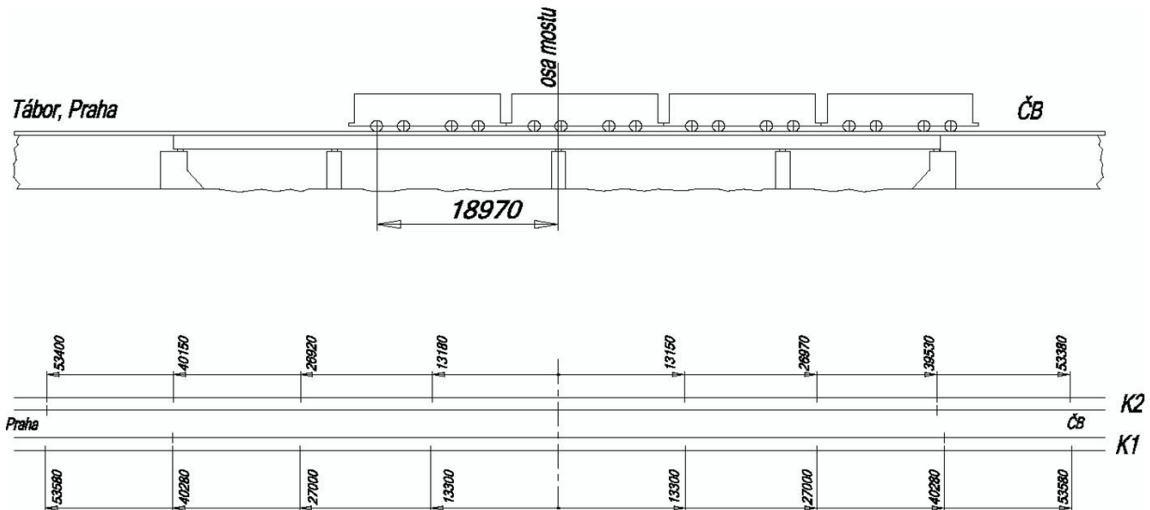
Na výše načrtnuté skice je zřejmý význam časových parametrů  $t_0(s)$  a  $t_s(s)$ , které jsou důležité pro stanovení počátečních podmínek a dopočítání jednotlivých parametrů rovnice dráhy a z těchto rovnice snadno dopočítat průběh rychlosti a zrychlení. Program SUDODYN a jím vyhodnocené data zahrnuje, krom naměřených údajů, též časové průběhy dráhy, rychlosti a zrychlení.

Dále jsou ze skici (Obrázek 26) patrné konsekvence mezi dráhou (polynom 3. stupně), rychlostí a zrychlením. Tam, kde má křivka dráhy inflexní bod, dosahuje rychlost svého maxima a zrychlení mění znaménko.

Okamžik startu i okamžik zastavení včetně polohy přední nápravy lokomotivy bylo vždy nutné určit výpočtem. Z načrtnutého modelu vyplývá i znaménková konvence pro dráhu a čas. Pokud se lokomotiva blížila ke středu mostu, přijížděla vždy ze záporné strany. Čas  $t = 0$  je časem, kdy došlo k synchronizaci časových záznamů z analogových měření a měření deformací metodou radarové interferometrie. Tímto způsobem bylo možné kombinovat 2 nezávislé měřicí systémy.

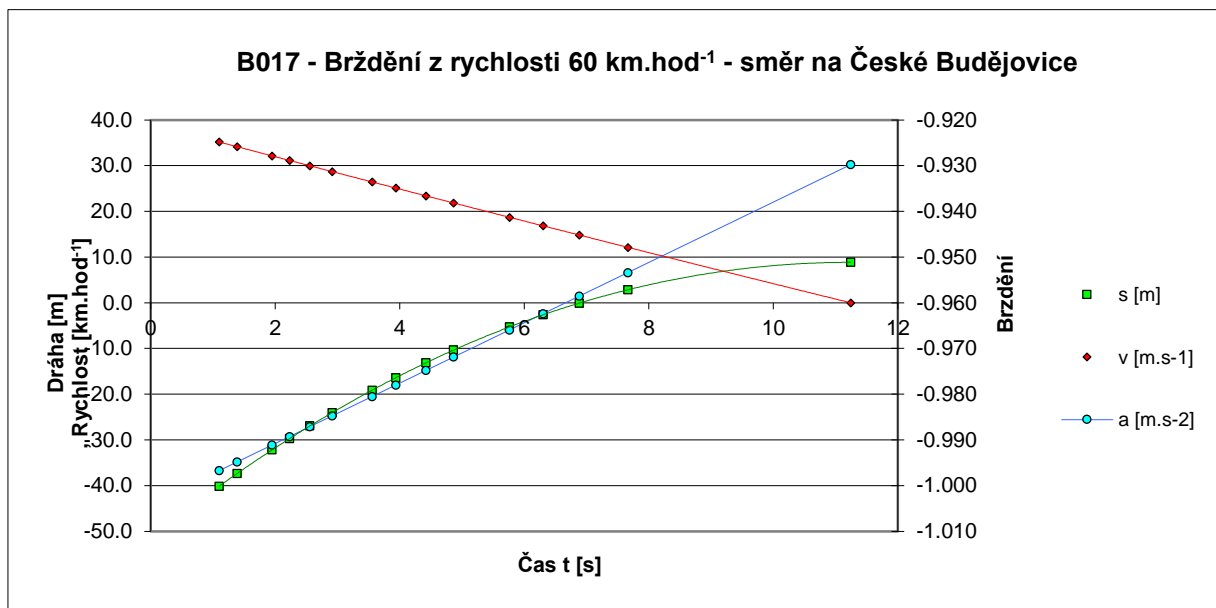
chanel	U030 - Brždění z rychlosti 60 km.hod <sup>-1</sup> - směr na Prahu											roots of a quadr.equation	
	t [s]	s [m]	A	B	C	D	s [m]	v [m.s <sup>-1</sup> ]	v [km.hod <sup>-1</sup> ]	a [m.s <sup>-2</sup> ]	t1	t2	
4	-0,01	-53,38	-0,0091	-0,2899	10,804	-53,206	-53,3	10,81	38,9	-0,579	-33,17	11,93	
7	1,305	-39,53	-0,0091	-0,2899	10,804	-53,206	-39,6	10,00	36,0	-0,651			
	1,598	-36,73	-0,0091	-0,2899	10,804	-53,206	-36,7	9,81	35,3	-0,667			
	2,113	-31,73	-0,0091	-0,2899	10,804	-53,206	-31,8	9,46	34,0	-0,695			
	2,414	-28,93	-0,0091	-0,2899	10,804	-53,206	-28,9	9,25	33,3	-0,712			
22	2,63	-26,97	-0,0091	-0,2899	10,804	-53,206	-27,0	9,09	32,7	-0,723			
7	3,056	-23,09	-0,0091	-0,2899	10,804	-53,206	-23,2	8,78	31,6	-0,747			
	3,38	-20,29	-0,0091	-0,2899	10,804	-53,206	-20,4	8,53	30,7	-0,764			
	3,99	-15,29	-0,0091	-0,2899	10,804	-53,206	-15,3	8,06	29,0	-0,798			
19	4,274	-13,15	-0,0091	-0,2899	10,804	-53,206	-13,0	7,83	28,2	-0,813			
7	4,354	-12,49	-0,0091	-0,2899	10,804	-53,206	-12,4	7,76	27,9	-0,818			
	5,134	-6,65	-0,0091	-0,2899	10,804	-53,206	-6,6	7,11	25,6	-0,860			
	5,534	-3,85	-0,0091	-0,2899	10,804	-53,206	-3,8	6,76	24,3	-0,882			
	6,313	1,15	-0,0091	-0,2899	10,804	-53,206	1,2	6,06	21,8	-0,924			
	6,793	3,95	-0,0091	-0,2899	10,804	-53,206	4,0	5,61	20,2	-0,951			
	7,942	9,79	-0,0091	-0,2899	10,804	-53,206	9,8	4,48	16,1	-1,013			
	8,609	12,59	-0,0091	-0,2899	10,804	-53,206	12,5	3,79	13,6	-1,050			
	10,451	17,59	-0,0091	-0,2899	10,804	-53,206	17,7	1,76	6,3	-1,150			
	11,93	18,97	-0,0091	-0,2899	10,804	-53,206	19,0	0,00	0,0	-1,231			

Tabulka 4: Výpočet přejezdu lokomotivy u testu B030

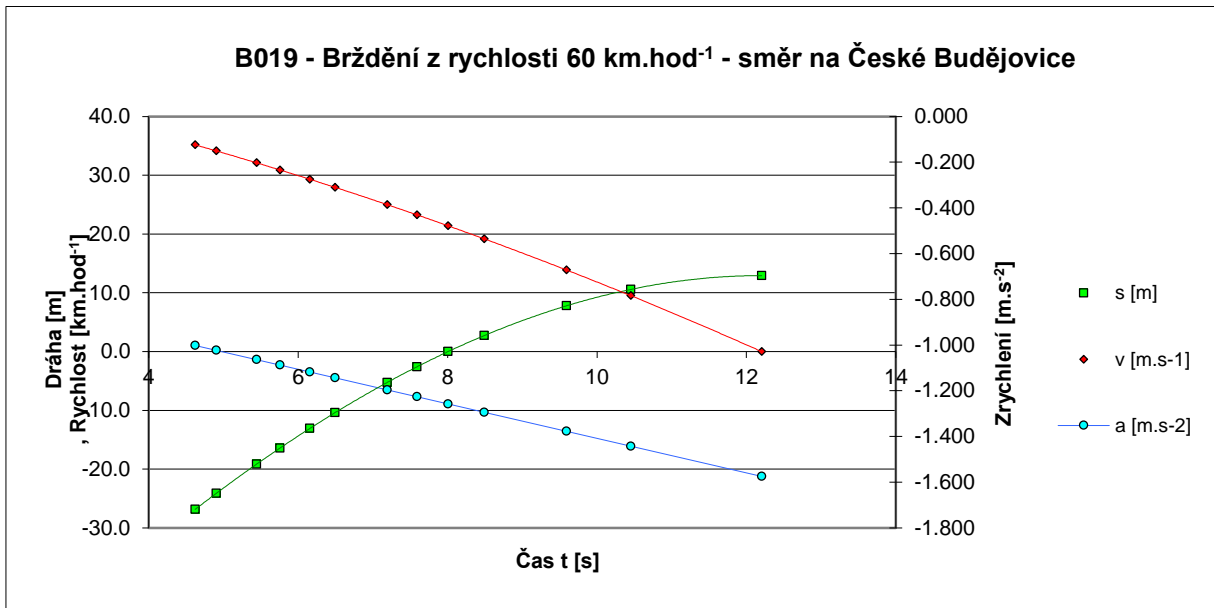


Tabulka 5: Vzdálenosti čidel od středu mostu

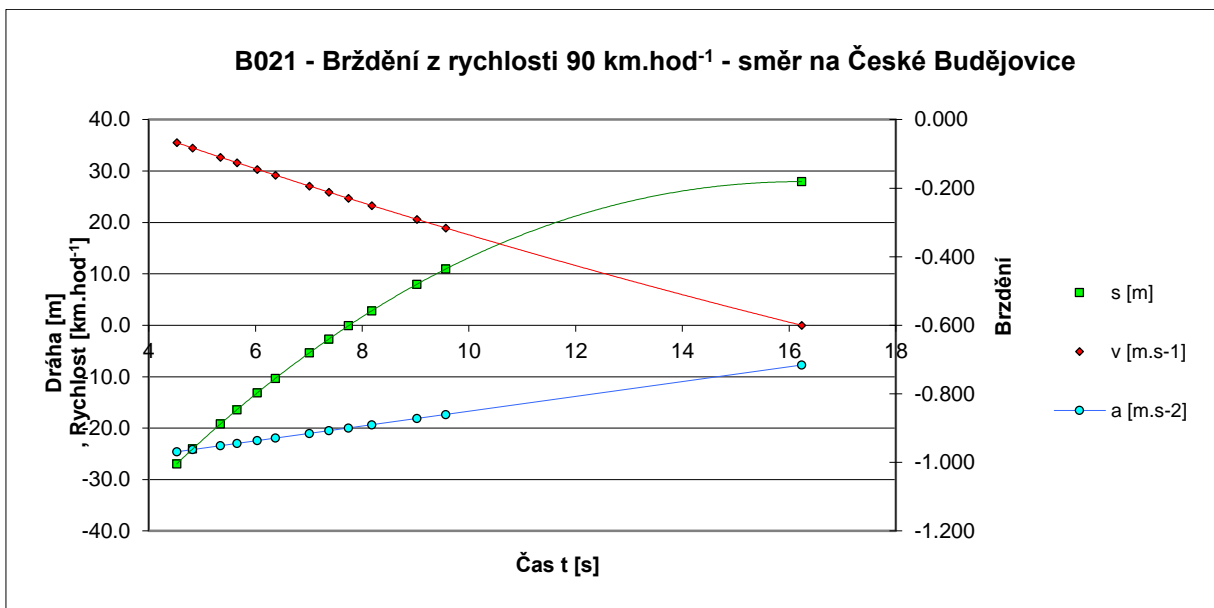
### 7.1.2 Vyhodnocené časové průběhy pohybu lokomotiv z vybraných testů



Obrázek 27: Časový průběh testu B017

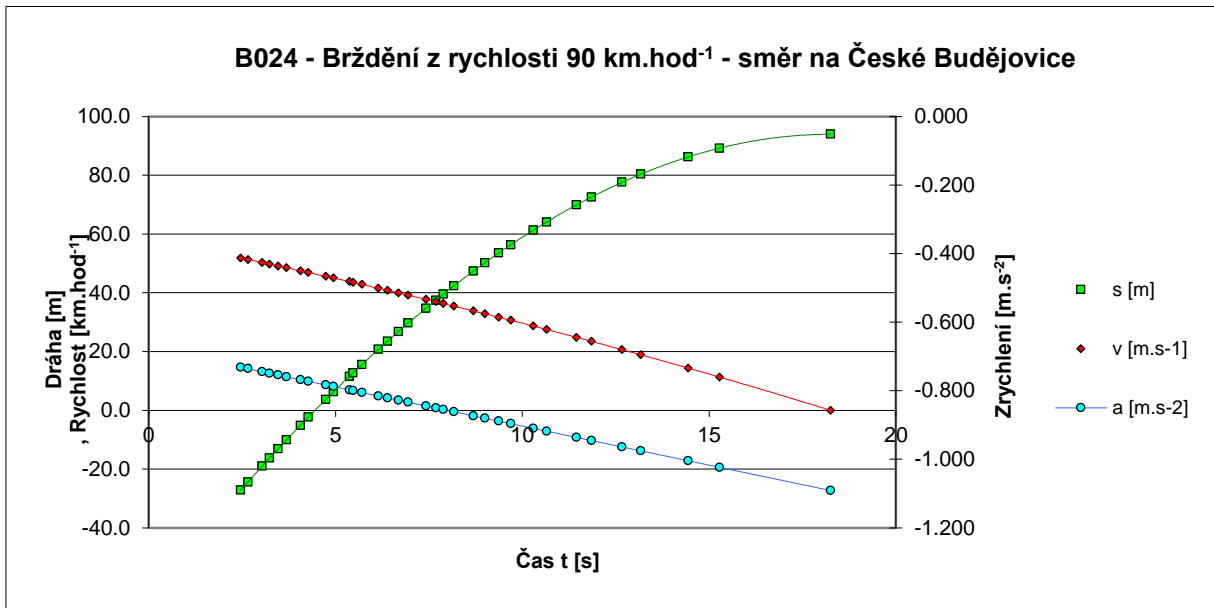


Obrázek 28: Časový průběh testu B019

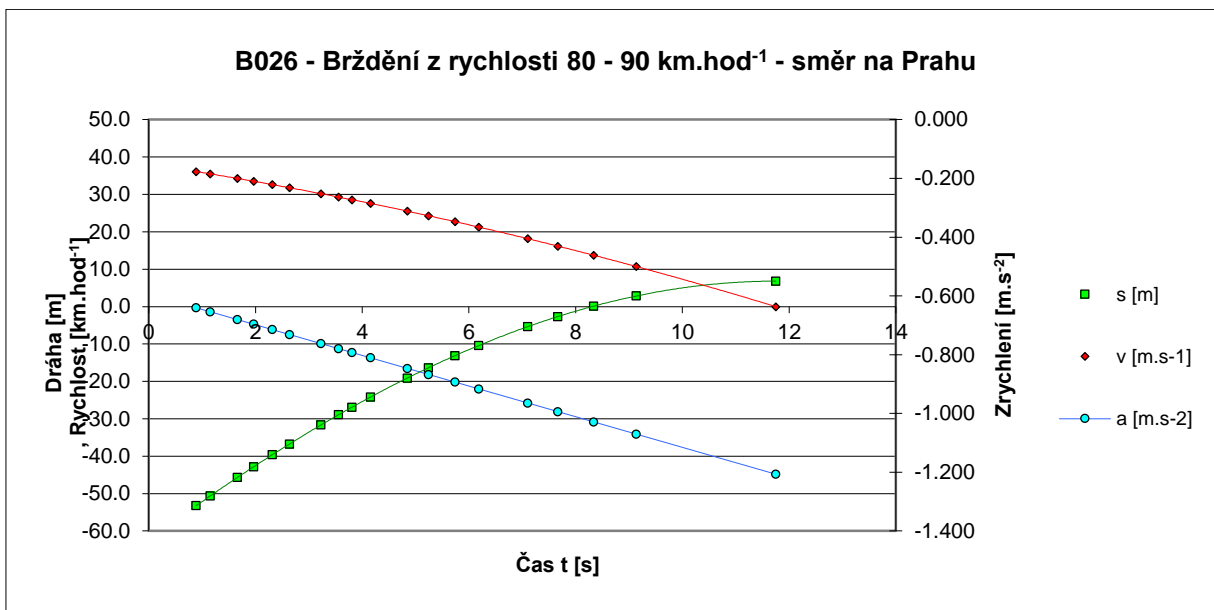


Obrázek 29: Časový průběh testu B021

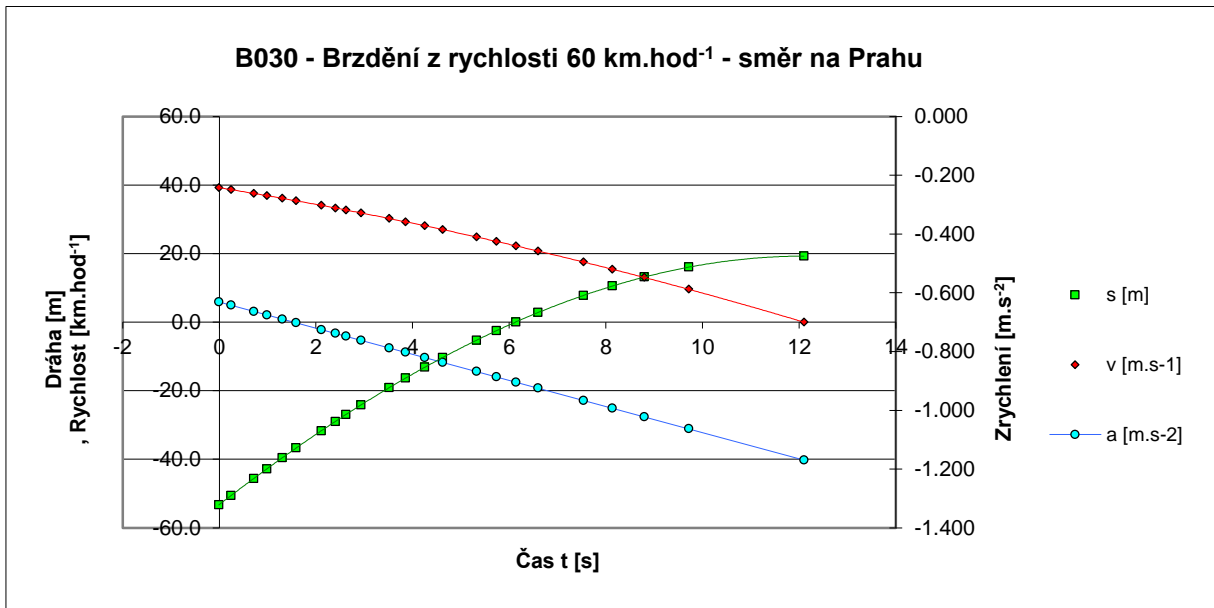




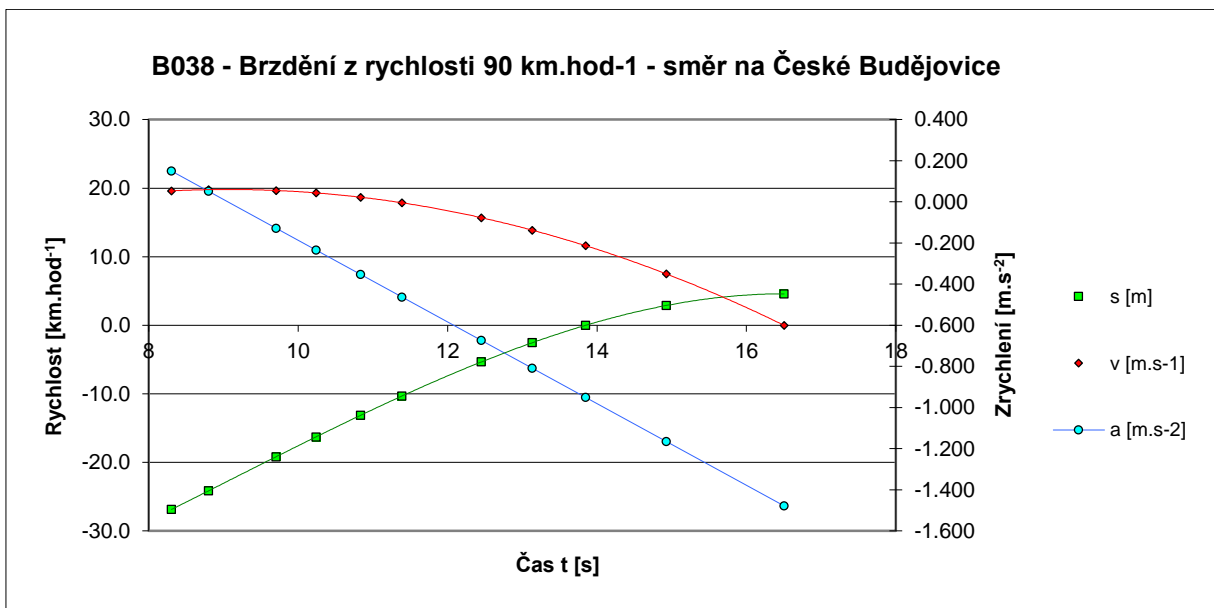
Obrázek 30: Časový průběh testu B024



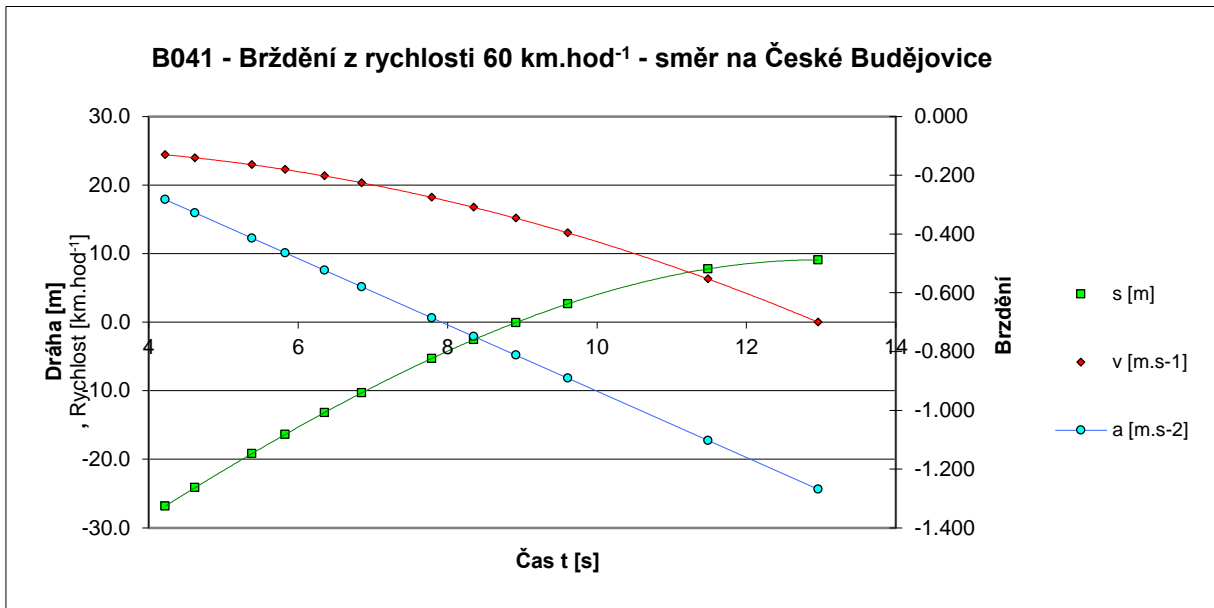
Obrázek 31: Časový průběh testu B026



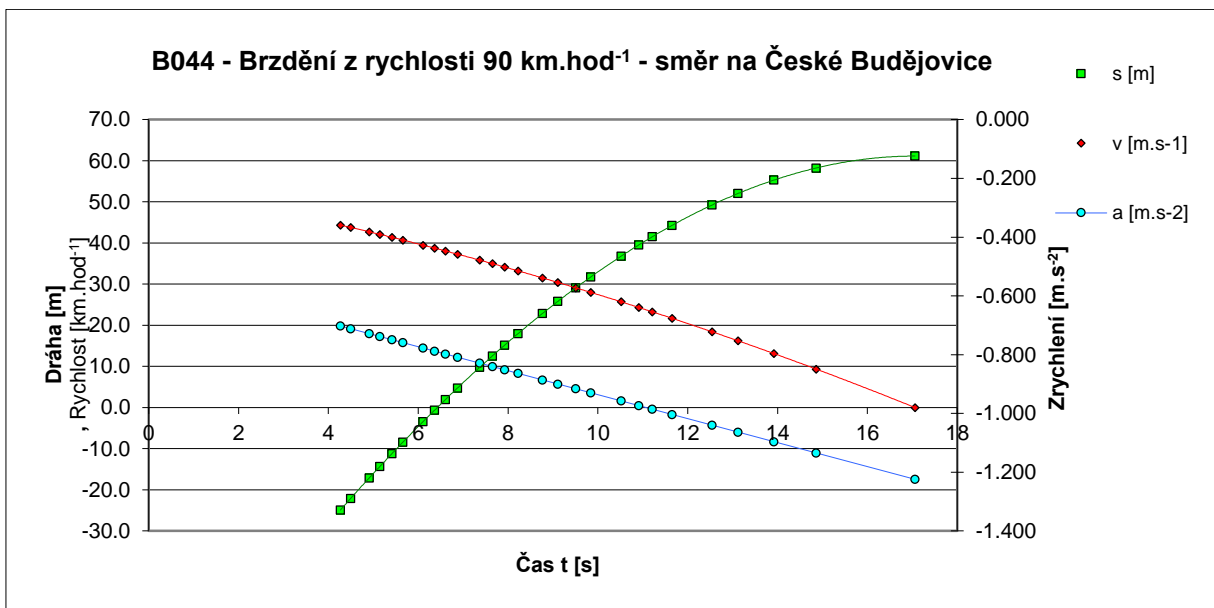
Obrázek 32: Časový průběh testu B030



Obrázek 33: Časový průběh testu B038

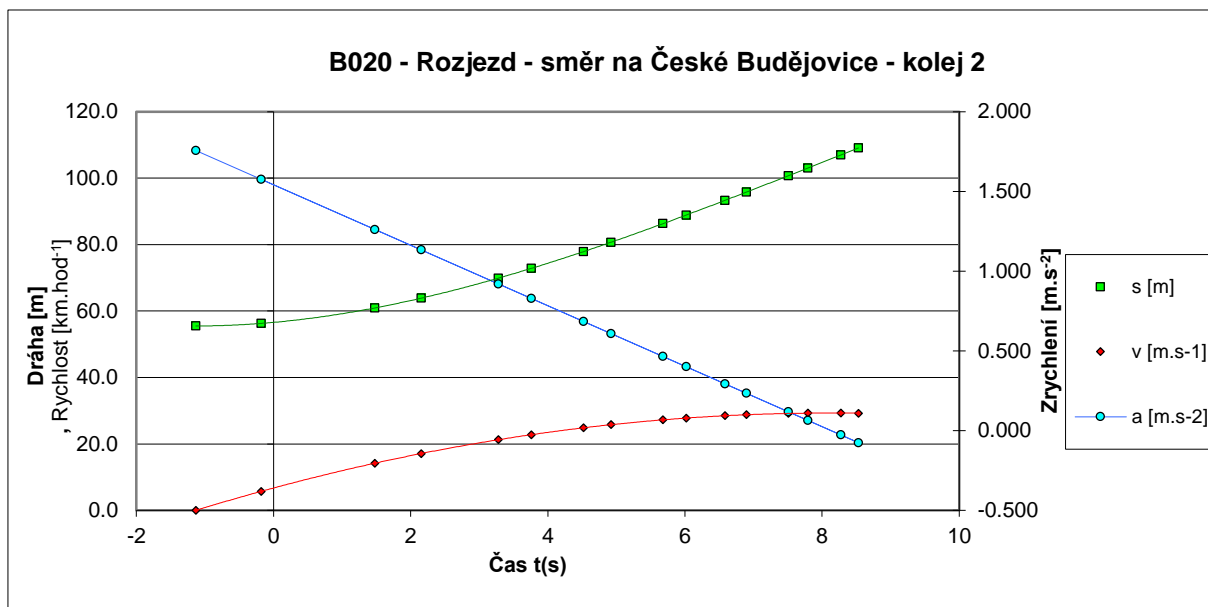


Obrázek 34: Časový průběh testu B041



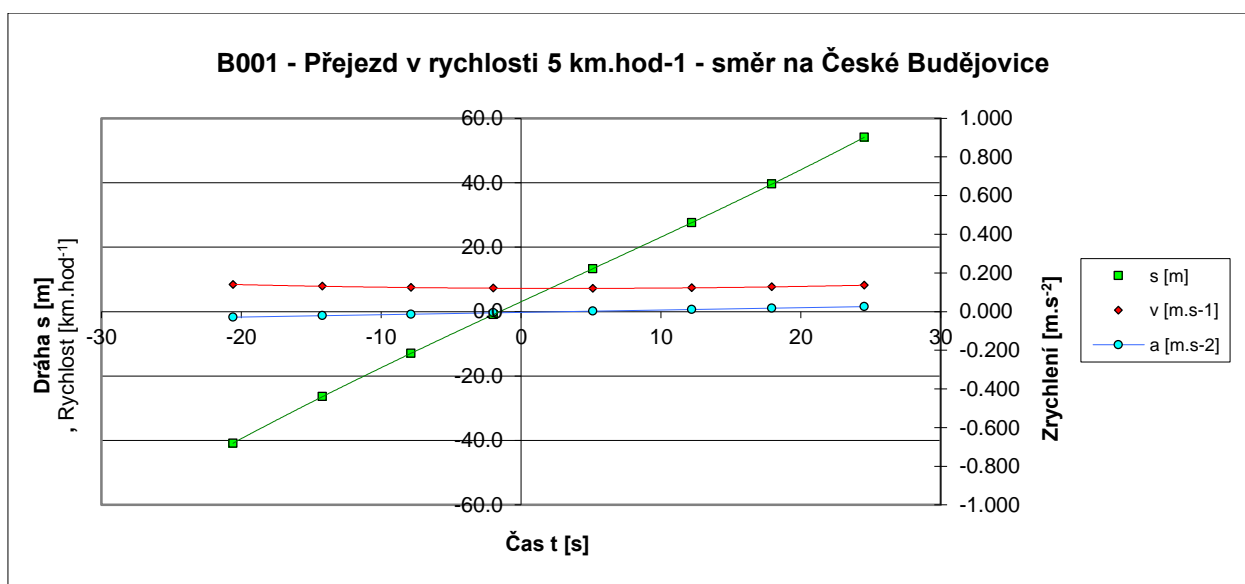
Obrázek 35: Časový průběh testu B044

Všechny rozjezdové zkoušky vykazovaly poměrně konstantní výsledky. Lokomotivy se vždy rozjížděly na plný výkon směrem, ze kterého přijely. Pro výpočet a sil z rozjezdu je proto v práci vyhodnocen pouze jeden rozjezd:



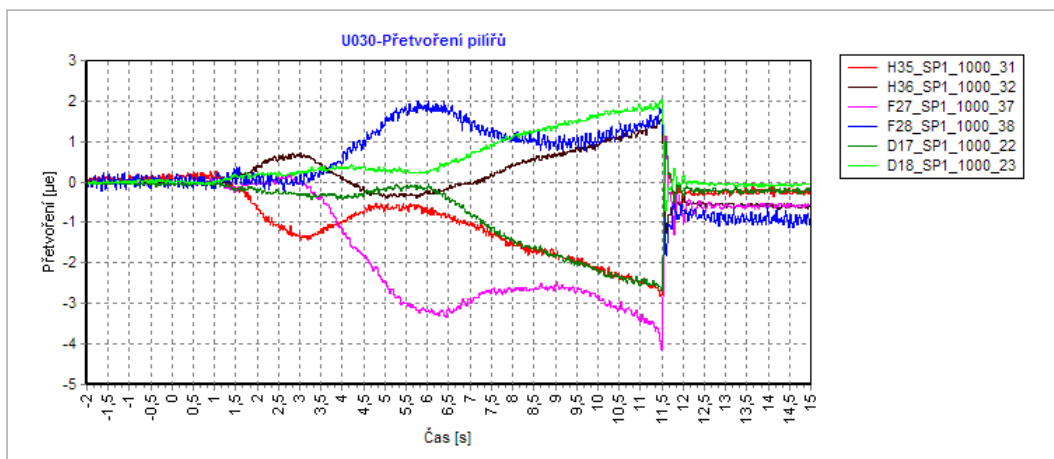
Obrázek 36: Časový průběh testu B020

Pro ověření zda použitá metoda vyhodnocení vyhovuje našemu měření, je ještě přiložen graf z přejezdu lokomotiv. Výsledky odpovídají předpokladům. Vykreslení dráhy má lineární průběh. Rychlost má téměř konstantní průběh. Zrychlení se pohybuje kolem nulových hodnot. Metoda vyhodnocení měření tedy funguje správně.



Obrázek 37: Časový průběh testu B001

### 7.1.3 Názorné vykreslení výsledků napětí na pilířích

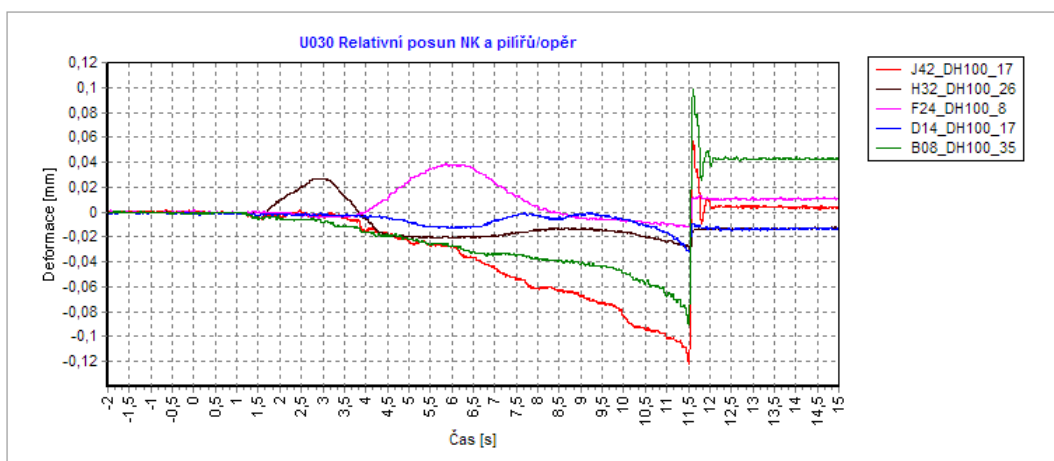


Obrázek 38: Přetvoření pilířů při testu B030

Pomocí tenzometrů SP\_1\_1000 instalovaných na spodní části pilíře, jsme schopni vypočítat napětí na pilíři během zatěžování. Na středním pilíři to jsou snímače s kanály č. 37 a 38. Z grafu je vidět, že je s ostatními pilíři nejvíce namáhaný, i když rozdíl není tak výrazný.

Z obrázku je patrné, že k zastavení došlo v intervalu 11,5 až 12 s. Přetvoření je v jednotkách mikroepsilon. To znamená, že tlakové napětí na středovém pilíři při modulu pružnosti  $E = 30\,000\text{ MPa}$  pro beton C30/37 dosáhlo hodnoty  $\sigma = E \cdot \varepsilon = 30\,000 \cdot 4 \cdot 10^{-6} = 0,12\text{ MPa}$ .

### 7.1.4 Relativní posun mezi pilířem/opěrou a nosnou konstrukcí

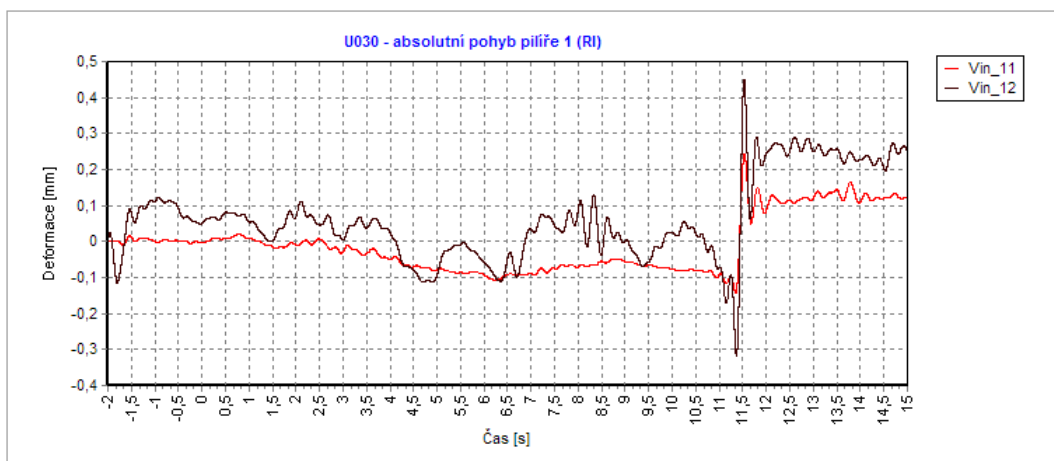


Obrázek 39: Graf relativního posunu mezi NOK a pilířem/opěram při testu B030



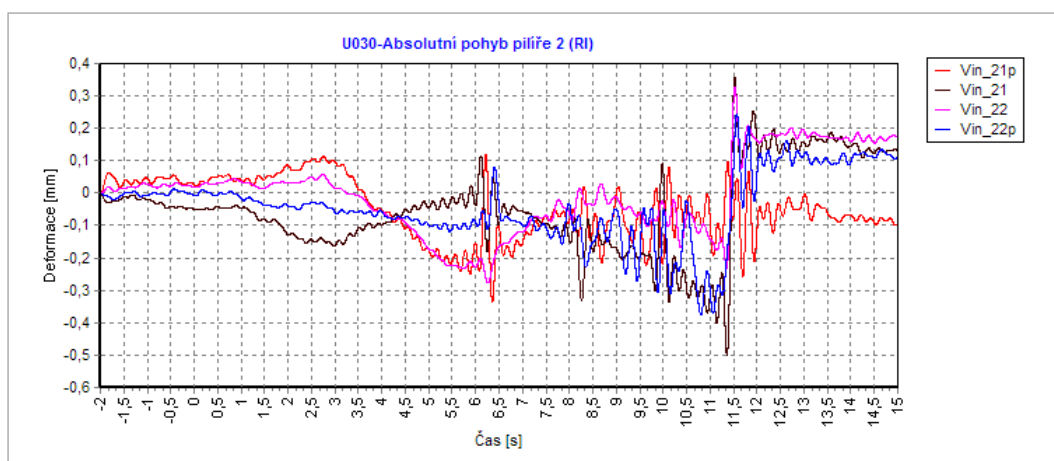
Největší posuny byly zaznamenány na mostních závěrech (J42 a B08). Nejmenší deformaci vykázal snímač D14 na pilíři 3. Nejmenší deformace tak logicky nastanou na středním pilíři s pevnými ložisky.

### 7.1.5 Absolutní pohyb pilířů



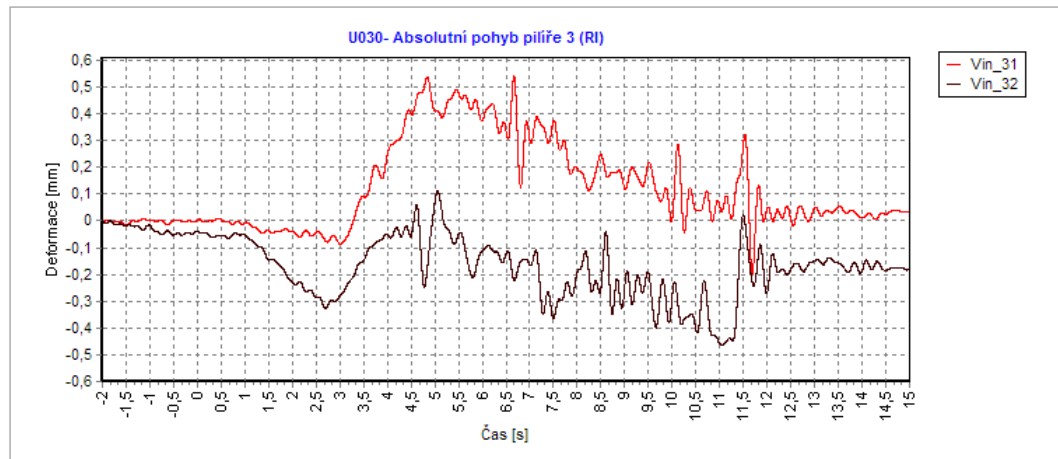
Obrázek 40: Absolutní pohyb pilíře P1 při testu B030

Z grafu je vidět, že vlak pravděpodobně dobrzdil v čase 11,5 s. Maximální výchylka pilíře P1 v hlavě je 0,4 mm. Pilíř byl při tomto brzdění v pořadí, až za prostředním pilířem a tak je vidět, že účinky se na něm projeví až při konečném dobrzdění. Vlak zastavil těsně před tímto pilířem. Značka „Vin“ u značení čidla je zkratka pro hodnoty získané z interferometrie společnosti Vintegra.



Obrázek 41: Absolutní pohyb pilíře P2 při testu B030

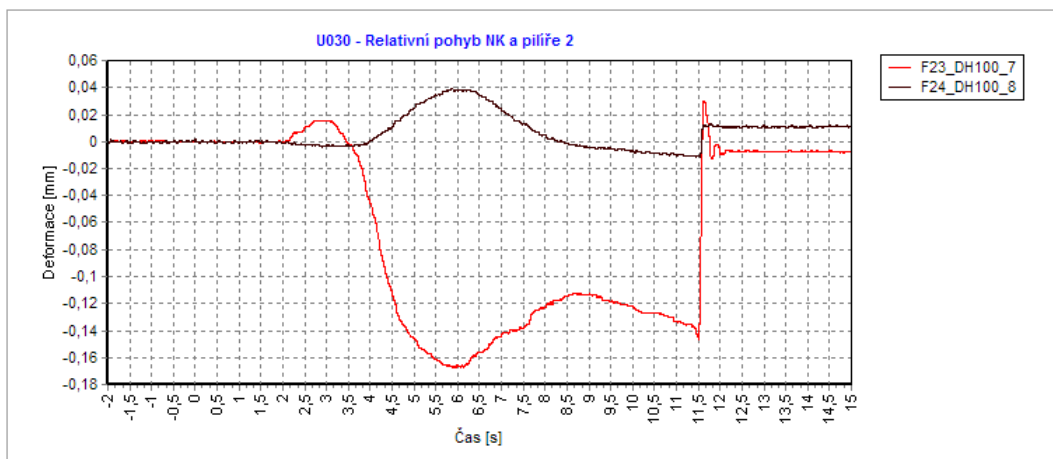
V čase 1,3 sekundy vjede vlak na most. Pilíř se krátce vychýlí na hodnotu 0,1 mm. V čase 3,0 sekundy mine první náprava první pilíř, výchylky pilíře jdou poté na druhou stranu na hodnotu přibližně 0,2 mm. V čase 6,1 sekundy pak první náprava míjí střední pilíř. Výchylky se opět přehoupnou na druhou stranu. V čase 12,1 sekundy pak vlak dobrzdí, metr od osy třetího pilíře. Hodnota deformace se vyšplhala až na hodnoty 0,4 až 0,5 mm. Po dobrzdění vlaku se pilíř pohne na druhou stranu a zůstane na hodnotě 0,2 mm.



Obrázek 42: Pohyb pilíře P3 při testu B030

Pilíř P3 je první při vjezdu lokomotiv na most v čase 1,3 sekundy, od té doby roste jeho deformace. V čase 3,0 sekundy ho mine první náprava vlaku a deformace se začnou přesouvat na opačnou stranu. V čase 6,1 sekundy vlak mine střední pilíř a deformace se zmenšují až zastavení vlaku v čase 12,1 sekundy.

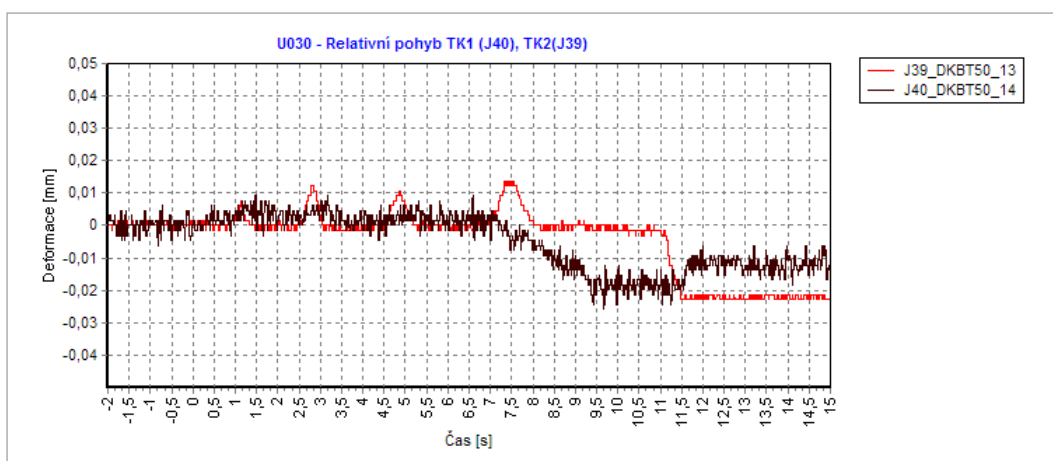
Pro porovnání absolutních pohybů NK před pilířem 2 je uveden i relativní pohyb v místě pilíře 2. Pohyb naměřený na snímači F23 je významnější než pohyb na snímači F24. To je dáno faktem, že snímač F23 byl umístěn nad kolejí č. 2, po které se pohybovala vlaková souprava.



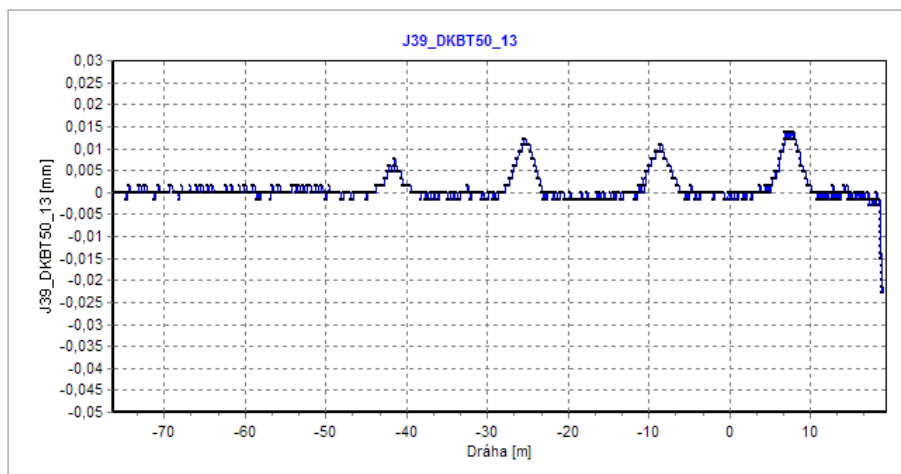
Obrázek 43: Relativní pohyb NK a pilíře P2 při testu B030

### 7.1.6 Relativní pohyb kolejnice vůči opěře

Strunové snímače J39 a J40 relativního pohybu instalované na straně příjezdu vlakové soupravy (od Českých Budějovic). Snímač J39 na koleji 2 (po ní přijížděla vlaková souprava) a snímač J40 na koleji 1. Na prvním grafu (Obrázek 44) je znázorněn časový průběh relativního pohybu kolejnice, zatímco na druhém grafu (Obrázek 45) je velikost deformace vztažená na polohu přední nápravy. Největší pohyb 0,022 mm byl zaznamenán v okamžiku zastavení (poloha cca 19 m od osy mostu). Snímač DKBT50 byl orientován tak, že vysouvání struny mělo záporné znaménko.



Obrázek 44: Relativní pohyb kolejnice vůči opěře



Obrázek 45: Velikost deformace v závislosti na poloze přední nápravy

## 7.2 Výpočet brzdných a rozjezdových sil

Tato kapitola se zabývá vyhodnocením vodorovných sil z brzdných a rozjezdových zkoušek. Průběhy těchto sil jsou pak dále použity při zatěžování v numerickém modelu.

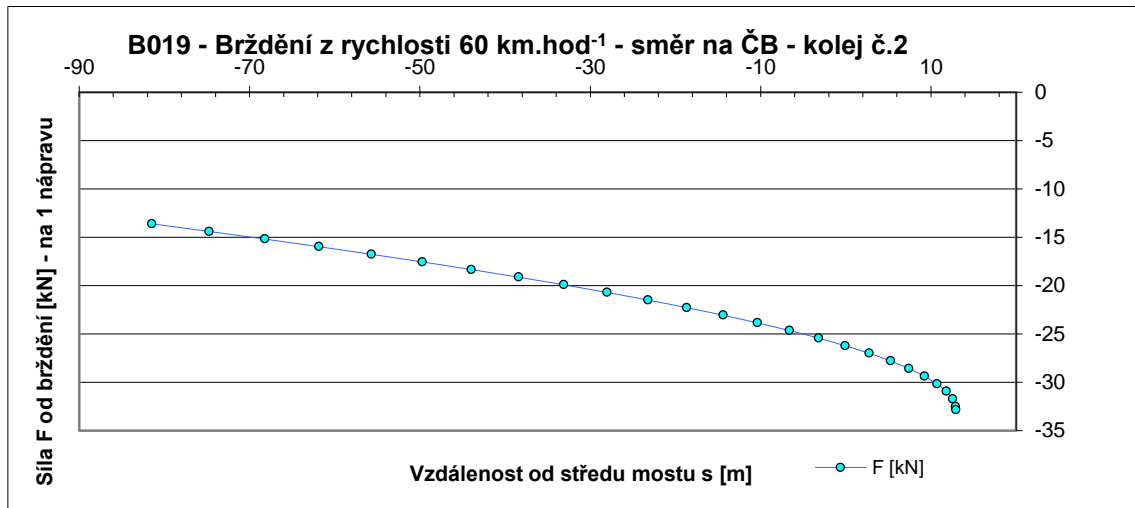
### 7.2.1 Výpočet brzdných sil

Výpočet síly brzdícího nebo rozjíždějícího vlaku působící na kolej, lze dopočítat ze vzorce:

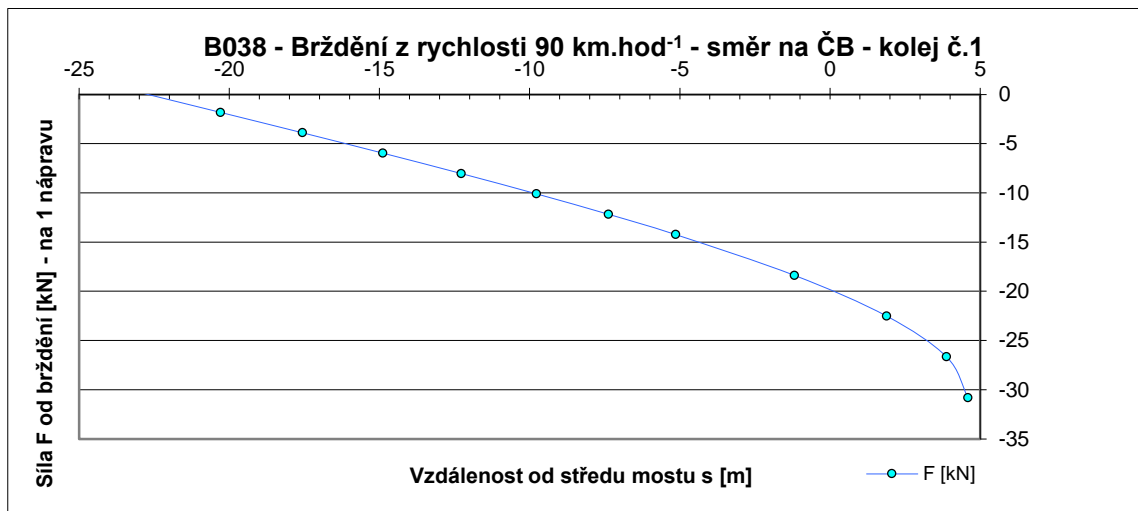
$$F = m \cdot g$$

Zde použijeme zrychlení dopočítaná v předchozí kapitole pro jednotlivé zatěžovací stavy. Hmotnost jedné lokomotivy je přibližně 85 tun, dle dokumentace výrobce Škoda Plzeň.

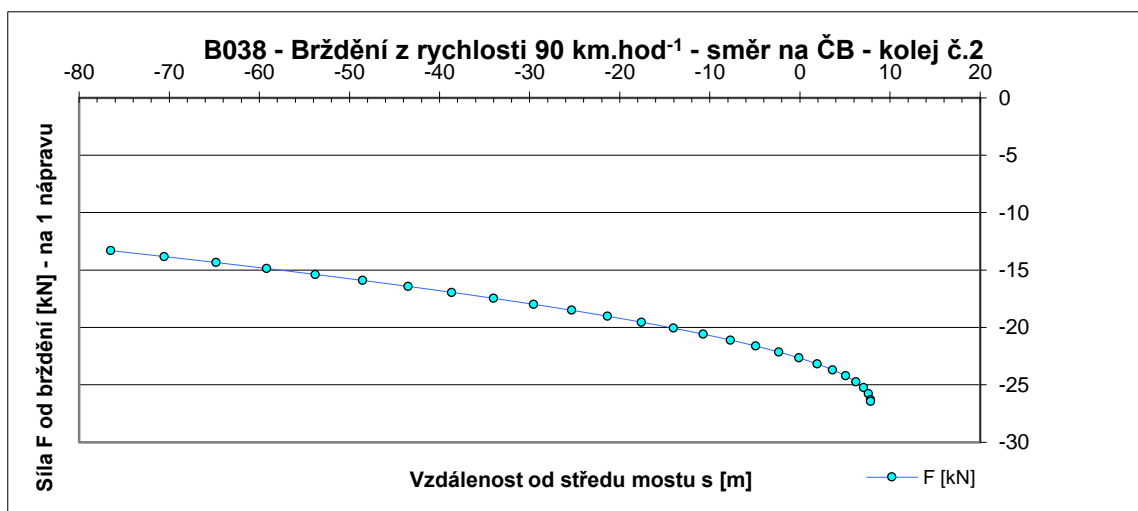
Do této kapitoly byly vloženy grafy jen ze dvou zatěžovacích stavů B019 a B038, při kterých byl účinek vodorovných sil největší. Zbylé grafy testů, B017, B021, B024, B026, B027, B030, B041, B044, jsou přiloženy v příloze.



Obrázek 46: Brzdné síly během testu B019 – h 21:00 – kolej 2



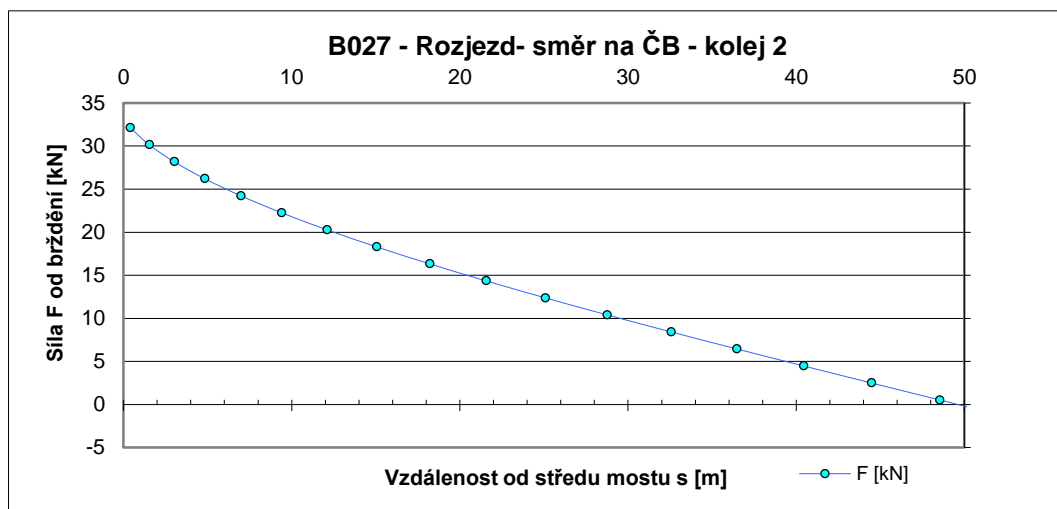
Obrázek 47: Brzdné síly během testu B038 – h 00:45 – kolej 1



Obrázek 48: Brzdné síly během testu B038 – h 00:45 – kolej 2



## 7.2.2 Výpočet rozjezdových sil



Obrázek 49: Rozjezdové síly během testu B027 – h 22:46 – kolej 2

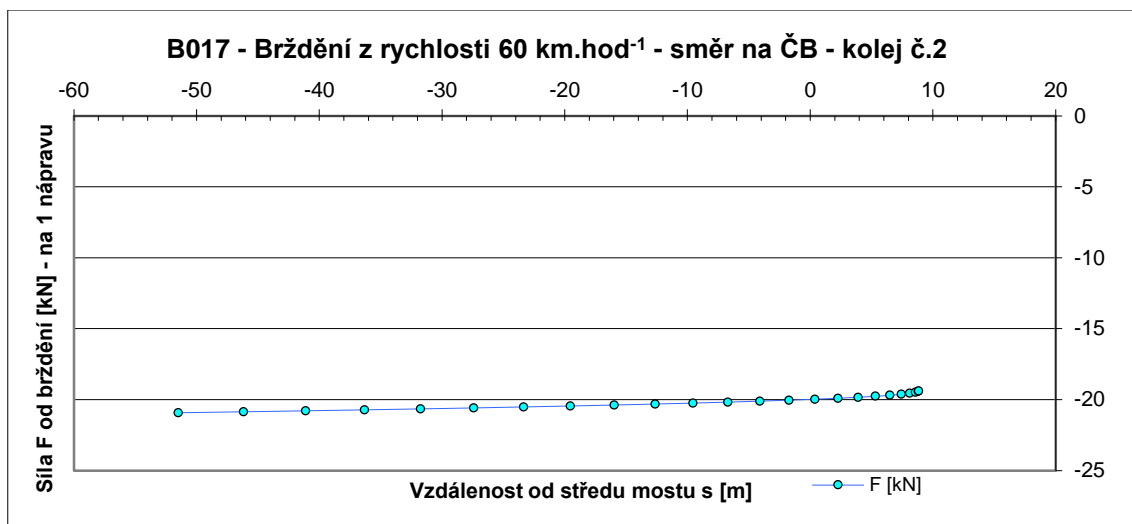
## 7.2.3 Zhodnocení výsledků brzdných a rozjezdových sil

Z grafů je zřejmé, že maximální síla brzdění nastane v okamžiku těsně před zastavením vlaku. Maximální hodnota při dobrzdění lokomotiv při testu B019 dosáhla hodnoty 32,8 kN a při brzdění při testu B038 hodnot 30,8 kN na koleji 2 a 26,4 kN na koleji 1.

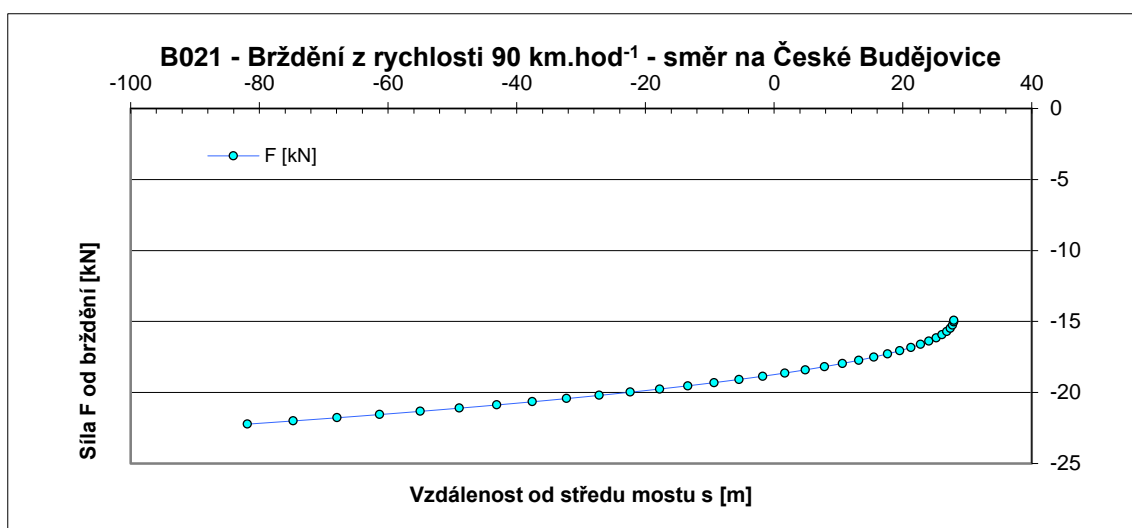
Při rozjezdu je dosaženo maximální síly působící na kolej v okamžiku uvedení lokomotiv do pohybu. Nejvyšší síla při testu B027 činila 32,1 kN. Ostatní rozjezdy vykazovaly velmi podobné hodnoty zrychlení.

## 7.3 Další vyhodnocené grafy

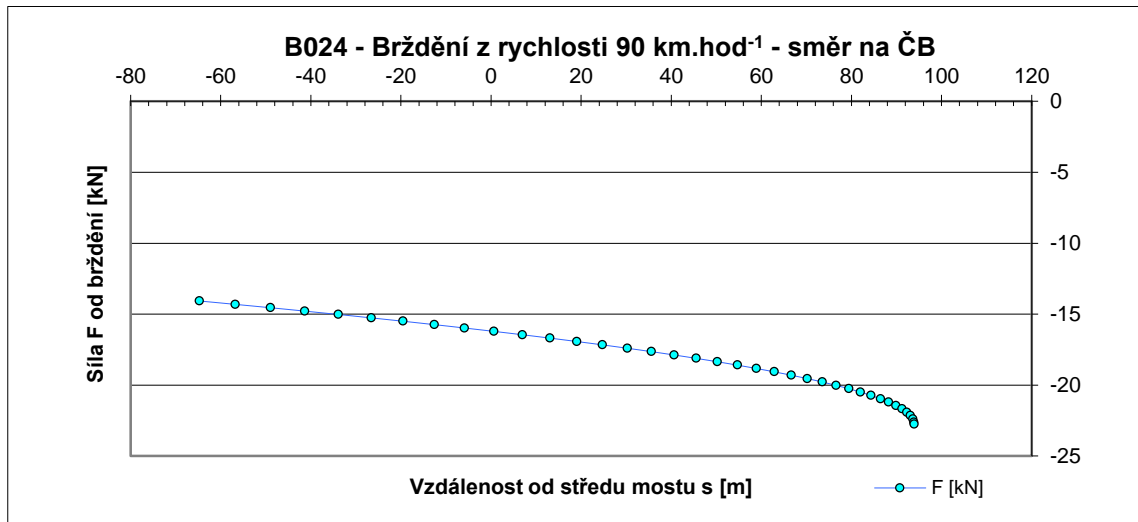
### 7.3.1 Brzdné síly



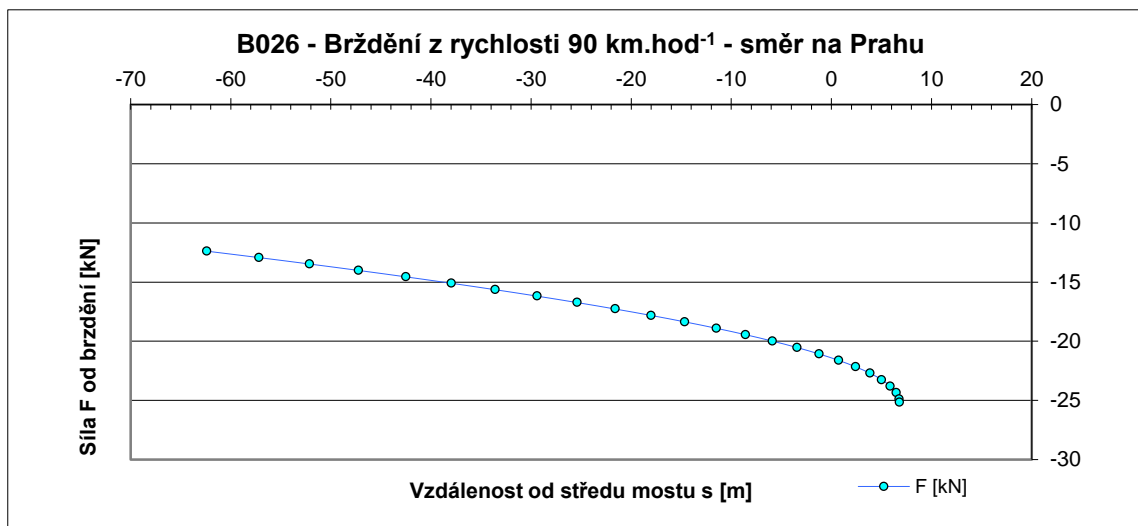
Obrázek 50: Brzdné síly během testu B017 – h 20:52 – Kolej 2



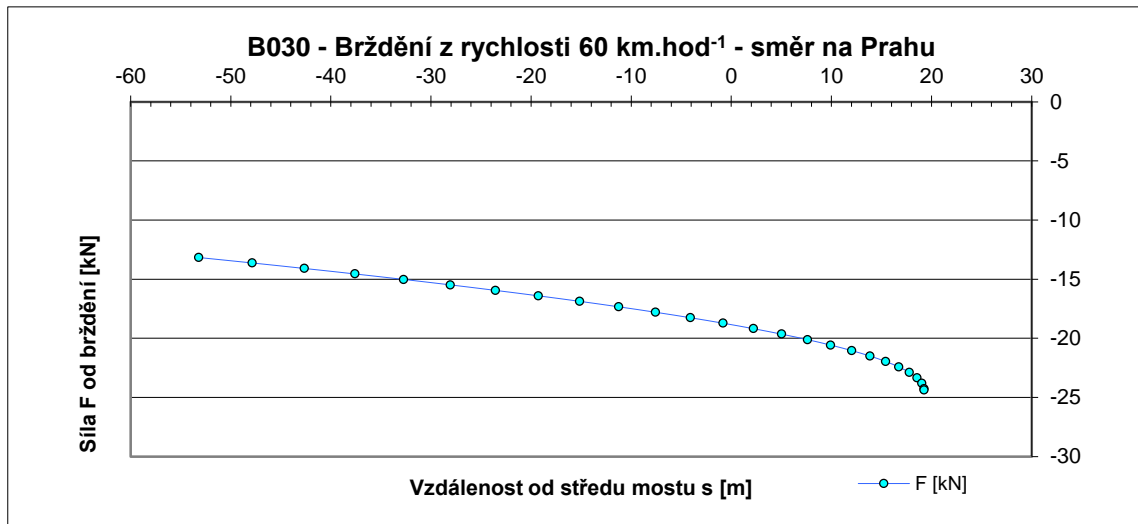
Obrázek 51: Brzdné síly během testu B021 – h 21:09 – kolej 2



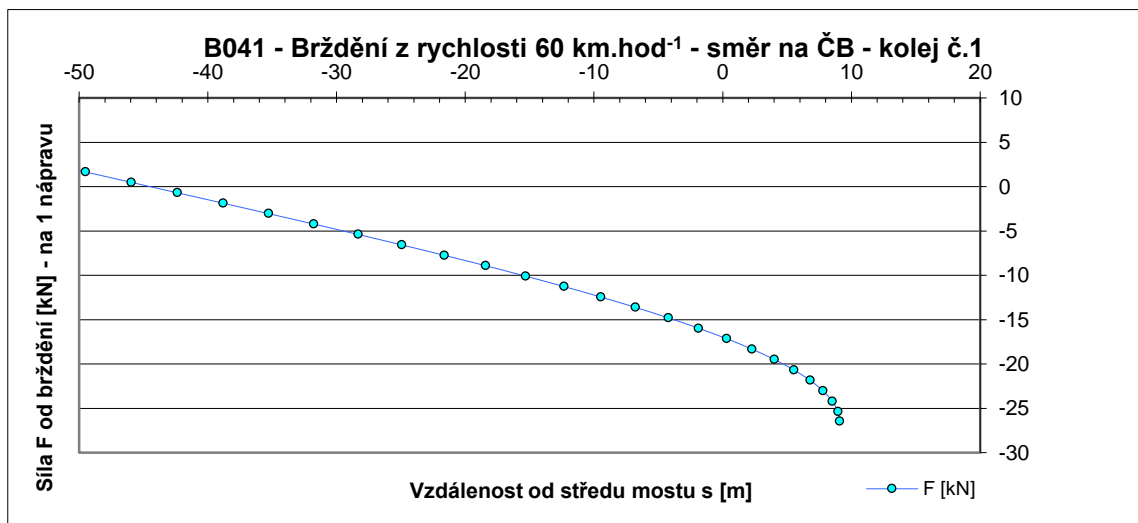
Obrázek 52: Brzdné síly během testu B024 – h 21:31 – kolej 2



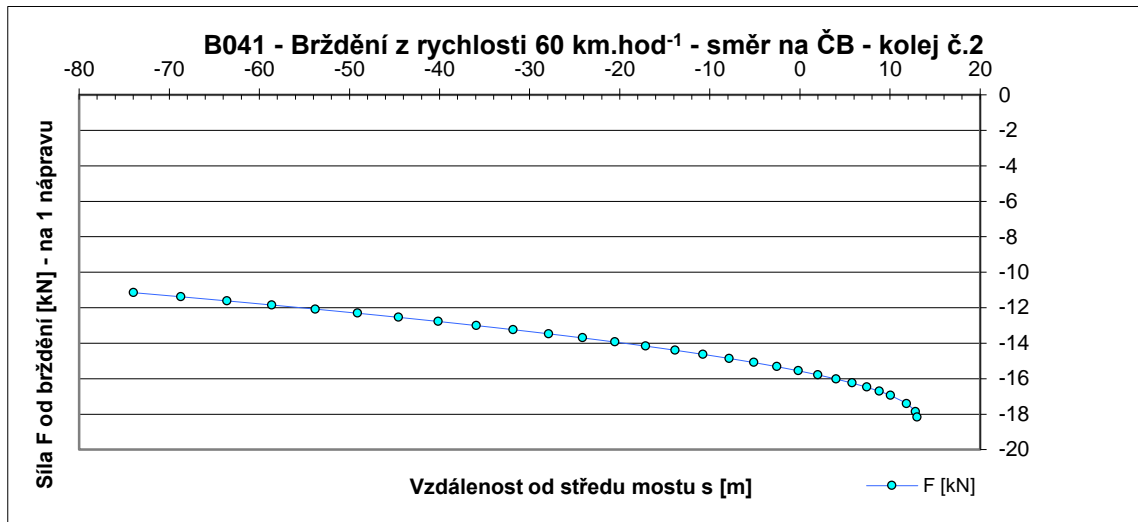
Obrázek 53: Brzdné síly během testu B026 – h 22:42 – kolej 2



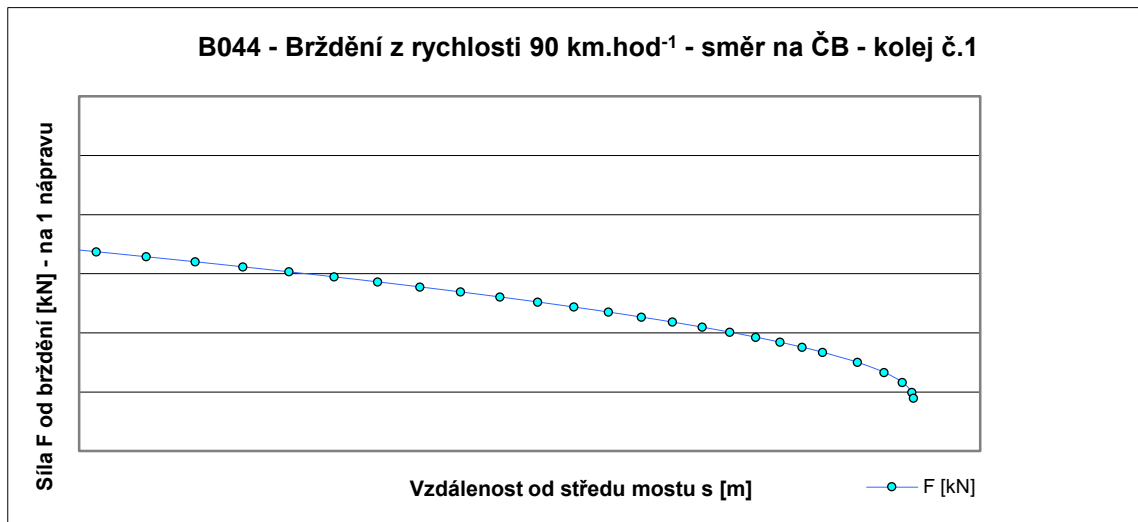
Obrázek 54: Brzdné síly během testu B030 – h 23:05 – kolej 2



Obrázek 55: Brzdné síly během testu B041 – h 01:06 – kolej 1

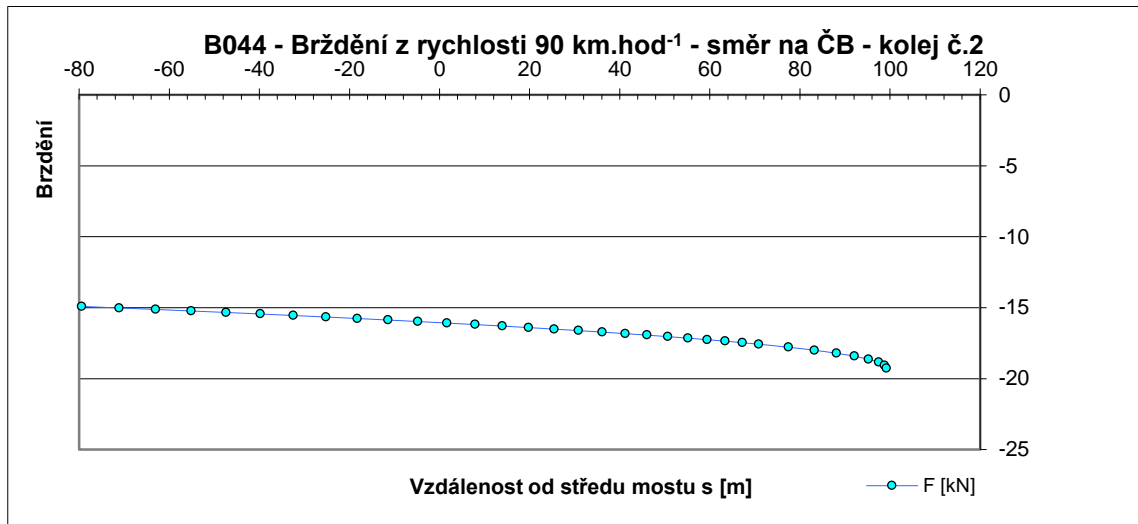


Obrázek 56: Brzdné síly během testu B041 – h 01:06 – kolej 2



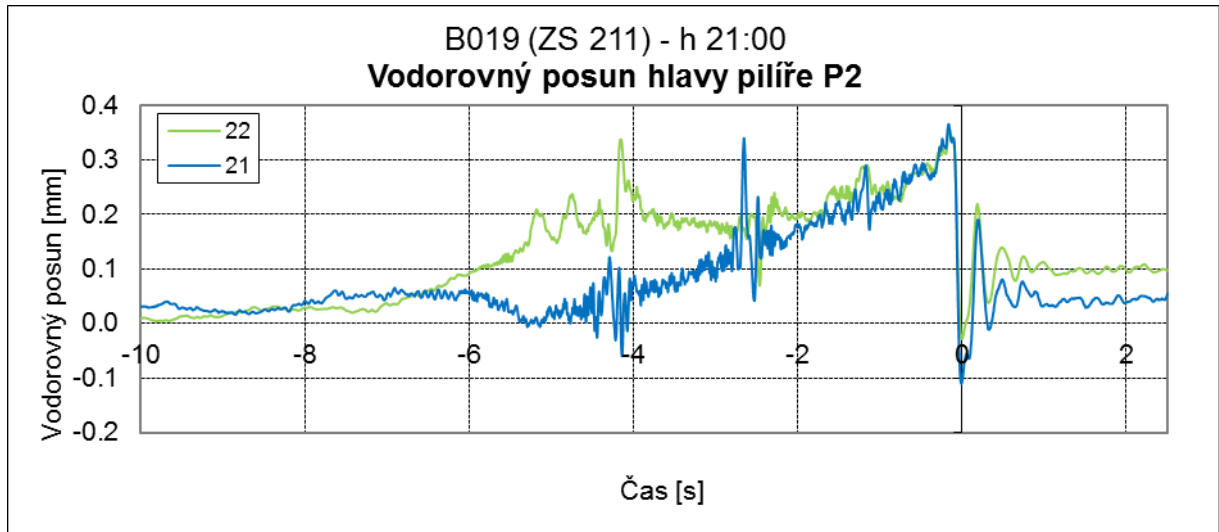
Obrázek 57: Brzdné síly během testu B044 – h 02:03 – kolej 1





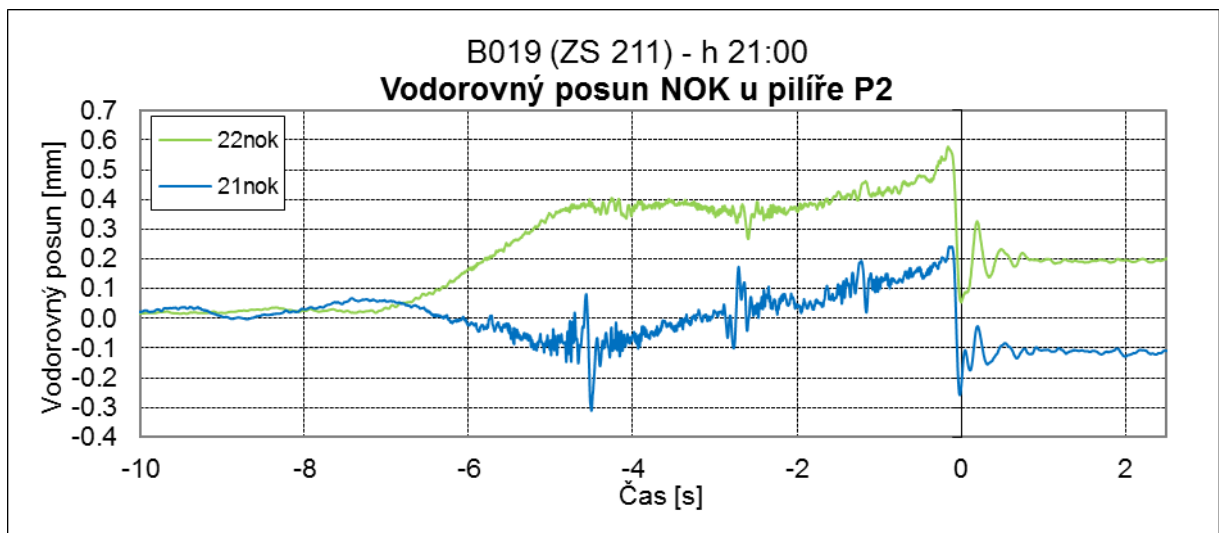
Obrázek 58: Brzdné síly během testu B044 – h 02:03 – kolej 2

### 7.3.2 Grafy zatížení B019 (ZS 211) - h 21:00

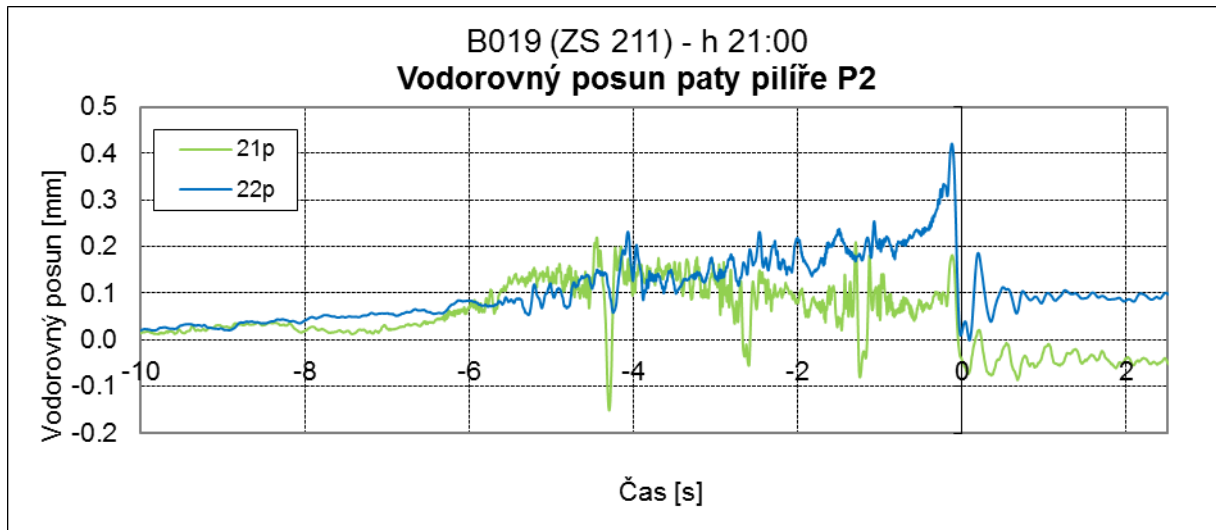


Obrázek 59: Vodorovný posun hlavy pilíře P2

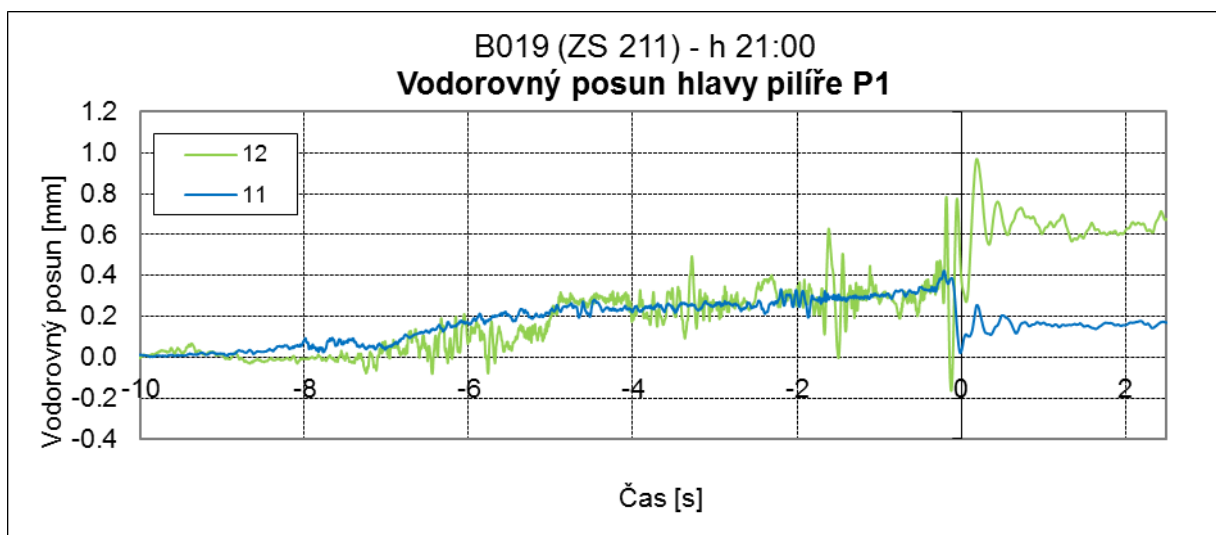
V čase -6,5 sekundy vjel vlak na most. V čase -5,1 sekundy první náprava přejíždí přes první pilíř. V čase -2,5 sekundy přejíždí první náprava střed mostu. V čase 0,0 sekundy vlak zastaví.



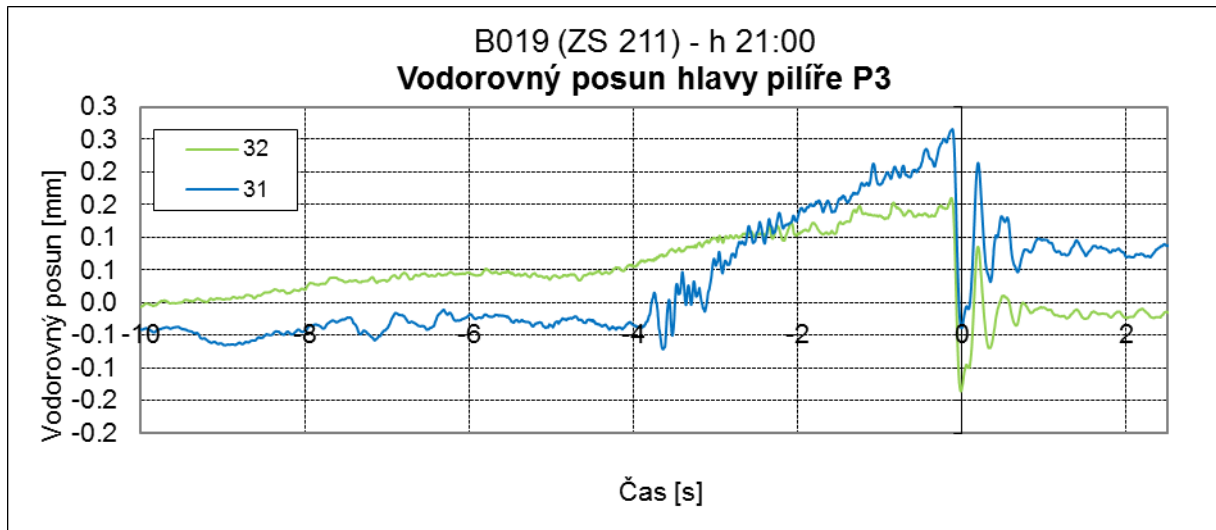
Obrázek 60: Vodorovný posun NOK u pilíře P2



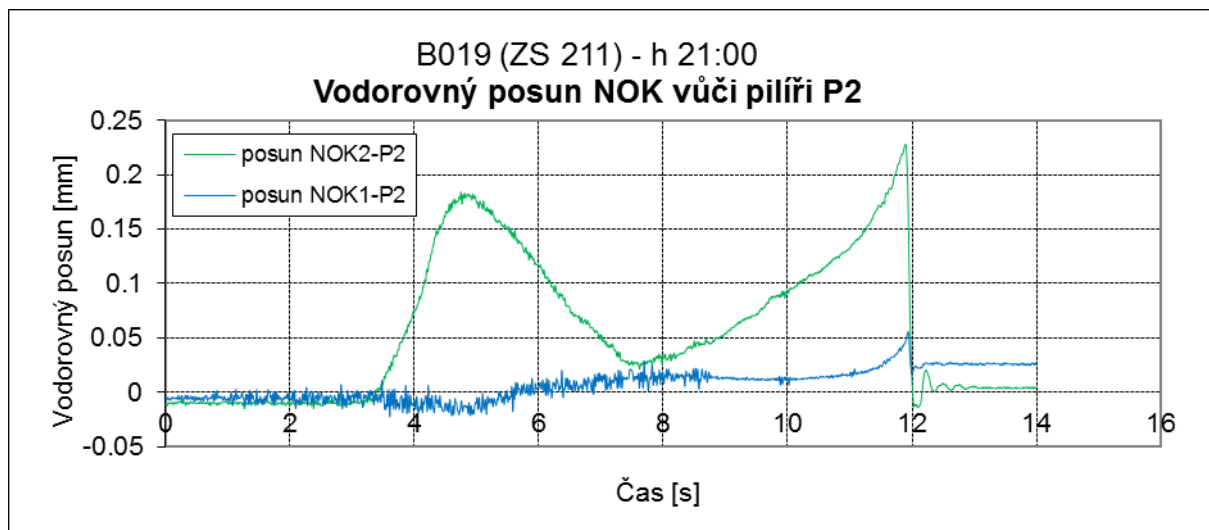
Obrázek 61: Vodorovný posun paty pilíře P2



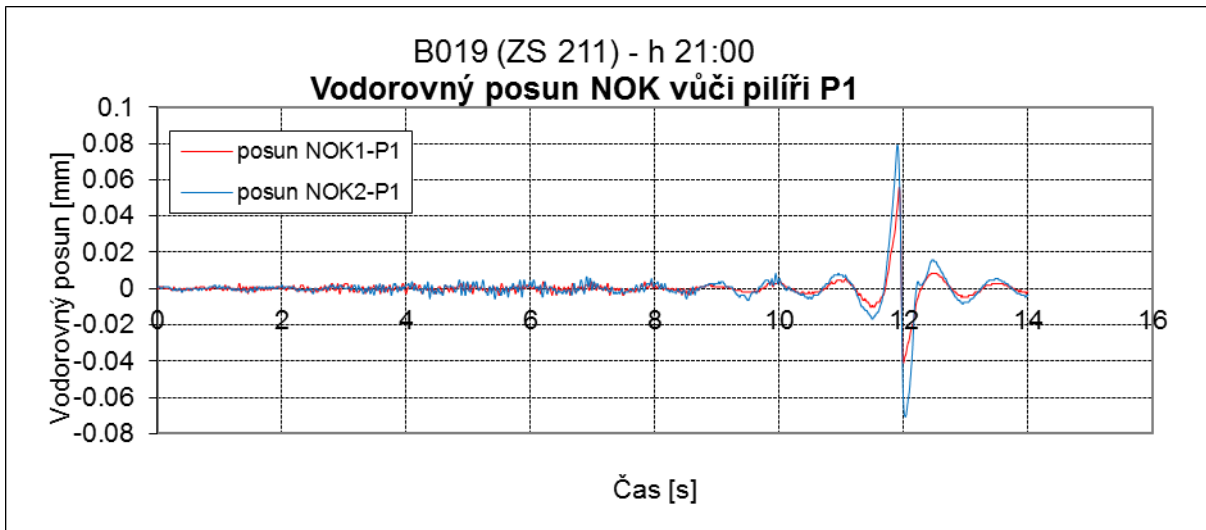
Obrázek 62: Vodorovný posun hlavy pilíře P1



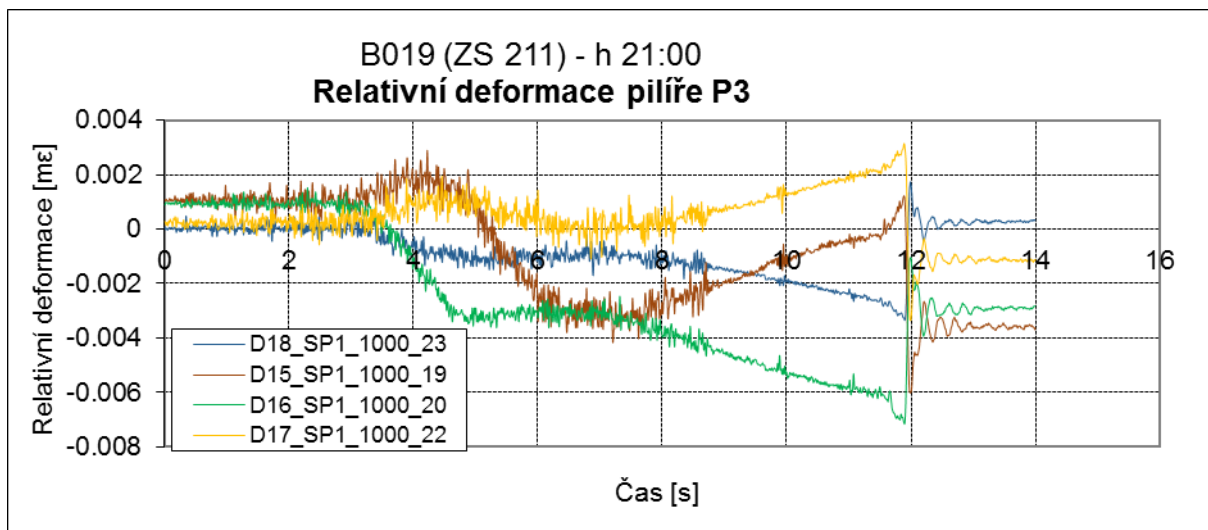
Obrázek 63: Vodorovný posun hlavy pilíře P3



Obrázek 64: Vodorovný posun NOK vůči pilíři P2

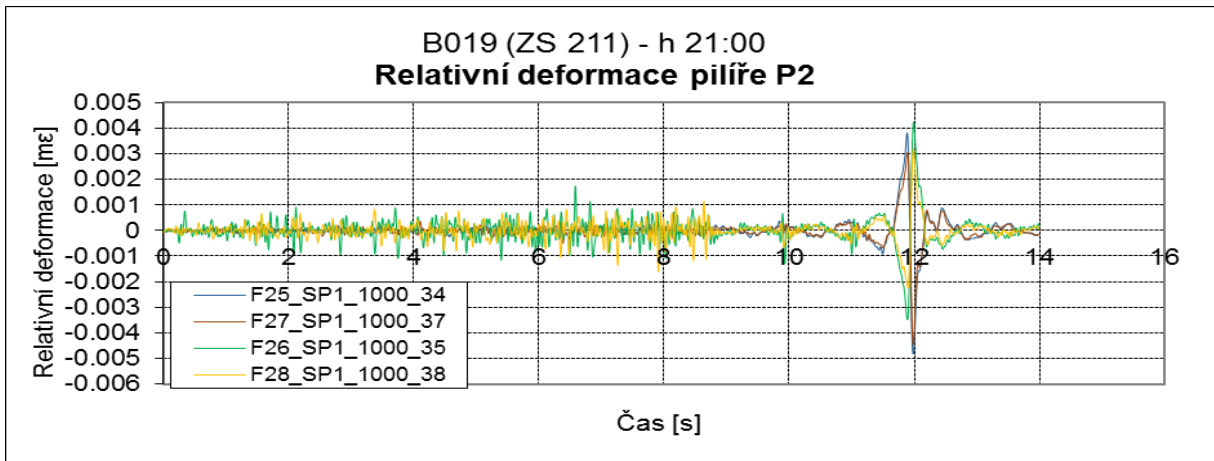


Obrázek 65: Vodorovný posun NOK vůči pilíři P1

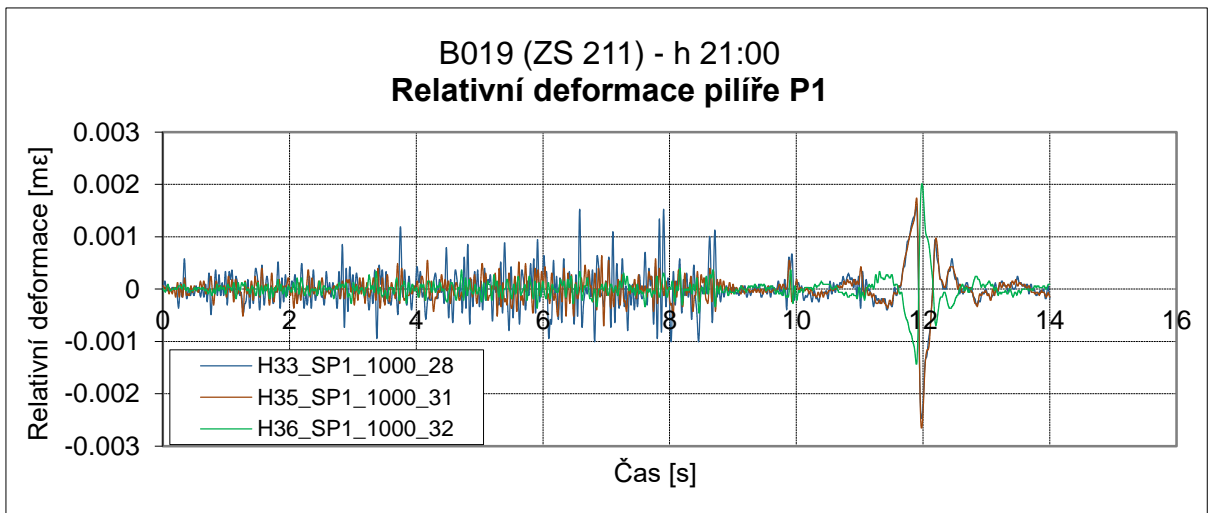


Obrázek 66: Relativní deformace pilíře P3

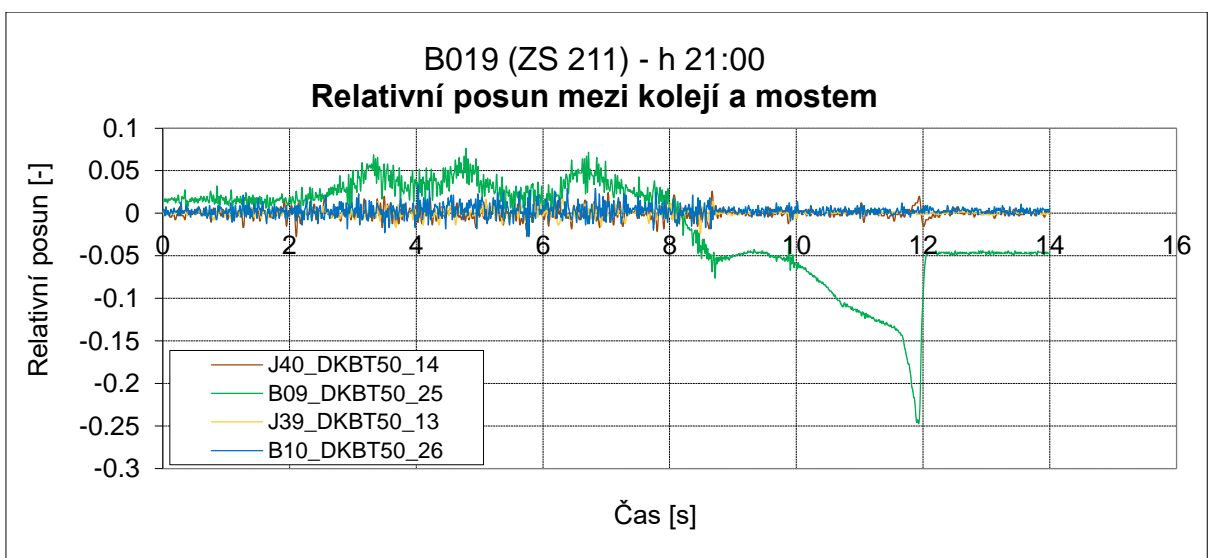




Obrázek 67: Relativní deformace pilíře P2

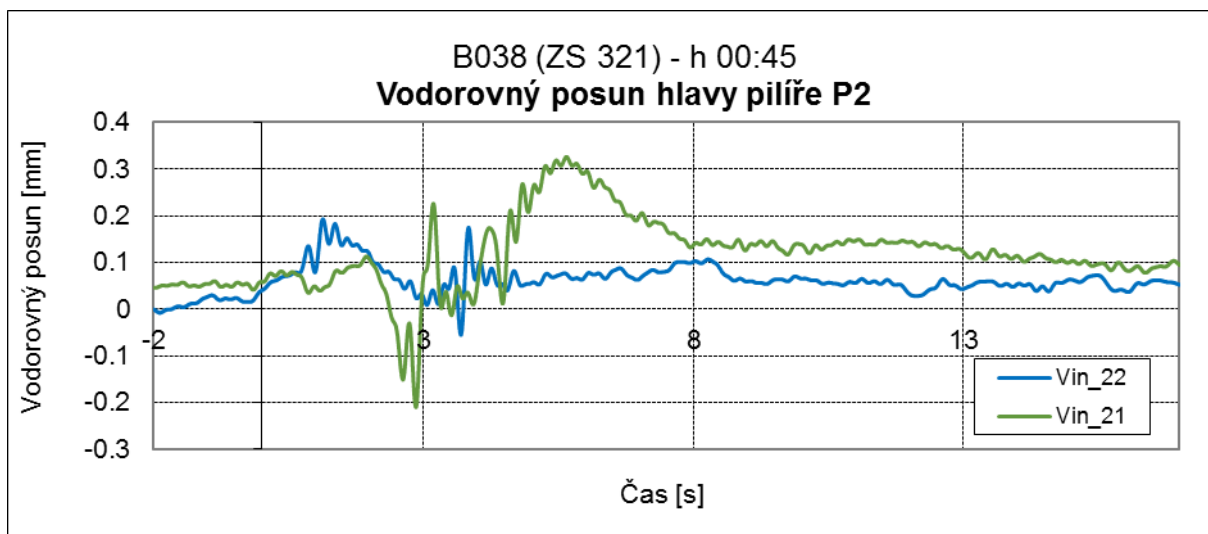


Obrázek 68: Relativní deformace pilíře P1

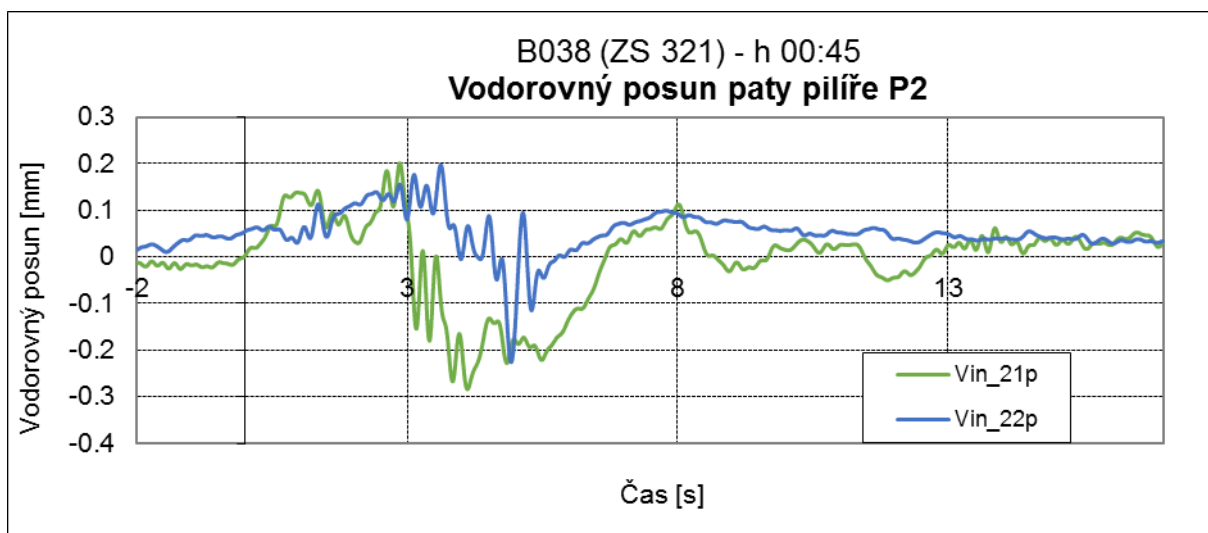


Obrázek 69: Relativní posun mezi kolejí a mostem

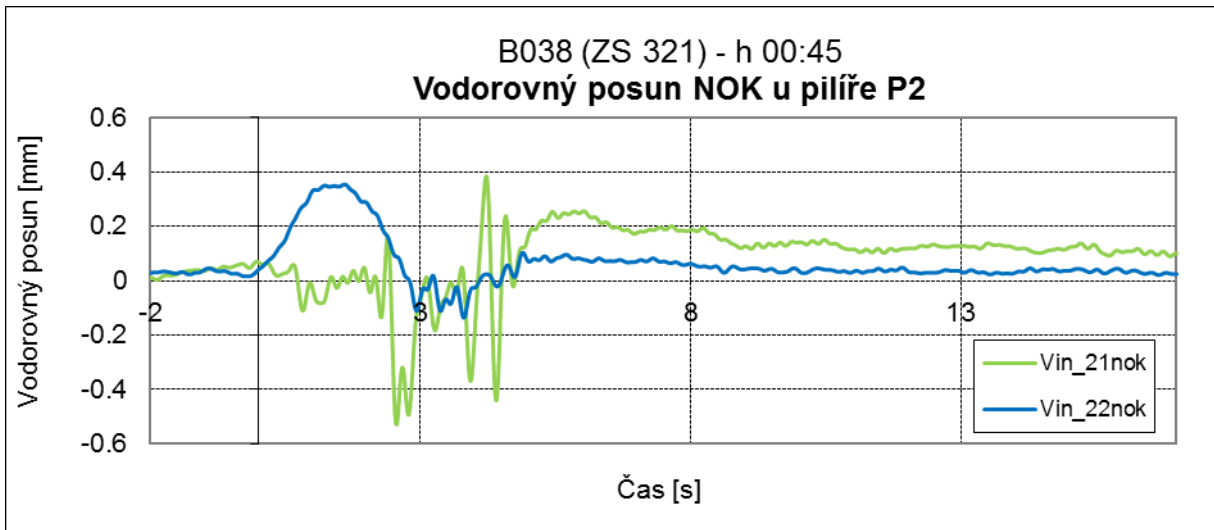
### 7.3.3 Grafy zatížení B038 (ZS 321) - h 00:45



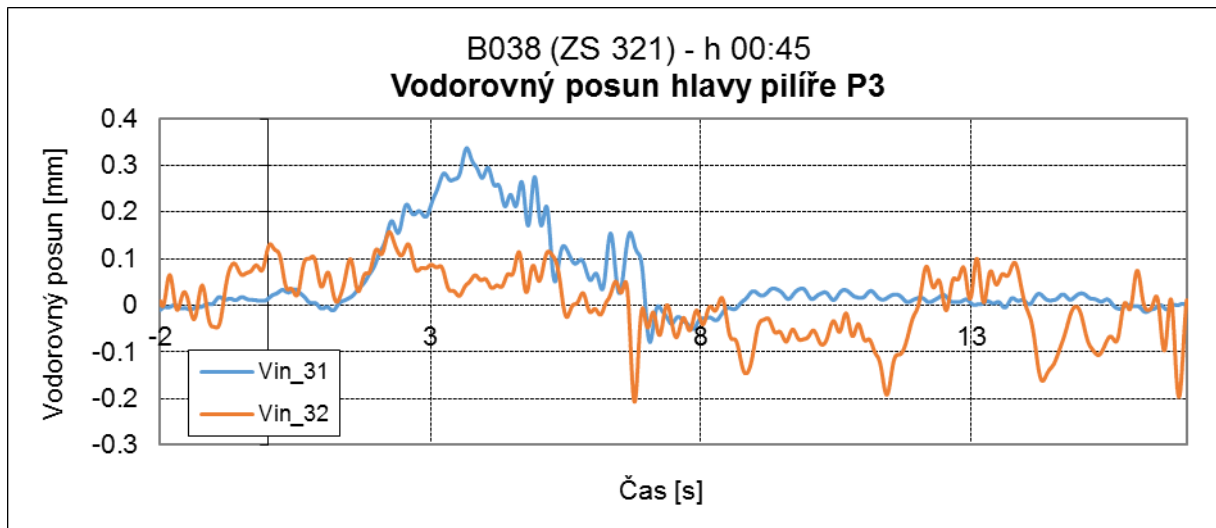
Obrázek 70: Vodorovný posun hlavy pilíře



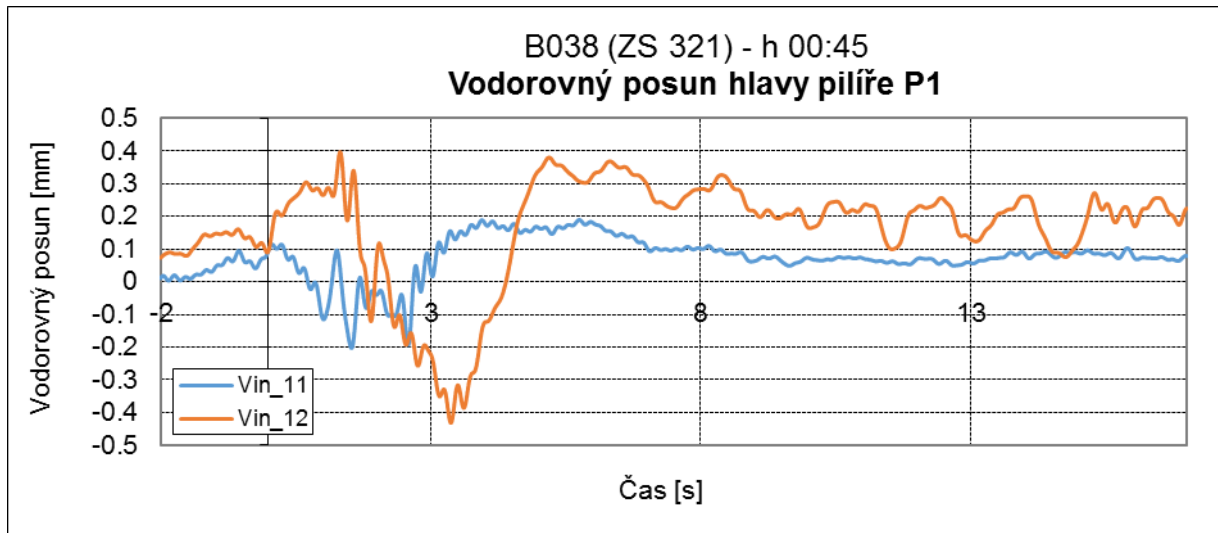
Obrázek 71: Vodorovný posun paty pilíře P2



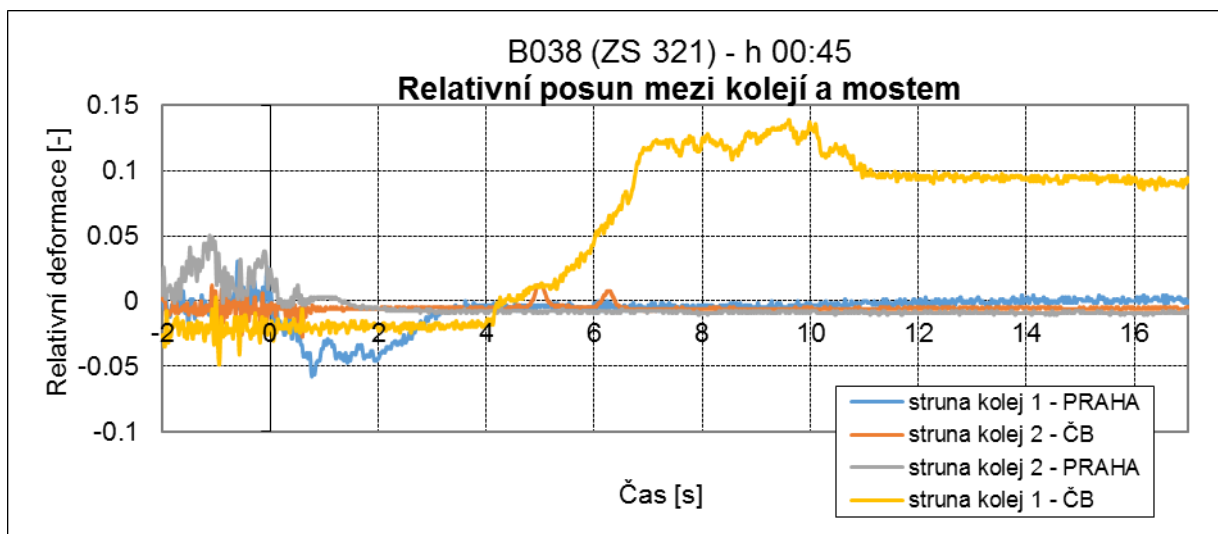
Obrázek 72: Vodorovný posun NOK u pilíře P2



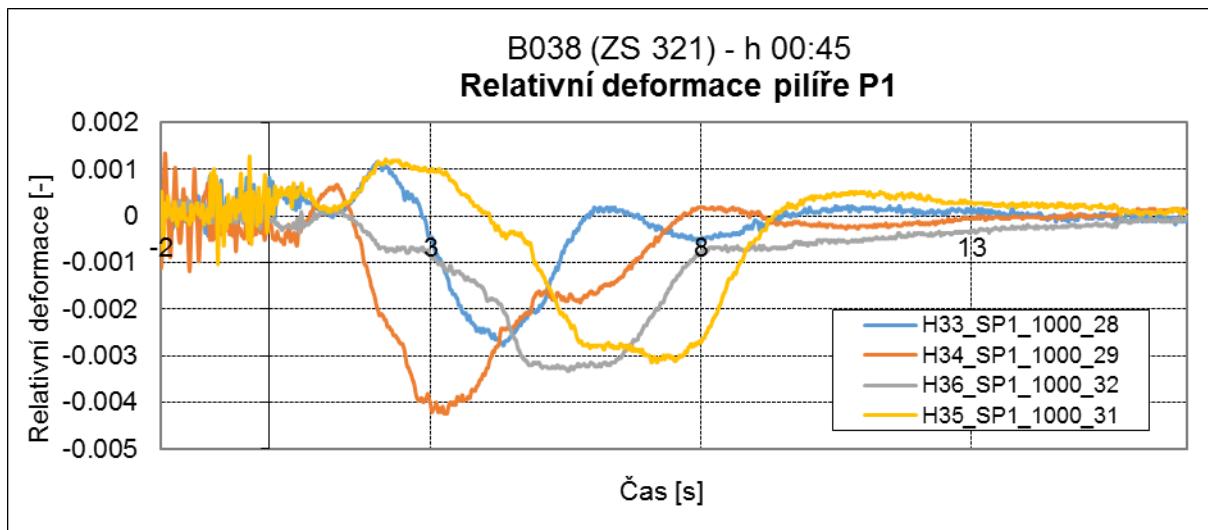
Obrázek 73: Vodorovný posun hlavy pilíře P3



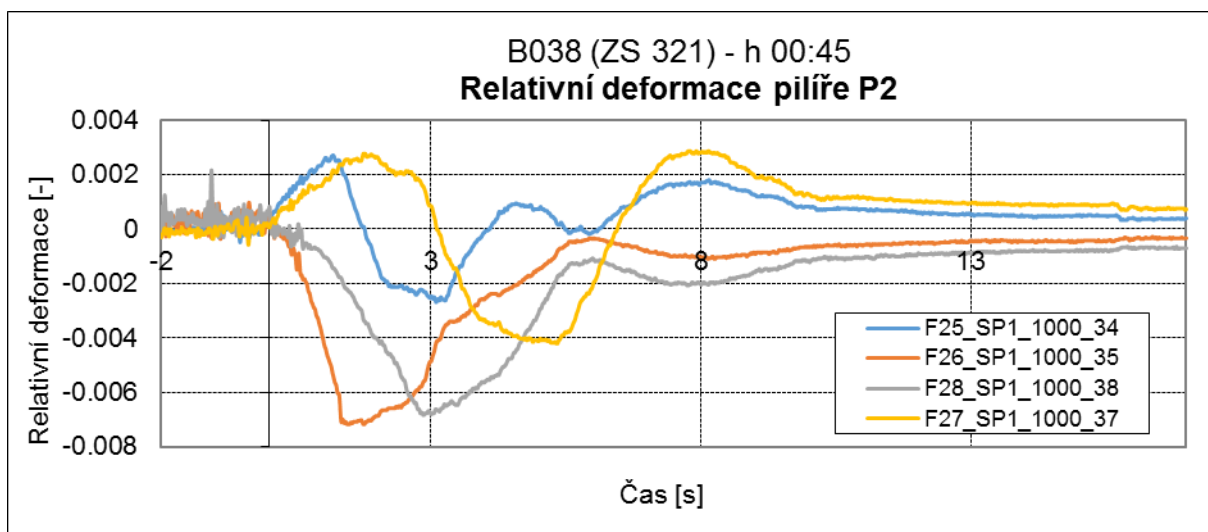
Obrázek 74: Vodorovný posun hlavy pilíře P1



Obrázek 75: Relativní posun mezi kolejí a mostem



Obrázek 76: Relativní deformace pilíře P1

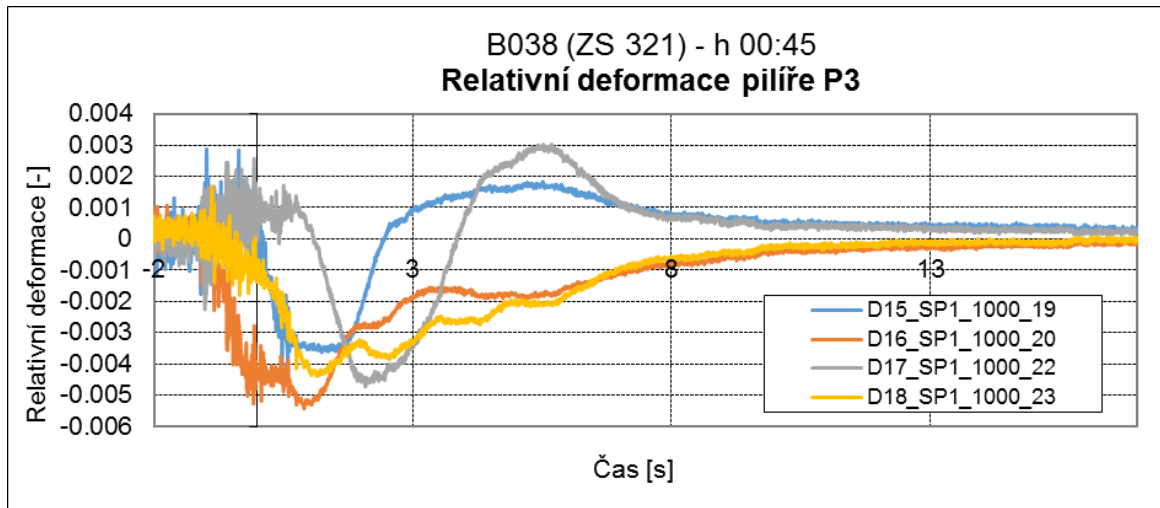


Obrázek 77: Relativní deformace pilíře P2

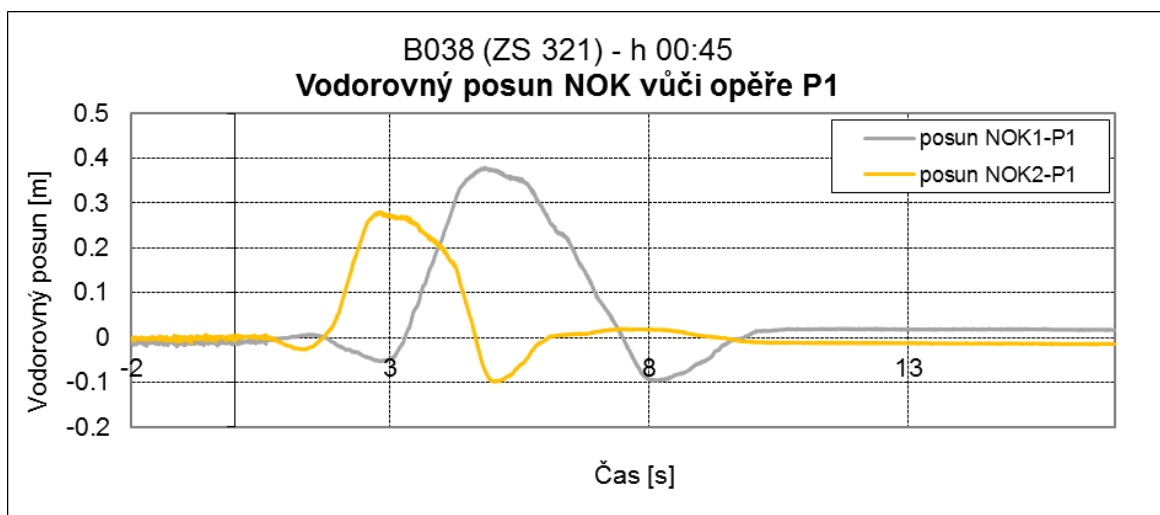
Z relativní deformace je možné vypočítat maximální napětí ( $\sigma$ ).

Ovlivnění středního pilíře v průběhu testu B038 - kolej 1			
$\Delta L_{34}$	0.0015 mm	$\Delta L_{35}$	-0.0075 mm
$l$	1000 mm	$l$	1000 mm
$\epsilon_{34}$	1.50E-06 -	$\epsilon_{35}$	-7.50E-06 -
$E$	30000 MPa	$E$	30000 MPa
$\sigma_{Tot, 34}$	0.045 MPa	$\sigma_{Tot, 35}$	-0.225 MPa

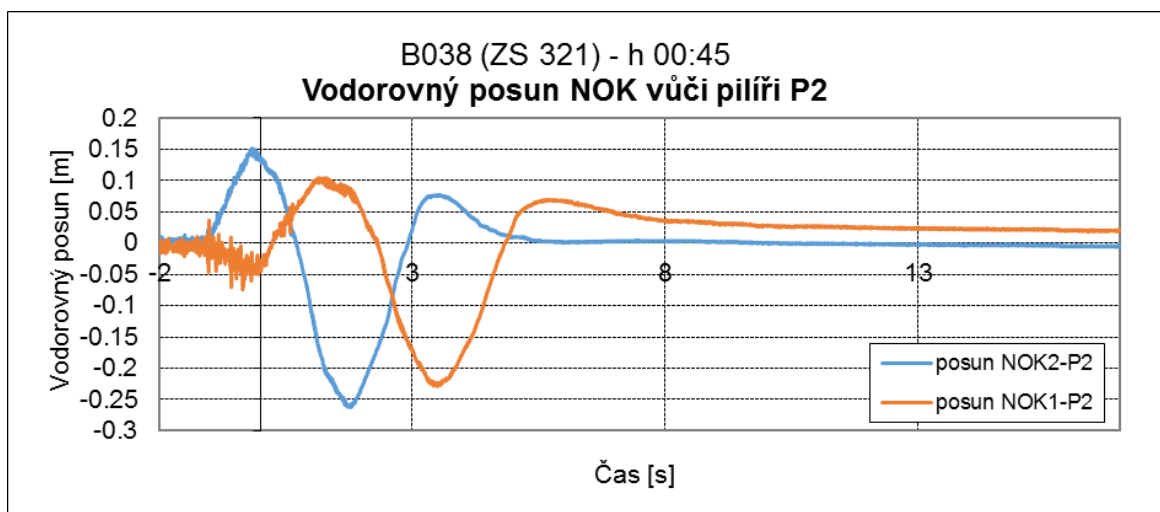
Nejvyšší dosažené napětí při testu je tlak 0,225 MPa a tah 0,045 MPa



Obrázek 78: Relativní deformace pilíře P3



Obrázek 79: vodorovný posun NOK vůči opěře P1



Obrázek 80: vodorovný posun NOK vůči opěře P2





## 8 Numerický model

---

### 8.1 Úvod

Pro vytvoření numerického modelu byl zvolen program CSiBridge v18.2.0, který se specializuje na tvorbu a výpočet mostních konstrukcí. Program počítá metodou konečných prvků a jeho hlavní výhodou oproti jiným programům je, že dokáže provést nejen statickou, ale i dynamickou analýzu. Nejdříve byl vytvořen model konstrukce v programu AutoCAD 2015, který pak byl po částech importován do programu CSiBridge.

V dalších krocích bylo do modelu zaneseno zatížení odpovídající vyhodnoceným veličinám ze zatěžovací zkoušky. Z výsledného chování modelu, pak byl model validován, tak aby se chování co nejvíce přiblížilo skutečnému chování. Bylo vytvořeno několik variant modelu, na kterých bylo testováno chování konstrukce.

### 8.2 Model

Model je zkonstruován podle dostupné výkresové dokumentace a ze znalostí chování jednotlivých prvků. Jako hlavní prvky model obsahuje tři pilíře s pilotami, opěry, mostovku, kolejový svršek a kolejnice. Tvar koleje je zjednodušen oproti reálné konstrukci, má nulové stoupání a převýšení.

Vnitřní síly, deformace a reakce jsou vypočítány pomocí programu CSiBridge. Model je vymodelován v obecné rovině XYZ z prutových a desko-stěnových prvků. Průřezové charakteristiky a poloha jednotlivých prutů a desek odpovídá skutečným rozměrům konstrukce. Pomocí pevných vazeb jsou zohledněny excentricity připojovaných prvků.

Nosná ocelová konstrukce, kolej a piloty jsou vymodelovány z prutových prvků, betonové pilíře potom jako desko-stěnové prvky. Desko-stěnové prvky byly rozděleny na několik částí pro správné propojení s ostatními prvky modelu. Opěry jsou vymodelovány jen jako pevné podpěry s posuvnými ložisky. Všechna ložiska na mostě jsou vymodelována jako pružno-plastické vazby, které při dosažení mezní hodnoty tření prokluzují. Kolejnice je podepřena pomocí tzv. „linků“, které mají pružno-plastické vlastnosti kolejového lože. Piloty byly vymodelovány

s odpovídajícím svislým a pružným vodorovným podepřením odpovídající hodnotám zemin z geologického vrtu.

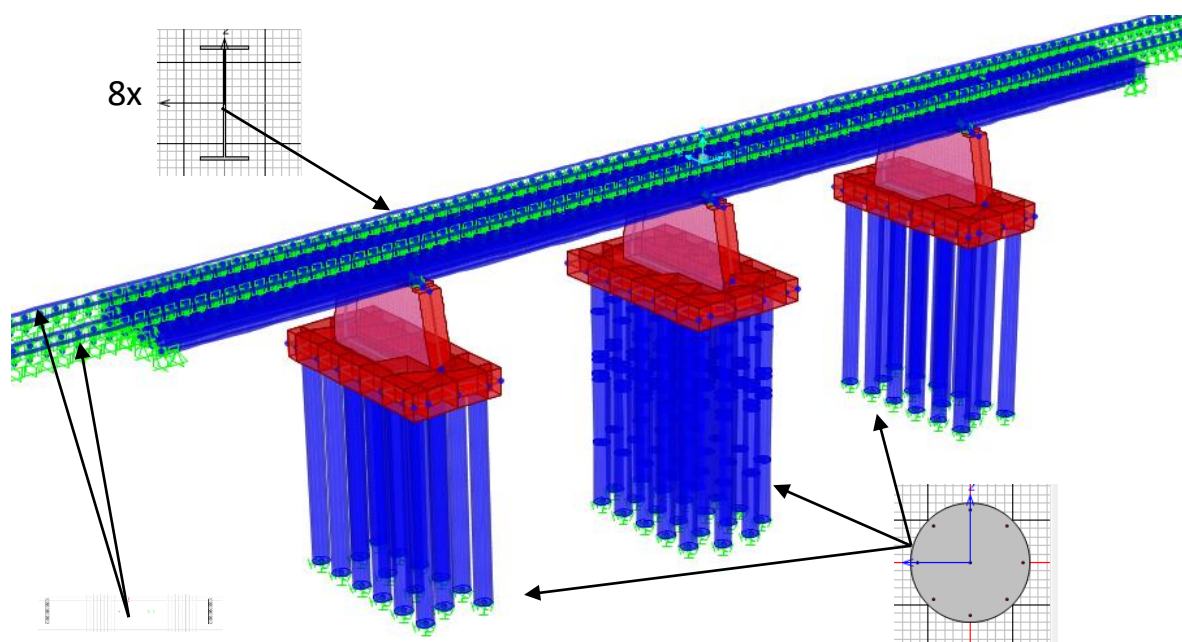
Rozměry všech prvků odpovídají projektové dokumentaci. Jednotlivé prvky jsou mezi sebou propojeny tuhými vazbami, a díky tomu bylo možné vymodelovat geometrii mostu složenou z prutových a desko-stěnových prvků, tak aby odpovídala rozměrům reálné konstrukce. Všechny pruty na konstrukci jsou vymodelovány střednicí s průřezem s odpovídajícími průřezovými a materiálovými charakteristikami.

V programu CSiBridge je možné modelovat pouze úsečky, a tak je kolej v oblouku vymodelována jako soustava úseček s krokem po 1 m.

### 8.3 Materiály

Všechny materiály odpovídají projektové dokumentaci. Pro hlavní nosníky a jejich příčníky je použita ocel S355J2W+N s mezí kluzu 355 MPa a mezí pevnosti 510 MPa. Pro piloty je použit beton třídy C25/30. Základové desky a dřívky opěr jsou z betonu třídy C30/37.

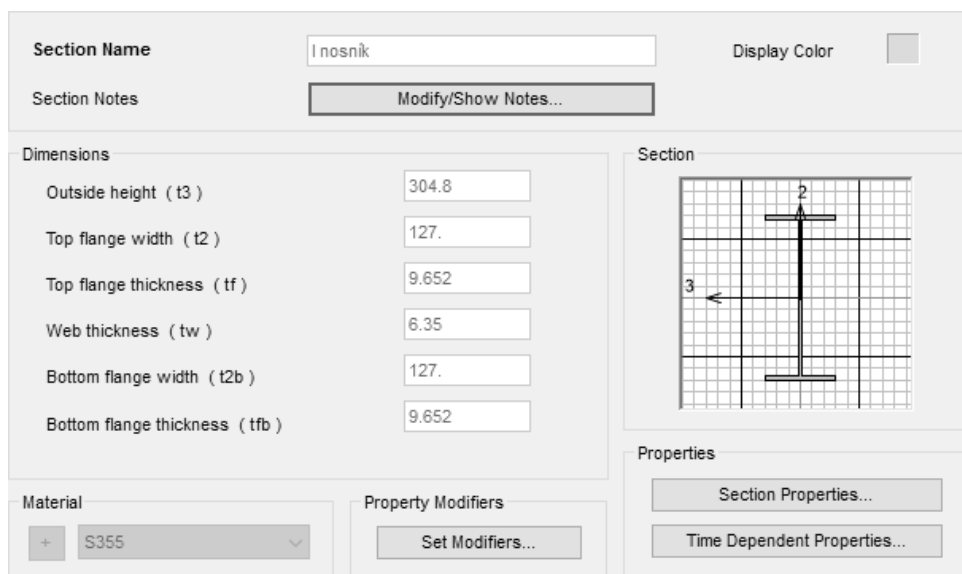
### 8.4 Hlavní nosné prvky konstrukce



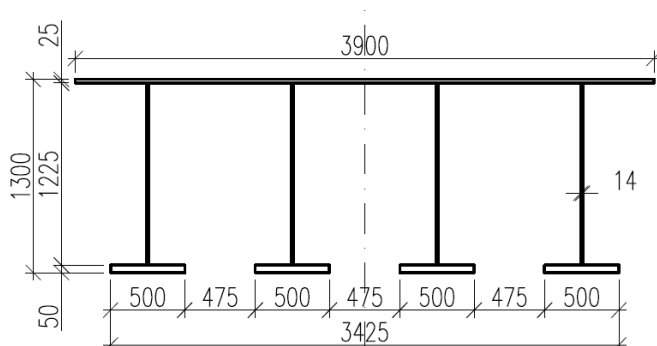
Obrázek 81: Použité průřezy

### 8.4.1 Hlavní nosníky

Pro hlavní nosník je použit zjednodušený průřez. Každá nosná konstrukce je vymodelována ze čtyř samostatných ocelových I nosníků spojených mezi sebou příčnickami nad opěrami a nad pilíři. Příčnicky mají stejný průřez jako samostatné I nosníky. Použita je ocel S355.



Obrázek 82: Část hlavního nosníku



Obrázek 83: Zjednodušený průřez hlavního nosníku

### 8.4.2 Dřík

Dřík pilíře P1 a P3 má výšku 4,5 metru od hrany desky. Dřík pilíře P2 má výšku 4,9 metru. Základ je u prostředního pilíře zapuštěn hlouběji pod povrch, takže prostřední dřík je o něco

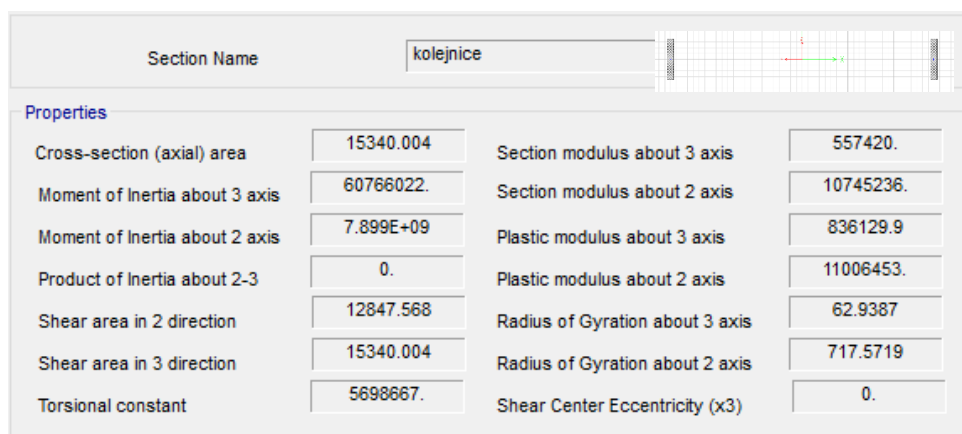
větší. Dřívky jsou modelovány jako desko-stěnové prvky s odpovídající šířkou. Použitý materiál je beton C30/37.

### 8.4.3 Základové desky pilířů

Základové desky pod pilíři P1 a P3 mají půdorysně rozměry 13,4 x 6,8 m, tloušťku 1,4 m a pod povrchem je přibližně 0,7 metru. Deska P2 má rozměry 13,4 x 8,4 m a tloušťku 1,8 m a pod povrchem je přibližně v hloubce 1,2 metru. Základové desky byly vetknutím spojeny s pilotami a dřívky pilířů. Desky jsou ponechány bez podepření zeminou. Veškerý přenos zatížení se předpokládá pilotami. Při brzdných účincích se budou deformace pilíře pohybovat v řádu desetin milimetru, s ohledem na špatné vlastnosti okolní zeminy a krátkodobého zatížení v řádu vteřin budou síly vodorovného podepření základových desek velmi malé. Všechny základové desky jsou z betonu C30/37. Vymodelovány jsou jako desko-stěnové prvky s odpovídající tloušťkou.

### 8.4.4 Kolejnice

Kolejnice jsou modelovány jedním prutem složeného ze dvou kolejnic se zjednodušeným obdélníkovým průřezem s odpovídajícími průřezovými charakteristikami jako průřez kolejnice UIC60. CSiBridge bohužel nedovoluje importovat složitější tvary. Plocha průřezu dvou kolejnic 60E1 je  $A = 2 \times 7,67 \times 10^{-3} \text{ m}^2 = 1,534 \times 10^{-2} \text{ m}^2$ .



Section Name		kolejnice	
<b>Properties</b>			
Cross-section (axial) area	15340.004	Section modulus about 3 axis	557420.
Moment of Inertia about 3 axis	60766022.	Section modulus about 2 axis	10745236.
Moment of Inertia about 2 axis	7.899E+09	Plastic modulus about 3 axis	836129.9
Product of Inertia about 2-3	0.	Plastic modulus about 2 axis	11006453.
Shear area in 2 direction	12847.568	Radius of Gyration about 3 axis	62.9387
Shear area in 3 direction	15340.004	Radius of Gyration about 2 axis	717.5719
Torsional constant	5698667.	Shear Center Eccentricity (x3)	0.

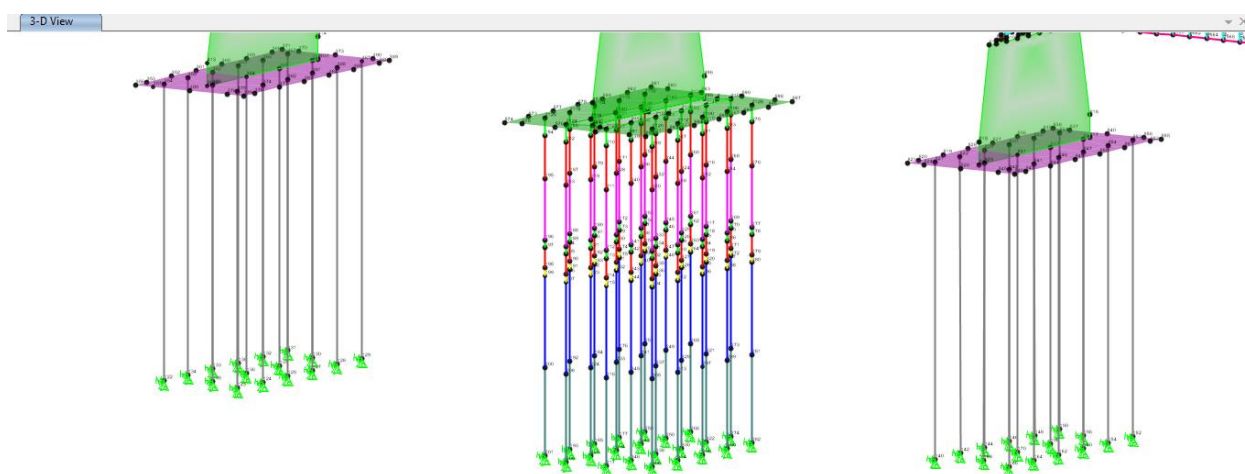
Obrázek 84: Průřezové charakteristiky pro dvě kolejnice 60E1 použité v modelu

## 8.4.5 Piloty

Rozmístění pilot odpovídá projektové dokumentaci. Průřez všech pilot je kruhový o průměru 1180 mm. Materiálové vlastnosti odpovídají pevnostní třídě betonu C25/30. U středního pilíře P2 je každá pilota podélně rozdělena na 8 částí, aby ke každé části mohla být přiřazena vodorovná tuhost podle vrstvy zeminy, kterou pilota prochází. Tyto tuhosti jsou vypočítány v kapitole 8.8. V patě jsou všechny piloty kloubově podepřeny. U pilot P1 a P3 na které není zaměřena tak velká pozornost, byly použity vodorovné tuhosti zprůměrované z jednotlivých vrstev pilot P2.

Section Name		pilota 13	
<b>Properties</b>			
Cross-section (axial) area	1093588.4	Section modulus about 3 axis	1.613E+08
Moment of Inertia about 3 axis	9.517E+10	Section modulus about 2 axis	1.613E+08
Moment of Inertia about 2 axis	9.517E+10	Plastic modulus about 3 axis	2.738E+08
Product of Inertia about 2-3	0.	Plastic modulus about 2 axis	2.738E+08
Shear area in 2 direction	984229.6	Radius of Gyration about 3 axis	295.
Shear area in 3 direction	984229.6	Radius of Gyration about 2 axis	295.
Torsional constant	1.903E+11	Shear Center Eccentricity (x3)	0.

Obrázek 85: Průřezové charakteristiky piloty použité v modelu



Obrázek 86: Po délce rozdělené tuhosti pilot u středního pilíře

## 8.5 Ložiska

Všechna ložiska jsou hrncová. Na mostě jsou použita ložiska o různých velikostech v závislosti na zatížení. Na opěrách, kde jsou reakce do ložisek menší, jsou umístěna ložiska s třecí plochou  $A = 0.0531 \text{ m}^2$ . Na pilířích, kde jsou reakce největší, jsou použity ložiska o třecí ploše  $A = 0.1385 \text{ m}^2$ .

### 8.5.1 Výpočet tření

Jednotlivé reakce v ložiscích jsou rozepsané v tabulce (Tabulka 6). Reakce obsahují vlastní tíhu konstrukce a hmotnost lokomotiv. Reakce jsou odečteny z výpočetního modelu. Průběh změny reakce v čase není zohledněn, v potaz je brána pouze maximální hodnota reakce.

Tření v ložiscích je odhadnuto výpočtem podle TP 173, odkud je převzat vzorec:

$$m = \frac{1,2 \cdot k}{10 + s_p}$$

, kde  $k = 1,0$  a  $s_p$  představuje napětí v ložisku. Teplota při zkouškách byla větší než  $5^\circ\text{C}$ , hodnota tření je tedy ještě dle postupu vynásobena  $2/3$ .

Výsledné třecí síly jsou dále použity v numerickém modelu.

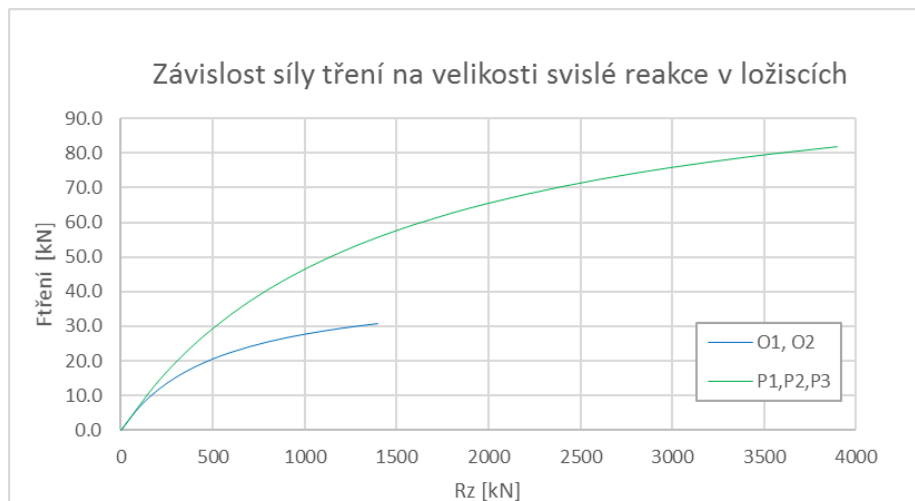
	Rz	$\sigma$ [MPa]	$\mu$ [-]	$F_{\text{tření}}$ [kN]
O1, O2	1200	22.60	0.025	29.4
P2, P4	2860	20.64	0.026	74.7
P3	3900	28.15	0.021	81.8

Tabulka 6: Hodnoty tření v ložiscích

Z tabulky (Tabulka 6) je patrné, že třecí síla v ložiscích u opěr se pohybovala do hodnoty 31 kN a na pilířích okolo 82,6 kN. Tyto hodnoty jsou ovšem návrhové, ikdyž vypočítané z charakteristického zatížení. Je pravděpodobné, že reálné hodnoty tření jsou menší.

Pro lepší představu zvětšování tření v ložisku při zvětšování svislé reakce je z použitého vzorce pro výpočet tření v závislosti na svislé reakci vypočítán graf pro ložiska použitých na opěrách a na pilířích (Obrázek 87).

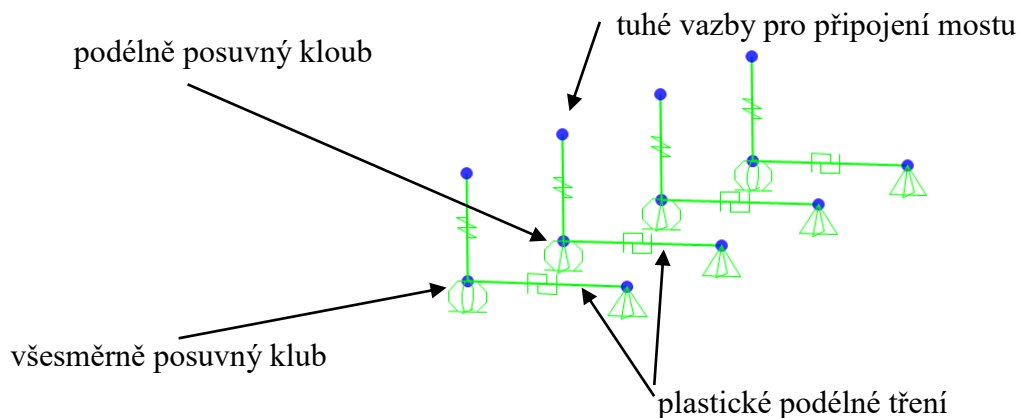




Obrázek 87: Graf tření v závislosti na svislé reakci

### 8.5.2 Princip modelování ložisek na opěrách

Ložiska na opěrách jsou modelována pomocí kloubových posuvných podepření, doplněné o linky v podélném směru s plastickými vlastnostmi odpovídajícího tření.



Obrázek 88: Model ložisek

### 8.5.3 Ložiska na pilíři P1 a P3

Jsou modelovány přímo jako multi-lineární plastické linky s mezní plastickou hodnotou odpovídající maximální hodnotě tření působící v ložiscích. Vnitřní ložiska jsou modelována jako



podélně posuvná, krajní jako všesměrně posuvná. Pro každý posuv je zadána mezní plastická hodnota deformace v závislosti na síle.

## 8.5.4 Ložiska na pilíři P2

Tyto ložiska jsou na mostě pevná. Pouze krajní ložiska jsou příčně posuvná. V modelu jsou modelovány jako pevné a příčně posuvné klouby připojené přímo na pilíř.

## 8.6 Zatížení stálé

Pro stanovení třecích sil v ložiscích bylo nejdříve nutno vypočítat, jaké charakteristické hodnoty svislých sil působí do jednotlivých ložisek. V této kapitole jsou rozepsány síly od stálého a proměnného zatížení, pomocí kterých byly v modelu dopočítány reakce pro každé ložisko a z nich dále dopočítána velikost tření.

### 8.6.1 Vlastní tíha - LC1

Vlastní tíha ocelové a betonové konstrukce byla automaticky generována programem CSiBridge 18.2.0 podle použitých průřezů.

Objemová tíha oceli byla použita  $78,5 \text{ kN/m}^3$  a betonu  $24 \text{ kN/m}^3$

### 8.6.2 Ostatní stálé zatížení - LC2

#### 1.1.1.1 Zatížení železničním svrškem

Liniové rovnoměrné zatížení		$q_n [\text{kNm}^{-1}]$	$\gamma_f [-]$	$q_d [\text{kNm}^{-1}]$
Železniční kolejnice s upevňovacími prvky včetně betonových pražců	120kg/bm+ 480kg/bm	6.00	1.35	8.10

#### 1.1.1.2 Kolejové lože

Liniové rovnoměrné zatížení		$q_n [\text{kNm}^{-1}]$	$\gamma_f [-]$	$q_d [\text{kNm}^{-1}]$
Kolejové lože (průměrná tloušťka)	20x0.65x9	117.00	1.35	157.95

### 1.1.1.3 Zatížení zábradlím, podlahami a kabelovými žlaby

Liniové rovnoměrné zatížení		$q_n$ [kNm <sup>-1</sup> ]	$\gamma_f$ [-]	$q_d$ [kNm <sup>-1</sup> ]
Zábradlí	50kg/bm	0.50	1.35	0.68
Podlahy šířky 1.06m včetně výztuh- polovina zatěžovací šířky	0.5x1.06x 60kg/m <sup>2</sup>	0.32	1.35	0.43
Kabelové žlaby včetně podpor	50 kg/bm	0.50	1.35	0.68
Boční panely - sklolaminátové desky	20 kg/bm	0.2	1.35	0.27
		1.52		2.05

### 1.1.1.4 Zatížení bokem žlabu typu KL a podlahou

Liniové rovnoměrné zatížení		$q_n$ [kNm <sup>-1</sup> ]	$\gamma_f$ [-]	$q_d$ [kNm <sup>-1</sup> ]
Boční plechy žlabu KL	140 kg/bm	1.40	1.35	1.89
Podlaha šířky 1.06m včetně výztuh- polovina zatěžovací šířky	0.5 x 1.06 x 60kg/m <sup>2</sup>	0.32	1.35	0.43
		1.72		2.32

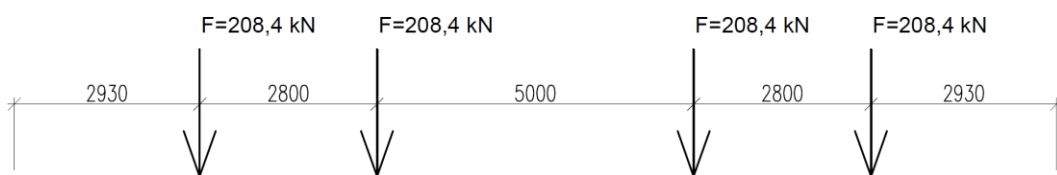
Zatížení je do konstrukce přenášeno jako liniové po hraně hlavní nosné ocelové konstrukce.

## 8.7 Zatížení proměnná

### 8.7.1 Svislé zatížení železniční dopravou

V modelu jsou použity pouze síly od zkušebního zatížení lokomotiv 230.

Na jednu nápravu vychází zatížení 208,4 kN. Rozteče jednotlivých náprav jsou zobrazeny na obrázku (Obrázek 89). Do modelu byly rozteče náprav zaokrouhleny na celé metry, aby bylo možné umístit zatížení do vazeb kolejnic v oblouku rozmístěných po 1 metru.



Obrázek 89: Schéma zatížení od jedné lokomotivy

### 8.7.2 Rozjezdové a brzdné síly

Rozjezdové a brzdné síly jsou vypočítány ze zrychlení lokomotiv během zatěžování. (kapitola 7.2). Vyhodnocené síly jsou pak použity v časové analýze. Krok časové

analýzy je 1 m, tedy i vyhodnocené síly jsou dopočítané podle místa, kde se vlak zrovna nacházel, během testu. Vzdálenosti jsou vztaženy ke středu mostu.

### 8.7.3 Kombinace zatížení

Do modelu jsou vneseny pouze charakteristické hodnoty zatížení, žádné kombinační součinitele nejsou uvažovány. Kombinace jsou tedy vytvořeny pouze z vlastní tíhy konstrukce, lokomotiv, teploty a jednotlivých zatěžovacích stavů zkoušek.

## 8.8 Výpočet vodorovné tuhosti pilot

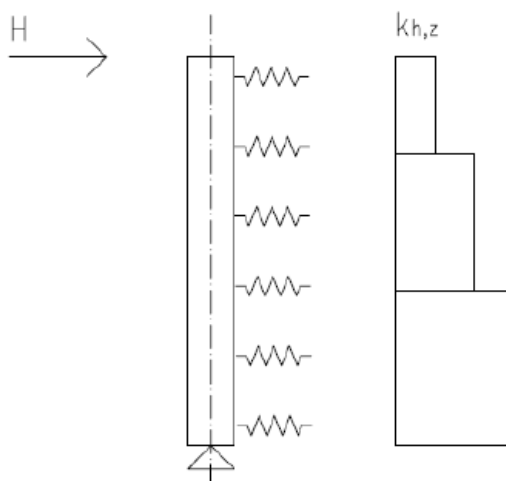
### 8.8.1 Výpočet vodorovné tuhosti osamělé piloty

Předpokládá se pružné chování konstrukce. Pilota má takovou délku, že po zatížení její osa nezůstane přímá a bude se tak deformovat a ohýbat. Jde tedy v podstatě o řešení nosníku na pružném podkladě, takže jsou piloty brány jako vetknutý nosník do pružně plastického prostředí. Výpočet se řídí Winklerovou hypotézou, kde je závislost napětí a deformace lineární.

$$\sigma_z = k_{h,z} \cdot u_z$$

$k_{h,z}$  reakce podloží [ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ ]

$u_z$  deformace piloty [m]



Obrázek 90: rozložení tuhosti piloty po výšce



Modul  $K_h$  je závislý na druhu zeminy a velikosti deformace piloty. Dle DIN 4014 je platný vztah pro výpočet:

$$k_h = \frac{E_{def}}{d}$$

$E_{def}$  deformační modul přetvárnosti [MPa]

$k_h$  tuhost piloty ve vodorovném směru [ $N \cdot m^{-1}$ ]

$d$  průměr piloty [m], pro  $d > 1,0$  m se dosazuje  $d = 1,0$  m za předpokladu, že maximální vodorovná deformace v hlavě piloty  $u_a = 20$  mm, resp.  $u_a = 0,03d$  (platí menší hodnota).

Všechny parametry zemin jednotlivých vrstev byly převzaty z geologického vrtu.

Vodorovná tuhost piloty je spočítána z deformačního modulu zeminy v každé vrstvě zvlášť. piloty jsou v patě uloženy kloubově.

Parametry zemin jsou převzaty z geologického vrtu provedeného společností SUDOP Pardubice s.r.o.



SUDOP Pardubice, s.r.o. K Vápence 2677, 530 35 Pardubice		GEOLOGICKÁ DOKUMENTACE VRTU		J 1060																													
Vrtmistr: J. Skala		Hloubka sondy [m]: 26.00		Y= 740 702.69																													
Typ soupravy: UGB 50 M Gaz 66		Hladina podz. vody:		X= 1 147 443.02																													
Datum provedení - od: 14.5.2012		naražená [m]: Hl.= I.1.50, III.21.70; Z = I.415.11, III.394.91		Z= 416.61																													
- do: 15.5.2012		ustálená [m]: Hl.= I.0.59, III.1.00; Z = I.416.02, III.415.61		Souř.systémy: JTSK / Balt																													
od: 0.00 [m] do: 3.00 [m] vrtáno DN 220 [mm]		od: 0.00 [m] do: 7.50 [m] paženo DN 216 [mm]		Kraj: Jihočeský																													
3.00 15.80 175		0.00 22.00 192		Katastr.území: Horusice																													
15.80 26.00 156				Mapa 1:25000: 22-442																													
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>do</th> <th>GEOLOGICKÝ POPIS ZEMIN A HORNIN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,15</td> <td>2: Humózní vrstva, jílovitá hlína s drnem a kořínky</td> </tr> <tr> <td>0,80</td> <td>25: Hlína s vysokou plasticitou, pevná (RP=220-160 kPa, pokles hodnot s hloubkou), od 0.50 m tuhá (RP=100-120 kPa), rezavohnědošedá, od 0.50 m černě smouhovaná</td> </tr> <tr> <td>2,65</td> <td>3: Organická zemina - rašelina, zčásti hrubě vláknitá, místy silně zajiňovaná, od 1.50 m mokrá, černohnědá, od 2.00 m organický silt</td> </tr> <tr> <td>3,00</td> <td>12: Jíl písčitý, tuhý (RP=60-80 kPa), šedý, s přechody do stejnozrného jílovitého písku</td> </tr> <tr> <td>3,85</td> <td>41: Písek dobře zrněný, hrubozrný, při bázi s polozaoblenými šterky křemene do 3 až 8 cm, zvodnělý, hnědý</td> </tr> <tr> <td>6,05</td> <td>45: Písek jílovitý, středně až hrubozrný, nestejnozrný, ve výplni tuhý (RP=100 kPa), hnědošedý</td> </tr> <tr> <td>10,00</td> <td>15: Jíl s vysokou plasticitou, tuhý (RP=100 kPa, ovlivněný vrtáním), od 8.30 m pevný (RP=260-320 kPa), hnědočervený, žlutě smouhovaný, od 8.30 m šedoběžový; v 7.30 m tvrdé okrové konkrce do 2 cm a prachovité vrstvičky do 1 cm</td> </tr> <tr> <td>10,40</td> <td>12: Jíl písčitý, pevný (RP=320 kPa), s laminami okrového stejnozrného písku; od 10.30 m mokrá drť a úlomky do 10 cm železitého pískovce s okrovou prachovitopřísčitou výplní</td> </tr> <tr> <td>11,40</td> <td>14: Jíl se střední plasticitou, pevný (RP=220-380 kPa), jemně slídnatý, bíložedý</td> </tr> <tr> <td>11,90</td> <td>45: Písek jílovitý, střednězrný, stejnozrný, s výplní tuhou až pevnou (RP=60-200 kPa), žlutobíložedý</td> </tr> <tr> <td>16,55</td> <td>14: Jíl se střední plasticitou, pevný (RP=240-300 kPa, od 13.00 m RP=200-160 kPa), jemně slídnatý, místy se slabou písčitou příměsí, bíložedý, žlutohnědě smouhovaný, od 14.00 m hnědočerveně smouhovaný; v 15.70 m okrové úlomky do 5 cm železitého pískovce</td> </tr> <tr> <td>22,00</td> <td>45: Písek jílovitý, středně až hrubozrný, nestejnozrný, kaolínický, slabě zvodnělý, soudržný, s výplní pevnou (ulehlý), světle hnědožlutý, od 20.00 m bíložedý, žlutě smouhovaný, od 21.10 m světle okrový, místy s drobnými tvrdými želežitými konkracemi do 3 cm</td> </tr> <tr> <td>26,00</td> <td>51: Písek jílovitý se šterkem, středně až hrubozrný, místy velmi hrubozrný, nestejnozrný, ulehlý, okrový</td> </tr> </tbody> </table>				do	GEOLOGICKÝ POPIS ZEMIN A HORNIN	0,15	2: Humózní vrstva, jílovitá hlína s drnem a kořínky	0,80	25: Hlína s vysokou plasticitou, pevná (RP=220-160 kPa, pokles hodnot s hloubkou), od 0.50 m tuhá (RP=100-120 kPa), rezavohnědošedá, od 0.50 m černě smouhovaná	2,65	3: Organická zemina - rašelina, zčásti hrubě vláknitá, místy silně zajiňovaná, od 1.50 m mokrá, černohnědá, od 2.00 m organický silt	3,00	12: Jíl písčitý, tuhý (RP=60-80 kPa), šedý, s přechody do stejnozrného jílovitého písku	3,85	41: Písek dobře zrněný, hrubozrný, při bázi s polozaoblenými šterky křemene do 3 až 8 cm, zvodnělý, hnědý	6,05	45: Písek jílovitý, středně až hrubozrný, nestejnozrný, ve výplni tuhý (RP=100 kPa), hnědošedý	10,00	15: Jíl s vysokou plasticitou, tuhý (RP=100 kPa, ovlivněný vrtáním), od 8.30 m pevný (RP=260-320 kPa), hnědočervený, žlutě smouhovaný, od 8.30 m šedoběžový; v 7.30 m tvrdé okrové konkrce do 2 cm a prachovité vrstvičky do 1 cm	10,40	12: Jíl písčitý, pevný (RP=320 kPa), s laminami okrového stejnozrného písku; od 10.30 m mokrá drť a úlomky do 10 cm železitého pískovce s okrovou prachovitopřísčitou výplní	11,40	14: Jíl se střední plasticitou, pevný (RP=220-380 kPa), jemně slídnatý, bíložedý	11,90	45: Písek jílovitý, střednězrný, stejnozrný, s výplní tuhou až pevnou (RP=60-200 kPa), žlutobíložedý	16,55	14: Jíl se střední plasticitou, pevný (RP=240-300 kPa, od 13.00 m RP=200-160 kPa), jemně slídnatý, místy se slabou písčitou příměsí, bíložedý, žlutohnědě smouhovaný, od 14.00 m hnědočerveně smouhovaný; v 15.70 m okrové úlomky do 5 cm železitého pískovce	22,00	45: Písek jílovitý, středně až hrubozrný, nestejnozrný, kaolínický, slabě zvodnělý, soudržný, s výplní pevnou (ulehlý), světle hnědožlutý, od 20.00 m bíložedý, žlutě smouhovaný, od 21.10 m světle okrový, místy s drobnými tvrdými želežitými konkracemi do 3 cm	26,00	51: Písek jílovitý se šterkem, středně až hrubozrný, místy velmi hrubozrný, nestejnozrný, ulehlý, okrový
		do	GEOLOGICKÝ POPIS ZEMIN A HORNIN																														
0,15	2: Humózní vrstva, jílovitá hlína s drnem a kořínky																																
0,80	25: Hlína s vysokou plasticitou, pevná (RP=220-160 kPa, pokles hodnot s hloubkou), od 0.50 m tuhá (RP=100-120 kPa), rezavohnědošedá, od 0.50 m černě smouhovaná																																
2,65	3: Organická zemina - rašelina, zčásti hrubě vláknitá, místy silně zajiňovaná, od 1.50 m mokrá, černohnědá, od 2.00 m organický silt																																
3,00	12: Jíl písčitý, tuhý (RP=60-80 kPa), šedý, s přechody do stejnozrného jílovitého písku																																
3,85	41: Písek dobře zrněný, hrubozrný, při bázi s polozaoblenými šterky křemene do 3 až 8 cm, zvodnělý, hnědý																																
6,05	45: Písek jílovitý, středně až hrubozrný, nestejnozrný, ve výplni tuhý (RP=100 kPa), hnědošedý																																
10,00	15: Jíl s vysokou plasticitou, tuhý (RP=100 kPa, ovlivněný vrtáním), od 8.30 m pevný (RP=260-320 kPa), hnědočervený, žlutě smouhovaný, od 8.30 m šedoběžový; v 7.30 m tvrdé okrové konkrce do 2 cm a prachovité vrstvičky do 1 cm																																
10,40	12: Jíl písčitý, pevný (RP=320 kPa), s laminami okrového stejnozrného písku; od 10.30 m mokrá drť a úlomky do 10 cm železitého pískovce s okrovou prachovitopřísčitou výplní																																
11,40	14: Jíl se střední plasticitou, pevný (RP=220-380 kPa), jemně slídnatý, bíložedý																																
11,90	45: Písek jílovitý, střednězrný, stejnozrný, s výplní tuhou až pevnou (RP=60-200 kPa), žlutobíložedý																																
16,55	14: Jíl se střední plasticitou, pevný (RP=240-300 kPa, od 13.00 m RP=200-160 kPa), jemně slídnatý, místy se slabou písčitou příměsí, bíložedý, žlutohnědě smouhovaný, od 14.00 m hnědočerveně smouhovaný; v 15.70 m okrové úlomky do 5 cm železitého pískovce																																
22,00	45: Písek jílovitý, středně až hrubozrný, nestejnozrný, kaolínický, slabě zvodnělý, soudržný, s výplní pevnou (ulehlý), světle hnědožlutý, od 20.00 m bíložedý, žlutě smouhovaný, od 21.10 m světle okrový, místy s drobnými tvrdými želežitými konkracemi do 3 cm																																
26,00	51: Písek jílovitý se šterkem, středně až hrubozrný, místy velmi hrubozrný, nestejnozrný, ulehlý, okrový																																
<p><b>Legenda:</b> Vzorky s číslem laboratorního rozboru. Podzemní voda s číslem zvodně.     </p> <p><b>Poznámka:</b>   RP - měření kapesním penetrem   HPV ustálená za 24 hod, po odvrtání   z.č. III s vysoce napjatou hladinou, ustálenou v technologické pažnici</p>																																	
Název akce: Modernizace tratí Ševětín - Veselí nad Lužnicí 1. část, Ševětín - Horusice, nový železniční most v km 30,920			Měřítko: 1: 145	Zak. číslo: 12 020																													
Dokumentoval: Ing. L. Med		Vyhodnotil: Ing. L. Med		Zpracoval: Ing. L. Med	Příloha č.: J 1060																												

Vytvořeno systémem GeProDo, www.volny.cz/gepro15

Obrázek 91: Geologická dokumentace vrtu





vrstva	$z_1$	$z_2$	ČSN EN ISO14 688	Geot. typ	$E_{def}$	$\gamma$	$\nu$	$\varphi$	$c$
	[m]	[m]			[MPa]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[-]	[°]	[kPa]
1	0.00	0.15	orsaSi	II	0.80	12.00	0.43	15.00	3.00
2	0.15	0.80	Cl	I	4.00	16.10	0.40	15.00	10.00
3	0.80	2.65	orsaCl	II	0.80	12.00	0.43	15.00	3.00
4	2.65	3.00	sasiCl	III	3.50	19.50	0.38	17.00	5.00
5	3.00	3.85	grSa	V	8.50	21.50	0.35	26.00	0.00
6	3.85	6.05	clSa	V	8.50	21.50	0.35	26.00	0.00
7	6.05	10.00	Cl	VIa	12.00	21.50	0.41	19.00	25.00
8	10.00	10.40	sasiCl	IV	6.50	21.50	0.35	23.00	8.00
9	10.40	11.40	slCl	VI	7.00	21.50	0.41	17.00	10.00
10	11.40	11.90	clSa	VII	30.00	19.00	0.32	30.00	4.00
11	11.90	16.55	slCl	VI	7.00	21.50	0.41	17.00	10.00
12	16.55	22.00	clSa	VII	30.00	19.00	0.32	30.00	4.00
13	22.00	26.00	grclSa	VII	30.00	19.00	0.32	30.00	4.00

Tabulka 7: Data o geologickém profilu

## 8.8.2 Skupinový účinek pilot

Skupinový účinek působení pilot lze vypočítat pomocí normy DIN 1054-2003, která používá pro úpravu vodorovné tuhosti  $k_h$  koeficient  $\alpha$ . Tento koeficient zohledňuje polohu piloty ve skupině a rozteče mezi pilotami. Normy ČSN a EN postup pro zohlednění a modelování vodorovně namáhaných pilot nemají. Výpočet pomocí DIN 1054-2003 je převzat z knihy Vrtané piloty (Masopust 1993).

Pro skupiny pilot vetknuté do základové desky je možné při působení pouze vodorovných sil předpokládat stejné posuny v hlavách. Každá pilota ale přenáší svou dílčí část z celkové vodorovné síly  $H_R$  odlišně s ohledem na svou polohu ve skupině pilot podle rovnice.

$$\frac{H_i}{H_R} = \frac{\alpha_i}{\sum \alpha_i}$$

$H_i$  je vodorovná síla na i-tou pilotu

$H_R$  celková vodorovná síla

$$\alpha_i = \alpha_R \cdot \alpha_L$$

$\alpha_L$  koeficient závislý na vzdálenosti pilot  $a_L$  ve směru působící síly

$\alpha_R$  koeficient závislý na vzdálenosti pilot  $a_R$  kolmo na směr působící síly

$$\alpha_L = 0,25 + 0,125 \cdot a_L/d$$

Pro obor  $2 \leq \frac{\alpha_L}{d} \leq 6$ , pro  $\frac{\alpha_L}{d} < 2$  je  $\alpha_L = 0,5$

Pro  $\frac{\alpha_L}{d} > 6$  je  $\alpha_L = 1,0$

Zmenšovací faktor  $\alpha_R$  pro příčný směr má dva tvary:

$$\alpha_{RA} = 0,7 + 0,1 \cdot \frac{a_R}{d}$$

$$\alpha_{RZ} = 0,25 + 0,25 \cdot \frac{a_R}{d}$$

V případě dvouose symetrické skupiny pilot je možné piloty rozdělit na 4 typy: I, II, III, IV.

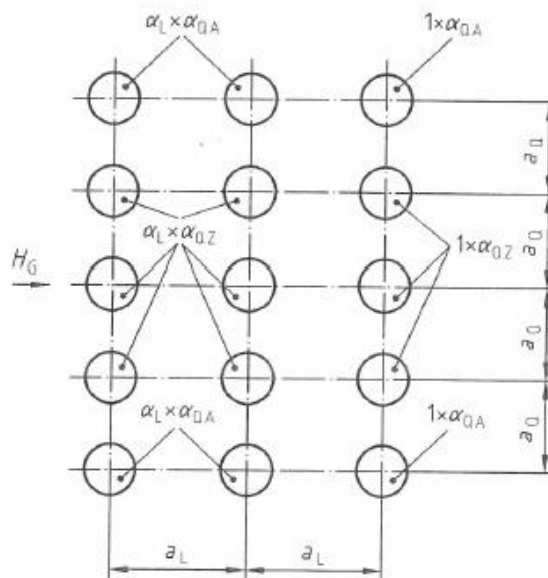
Pro jednotlivé typy platí:

$$\alpha_{iI} = 1 \cdot \alpha_{RA}$$

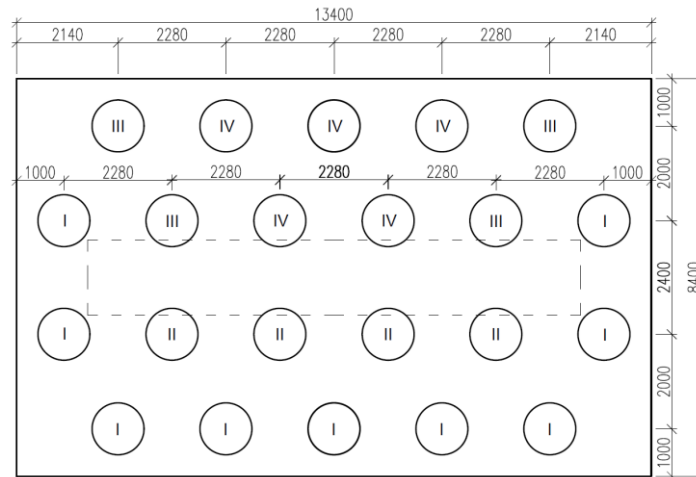
$$\alpha_{iII} = 1 \cdot \alpha_{RZ}$$

$$\alpha_{iIII} = \alpha_L \cdot \alpha_{RA}$$

$$\alpha_{iIV} = \alpha_L \cdot \alpha_{RZ}$$



Obrázek 92: Použití součinitelů v závislosti na poloze piloty ve skupině podle normy



Obrázek 93: Použití součinitelů v závislosti na poloze piloty ve skupině

Zároveň se mění modul vodorovné reakce podloží. Pro kohezní zeminu kde modul reakce podloží je konstantní (po částech), je možné pro výpočet pružné délky použít vzorec.

$$L' = \left( \frac{E_b \cdot I}{k_h \cdot d} \right)^{0,25} = \left( \frac{32 \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 0,58^4}{0,8 \sim 30 \cdot 1,16} \right)^{0,25} = 16,9 \sim 41,8$$

Modul  $k_h$  se pohybuje v rozmezí od 0,8 do 30 a tedy i výsledná pružná délka se pohybuje v rozmezí od 16,9 do 41,8 metru. U těchto pilot, kde je poměr délky piloty a pružné délky  $l/L' \leq 2$  platí vzorec pro výpočet modulu vodorovné reakce podloží:

$$k_{hi} = \alpha_i \cdot k_{hi}$$

$E_b$  modul pružnosti betonu

$I$  moment setrvačnosti piloty

$k_h$  modul vodorovné reakce podloží

$d$  průměr piloty



č. piloty	Q	L	typ pro Q	typ pro L	$a_Q/D_s$	$a_L/D_s$	$\alpha_{QA}$	$\alpha_L$	$\alpha_{QZ}$	red $\alpha_Y$	red $\alpha_X$
1	-4.56	-3.2	3	3	-3.86	-2.71	0.90	0.50	0.75	0.45	0.45
2	-2.28	-3.2	4	4	-1.93	-2.71	0.90	0.50	0.75	0.38	0.38
3	0	-3.2	4	4	0.00	-2.71	0.90	0.50	0.75	0.38	0.38
4	2.28	-3.2	4	4	1.93	-2.71	0.90	0.50	0.75	0.38	0.38
5	4.56	-3.2	3	3	3.86	-2.71	1.00	0.50	1.00	0.45	0.45
6	-5.7	-1.2	1	1	-4.83	-1.02	0.90	0.50	0.75	0.90	0.90
7	-3.42	-1.2	3	3	-2.90	-1.02	0.90	0.50	0.75	0.45	0.45
8	-1.14	-1.2	4	4	-0.97	-1.02	0.90	0.50	0.75	0.38	0.38
9	1.14	-1.2	4	4	0.97	-1.02	0.90	0.50	0.75	0.38	0.38
10	3.42	-1.2	3	3	2.90	-1.02	0.99	0.50	0.97	0.45	0.45
11	5.7	-1.2	1	1	4.83	-1.02	1.00	0.50	1.00	0.90	0.90
12	-5.7	1.2	1	1	-4.83	1.02	0.90	0.50	0.75	0.90	0.90
13	-3.42	1.2	2	2	-2.90	1.02	0.90	0.50	0.75	0.75	0.75
14	-1.14	1.2	2	2	-0.97	1.02	0.90	0.50	0.75	0.75	0.75
15	1.14	1.2	2	2	0.97	1.02	0.90	0.50	0.75	0.75	0.75
16	3.42	1.2	2	2	2.90	1.02	0.99	0.50	0.97	0.75	0.75
17	5.7	1.2	1	1	4.83	1.02	1.00	0.50	1.00	0.90	0.90
18	-4.56	3.2	1	1	-3.86	2.71	0.90	0.59	0.75	0.90	0.90
19	-2.28	3.2	1	1	-1.93	2.71	0.90	0.59	0.75	0.90	0.90
20	0	3.2	1	1	0.00	2.71	0.90	0.59	0.75	0.90	0.90
21	2.28	3.2	1	1	1.93	2.71	0.90	0.59	0.75	0.90	0.90
22	4.56	3.2	1	1	3.86	2.71	1.00	0.59	1.00	0.90	0.90
Průměrný redukční součinitel										0.67	0.67

Tabulka 8: Redukční součinitele tuhostí pilot

vrstva	$z_1$	$z_2$	třída	$E_{def}$	$k_h$	$k_h \cdot \alpha_X$	$k_h \cdot \alpha_Y$
	[m]	[m]	-	[MPa]	[MN/m]	[MN/m]	[MN/m]
1	0.0	0.2	II	0.8	0.8	0.54	0.54
2	0.2	0.8	I	4	4.0	2.69	2.69
3	0.8	2.7	II	0.8	0.8	0.54	0.54
4	2.7	3.0	III	3.5	3.5	2.35	2.35
5	3.0	3.9	V	8.5	8.5	5.71	5.71
6	3.9	6.1	V	8.5	8.5	5.71	5.71
7	6.1	10.0	VIa	12	12.0	8.06	8.06
8	10.0	10.4	IV	6.5	6.5	4.37	4.37
9	10.4	11.4	VI	7	7.0	4.70	4.70
10	11.4	11.9	VII	30	30.0	20.15	20.15
11	11.9	16.6	VI	7	7.0	4.70	4.70
12	16.6	22.0	VII	30	30.0	20.15	20.15
13	22	26	VII	30	30.0	20.15	20.15

Tabulka 9: Redukované tuhosti podepření

Pro každou pilotu by měla být upravena tuhost pružinami dle její polohy ve skupině. Toto řešení by, ale značně zkomplikovalo výpočetní model a prodloužilo výpočet, je tedy přistoupeno ke zjednodušení, tak, že jsou použity stejné tuhosti pružin v obou směrech a byly zprůměrovány



redukované tuhosti pro každý směr a rozmístění ve skupině. Tím, že jsou piloty vetknuté do velmi masivní základové desky, by měla být deformace pilot podobná.

## 8.9 Vliv zemních tlaků na kolejové lože v přechodové oblasti

Během účinku vodorovných sil od brzdění vlaku vzniká na konci mostu v kolejovém loži mostovky pasivní zemní tlak zatlačováním mostovky s kolejovým ložem do kolejového lože za mostem. Plocha kolejového lože má zhruba obdélníkový tvar s průměrnou výškou 0,65 metru a šířkou 9,8 metru. Objemová tíha kameniva  $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$  a úhel vnitřního tření přibližně  $\varphi = 40^\circ$ . Maximální síla zemního tlaku vychází z rozdílu pasivního a aktivního zemního tlaku.

Vodorovné zemní tlaky se dle ČSN 73 0037 stanovují podle následujících rovnic:

$$\text{Svislý zemní tlak od kolejového lože: } s_z = \gamma \cdot z = 18 \cdot 0,65 = 11,7 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Součinitel zemní tlak v klidu: } K_r = 1 - \sin \varphi = 1 - \sin 40 = 0,357$$

Svislé zatížení neuvažují, předpokládá se, že vlak bude při brzdění na druhé straně mostu.

$$\text{Vodorovný tlak v klidu na dně žlabu je tedy: } s_r = s_z \cdot K_r = 11,7 \cdot 0,357 = 4,18 \text{ kN/m}$$

$$\text{Součinitel aktivního zemního tlaku: } K_a = tg^2 \left( 45 - \frac{\varphi}{2} \right) = tg^2 \left( 45 - \frac{40}{2} \right) = 0,217$$

$$\text{Vodorovný tlak v aktivní na dně žlabu je: } s_a = s_z \cdot K_a = 11,7 \cdot 0,217 = 2,54 \text{ kN/m}$$

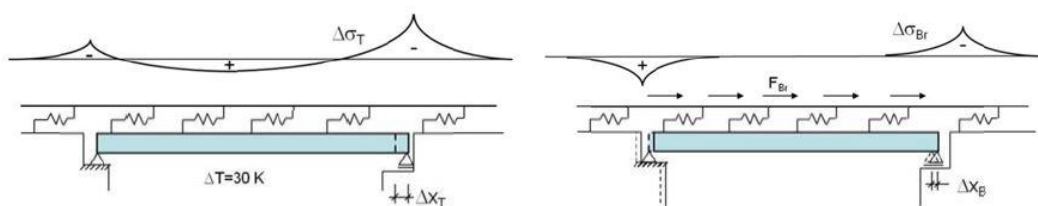
$$\text{Rozdíl tlaků: } \Delta s = 4,18 - 2,54 = 1,64 \text{ kN/m}$$

Zda působí na most zemní tlak aktivní nebo v klidu závisí na velikosti posunu mostu směrem k opěře. Hodnoty posunu konstrukce při brzdných a rozjezdových zkouškách se pohybují v řádu desetin milimetru. Při tak malých hodnotách deformace, bude zemní tlak působit převážně jako zemní tlak v klidu, aktivní tlak bude nabývat velmi malých hodnot a rozdíl aktivního tlaku a tlaku v klidu, bude zanedbatelný. Tlak je zároveň časově proměnný v závislosti na tom, jakou silou je mostovka v průběhu zatěžování zatlačována.

Průběh změn zemního tlaku v čase by byl velmi těžko zahrnutelný do výpočetního modelu, takže pro malé ovlivnění výsledného modelu bylo od jeho zahrnutí do výpočtu upuštěno.

## 8.10 Tuhostní parametry uložení koleje

Na bezстыkovou kolej působí řada podélných sil jako například změna teplot mezi kolejnicemi, teplotní rozdíly mezi mostní konstrukcí a kolejnicí a rozjezdové a brzdné síly pro náš případ. Z toho pak vyplívá spolupůsobení mezi kolejí a mostem. Při ohřívání koleje nebo při brzdných a rozjezdových silách vzniká u mostních dilatací k nárůstu napětí v kolejnici. Proto je potřeba v modelu uvolnit vazby mezi kolejnicí a upevněním pomocí plastických linků, aby nedocházelo k vyvozování abnormálně vysokých účinků na kolejnice.

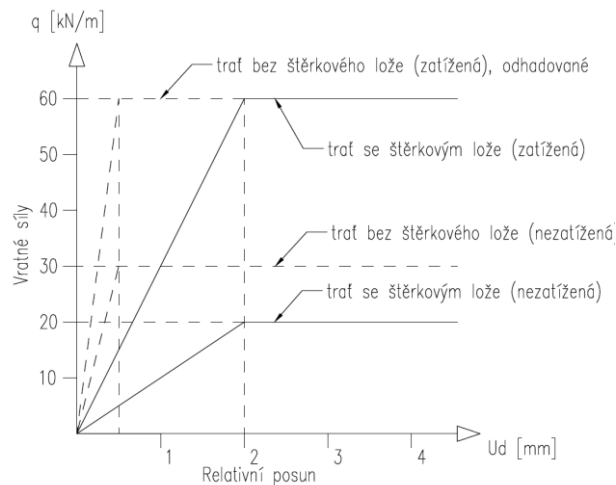


Obrázek 94: Dodatečné napětí v kolejnici od teploty (vlevo) a od brzdných sil (vpravo)

Do modelu pro uchycení kolejnice byly vloženy multi-lineární linky po 1 metru, pro maximální přiblížení se skutečnému chování kolejí, jak v širé trati, tak na mostní konstrukci. Pro správné fungování linků je potřeba popsat jejich vlastnosti ve všech třech směrech, a to podélném, příčném a svislém.

Síly podélného odporu udává eurokód jako bilineární funkci popisující vztah mezi odporem kolejového lože a posunutím (**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**). Tento odpor se projevuje při účinku vodorovných sil od brzdění vlaku nebo při změně délky mostu při ochlazování nebo oteplování nosné konstrukce. Tato síla od změny teploty se pak přes kolejové lože a upevňovadla, přenesou do kolejnice a vytvoří v ní tak dodatečné napětí.





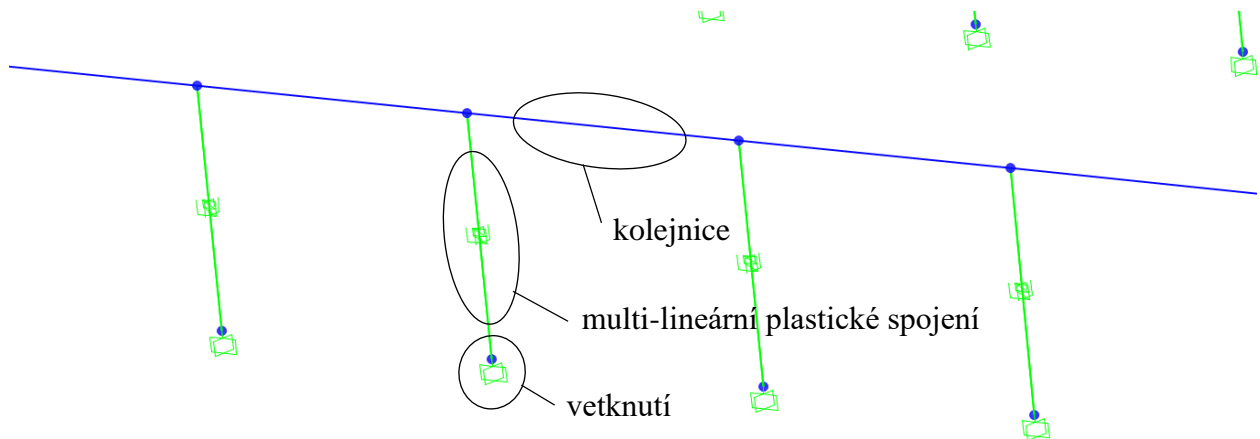
Obrázek 95: Graf závislosti podélného odporu a posunu BK

Podélný odpor je závislý na tom, zda je trať zatížená. Pod zátěží se odpor kolejového výrazně zvětší. Pro nezatíženou trať a deformaci koleje 2 mm je podélný odpor pro koleje s dobrou údržbou 20 kN/m pro štěrkové lože. Pro zatíženou trať při přejezdu vlaku je doporučená hodnota 60 kN/m. Podélný odpor koleje s průměrnou údržbou se udává 12 kN/m. V modelu bude tato hodnota vyzkoušena, zda ovlivňuje výsledky i pro spodní stavbu.

Do modelu tak byly zaneseny dva typy linků, které se vzájemně překrývají. První linky mají vlastnosti nezatížené koleje. Druhé linky spolu s prvními pak mají vlastnosti podélného odporu zatížené trati. Podélný odpor druhých linků je tak rozdíl mezi vlastnostmi zatížené a nezatížené koleje, tedy přesně 40 kN/m při 2 mm deformaci. Druhé linky jsou v modelu zapínány postupně, pouze když se v místě linku nachází lokomotivy.

Pro příčný odpor byly brány stejné hodnoty jako podélný odpor. V modelu budou působit především podélná zatížení, a tak není důvod hodnoty příčného odporu více specifikovat.

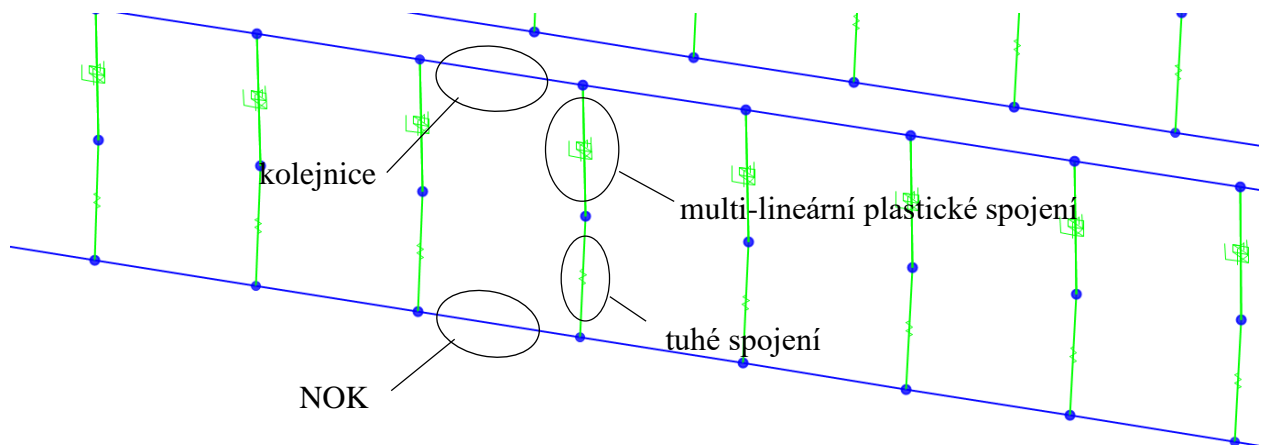
Svislá tuhost kolejového lože je 40 kN/m<sup>2</sup> působící proti směru zatížení. Svislá tuhost proti nadzvednutí koleje je daná vlastní tíhou koleje. Pro UIC 60 je tato hodnota 0,6 kN/m.



Obrázek 96: Model-uložení kolejnice v širé trati

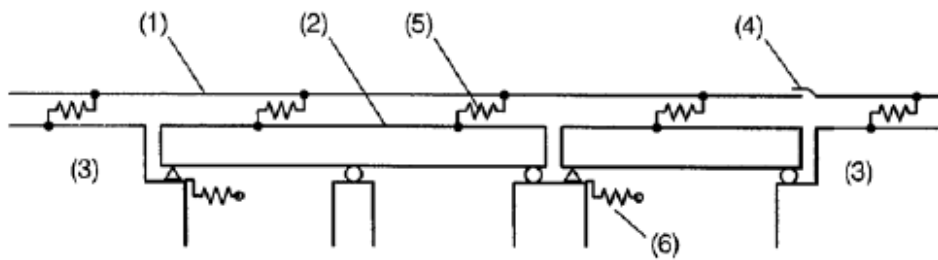
## 8.11 Spojení koleje a mostu

Pro připojení kolejnice k mostu bylo přistupováno obdobně jako v širé trati. Mezi geometrií mostu a kolejnice byla vytvořena multi-lineární plastické spojení, které dovoluje simulovat plastické chování kolejového lože.



Obrázek 97: model-spojení kolejnice s NOK

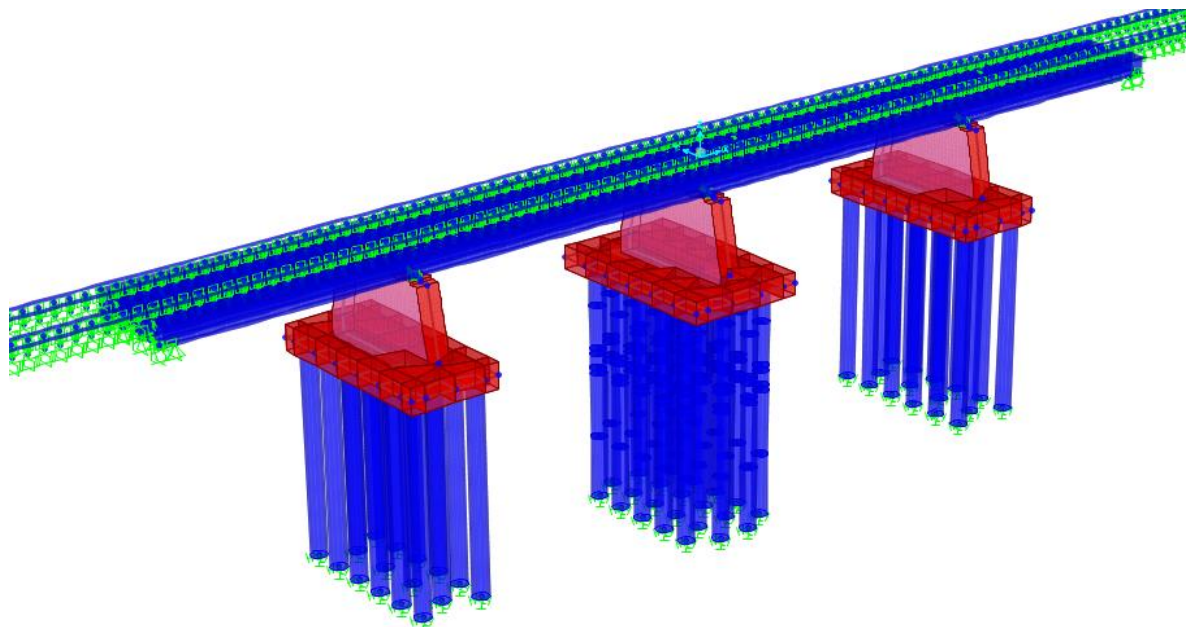
Pro lepší přehlednost je zde přiložen obrázek možného rozmístění prvků na konstrukci mostu.



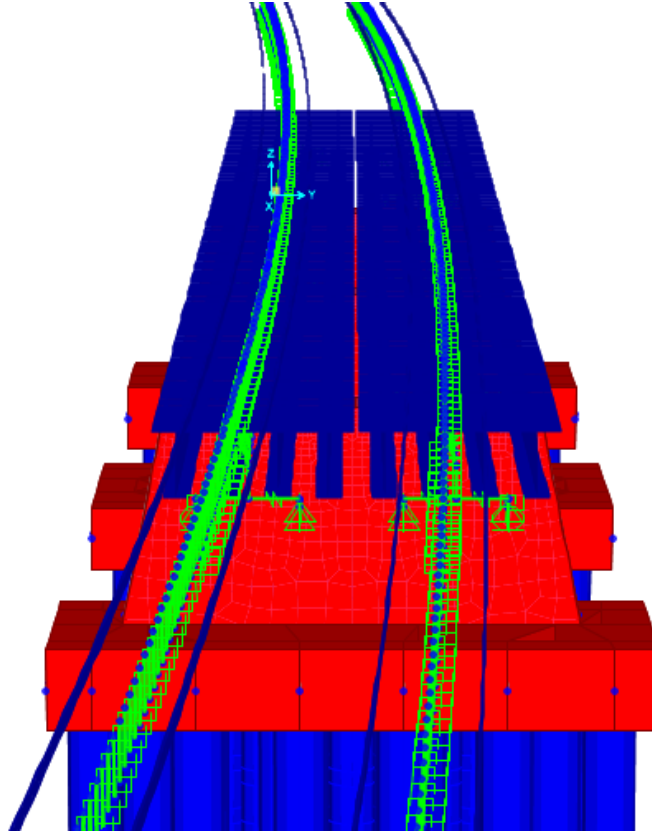
Obrázek 98: Příklad modelu systému kolej/konstrukce

(1) kolej; (2) - nosná konstrukce (znázorněn spojitý nosník o dvou polích a prostý nosník), 3 - těleso železničního spodku, 4 - kolejové dilatační zařízení, 5 - podélné nelineární pružiny vyjadřující průběh závislosti podélné zatížení/posunutí koleje, 6 - podélné pružiny vyjadřující podélnou tuhost  $K$  pevného uložení nosné konstrukce s uvážením tuhosti základů, pilířů a ložisek.

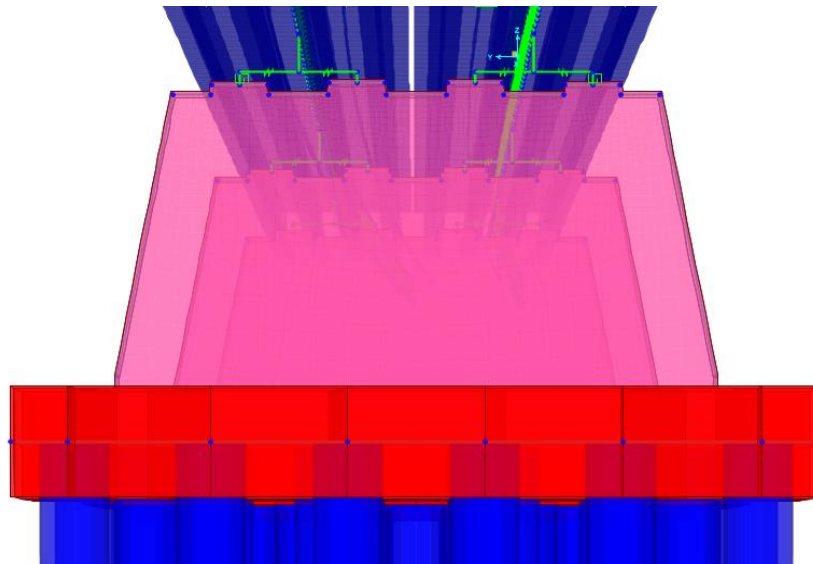
## 8.12 Zobrazení modelu



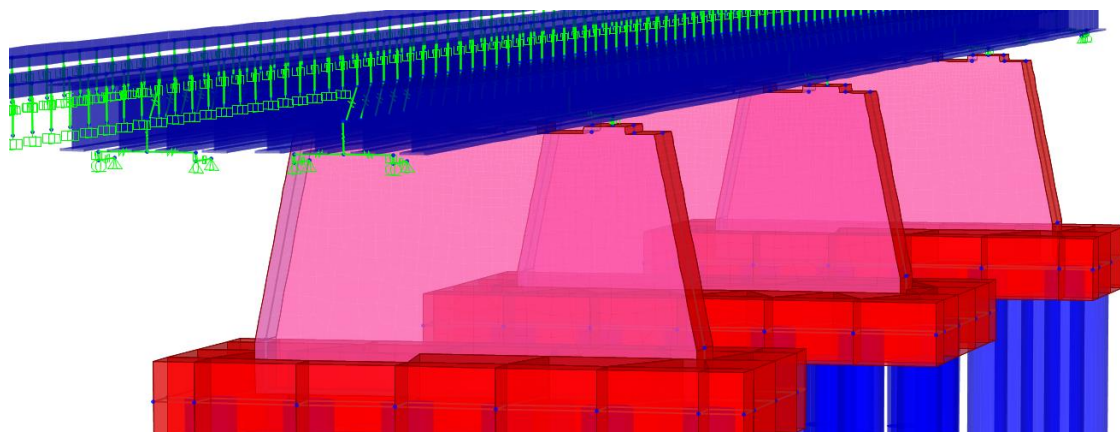
Obrázek 99: Celkový pohled na model mostu



Obrázek 100: Pohled na most ve směru na Prahu



Obrázek 101: Pohled na pilíř P1



Obrázek 102: Pohled na pilíře

### 8.13 Časová analýza průběhu zatěžování

Vyhodnoceny byly dva zatěžovací stavy B019 a B038 při kterých lokomotivy vyvinuly svými brzdnými silami nejvyšší účinek.

B019 (221) – h 21:00: během tohoto zatěžovacího stavu byly 4 lokomotivy na koleji č. 2, které brzdily z rychlosti 60 km/h, u tohoto stavu byla vyhodnocena nejvyšší brzdná síla působící na most.

B038 (321) – h 00:45: 2 lokomotivy na koleji č. 1 a 2 lokomotivy na koleji č. 2, brzdění z rychlosti 90 km/h. Při tomto testu začalo lehce pršet. Lokomotivy dobrzdily po přejetí mostu, na koleji 1 na mostě, na koleji 2 těsně za mostem. Byly cítit i přehřáté brzdy.

Do modelu bylo vodorovné i svislé zatížení od lokomotiv vneseno jako osamělé síly pro každou nápravu v odpovídajících vzdálenostech. Pojezd lokomotiv je v modelu vyhodnocen po kroku 1 m. Začátek zatěžování je vždy 50 metrů před mostem, kdy ještě bylo možné relativně přesně dopočítat zpomalení nebo zrychlení vlaku z přejezdu snímačů na mostě. Konec zatěžování v modelu odpovídá místu zastavení vlaku s přesností na půl metru.

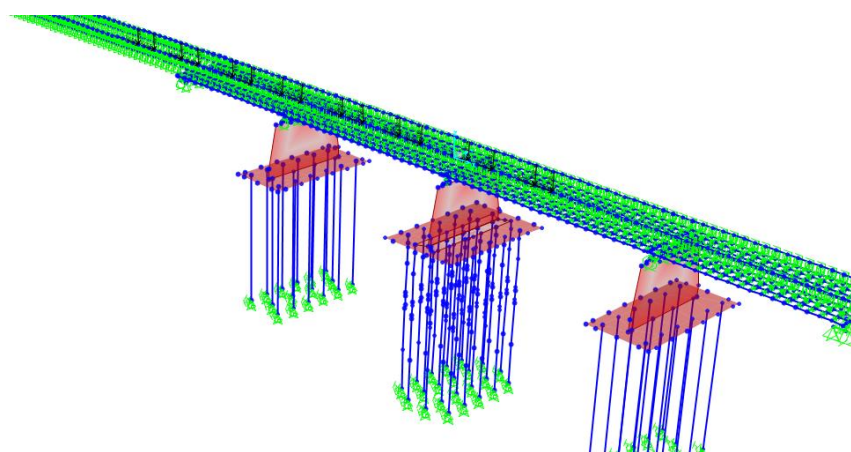
Pro dosažení více reálnějšího chování přenosu sil přes kolej byly zdvojeny linky podpírající kolej. První linky s vlastnostmi nezatížené koleje byly zapnuty trvale. Druhý typ linků s vlastnostmi rozdílů zatížené a nezatížené koleje se zapínal jen při zatížení nápravou lokomotivy. Pro každý krok byla vytvořena skupina linků s vlastnostmi pro zatíženou kolej,

odpovídající poloze vlaku. Skupina pro dané zatížení byla vždy zapnuta, v dalším kroku vypnuta a zapnuta skupina dalšího kroku.

### 8.13.1 Zatěžovací stav B019

ZS B019 je rozdělen do 116 kroků po 1 metru během kterých lokomotivy brzdí na mostě, zastaví a znovu se rozjedou směrem zpět na Prahu. Pro dosažení více reálného chování přenosu sil přes kolej jsou v každém kroku pod jednotlivými nápravami lokomotiv zapnuty vazby, které odpovídají vlastnostem zatíženého kolejového lože.

Sledování pohybu lokomotiv při testu B019 v modelu začíná, když je první náprava 12 m před mostem směrem na Prahu, respektive 52 metrů od středu mostu (poloha lokomotiv je vždy vztažena k první nápravě ve směru jízdy při brzdění). V každém kroku je do modelu vneseno zatížení od náprav odpovídající vypočítaným hodnotám ze zkoušek. Vlak v tomto případě dobrzdil první nápravou 13 metrů za středem mostu. V modelu krok číslo 66. V tomto okamžiku vlak působí na most maximální vodorovnou silou dosaženou během testu 32,6 kN na jednu nápravu. Krok 67 je stojící lokomotiva na mostě bez vodorovných sil. Krok 68 představuje rozjezd lokomotiv zpět směrem na Prahu, pro tento krok je použita maximální rozjezdová síla 32,1 kN. Sledování rozjezdu je ukončeno krokem 116, kdy poslední náprava vlaku vzdálena 36 metrů od středu mostu.



Obrázek 103: Zatěžovací stav B019 při kroku 66 - dobrzdění



### 8.13.2 Zatěžovací stav B038

ZS B038 je rozdělen do 120 kroků po 1 metru.. Zatěžovány jsou obě koleje, na každé koleji jsou dvě lokomotivy. Stav byl zjednodušen a obě lokomotivy pojíždějí po mostě současně. Krok 1 odpovídá poloze vlaků 72 od středu mostu, respektive 32 metrů před vjezdem na most. Vlak dobrzdil v kroku 82 s maximální silou 26,4 kN. Z místa se pak rozjel v dalších kroku s maximální rozjezdovou silou 31,2 kN. Poslední zatěžovací stav je ve vzdálenosti 29 metrů od středu mostu.



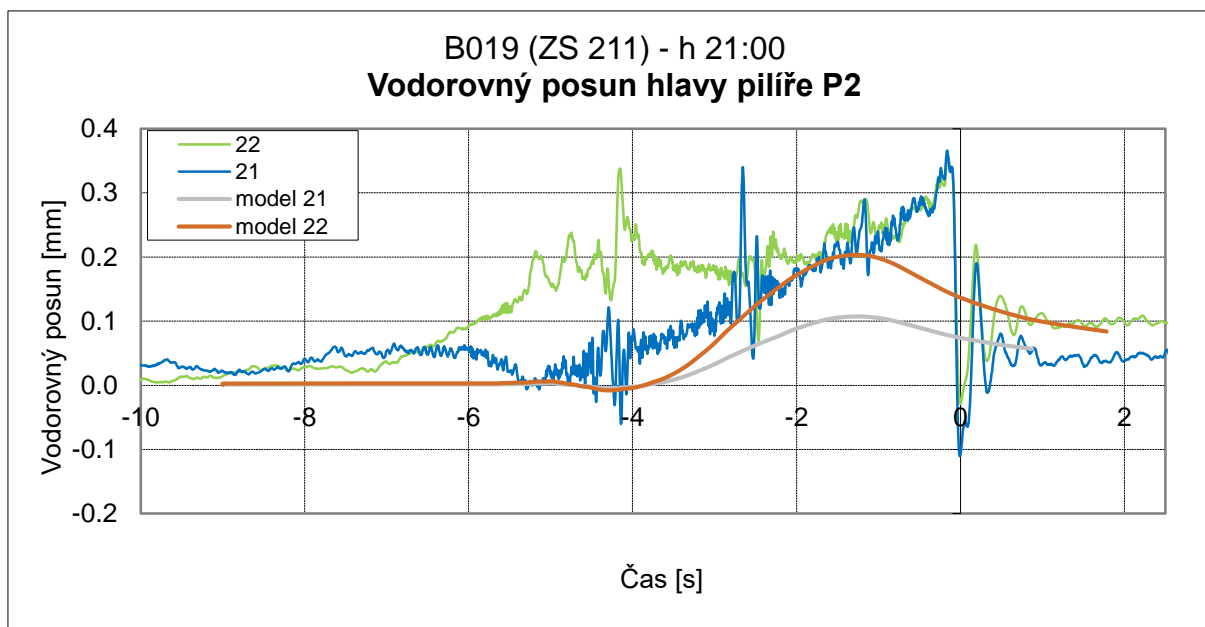
## 9 Výsledky z modelu

### 9.1 Porovnání posunů pilíře

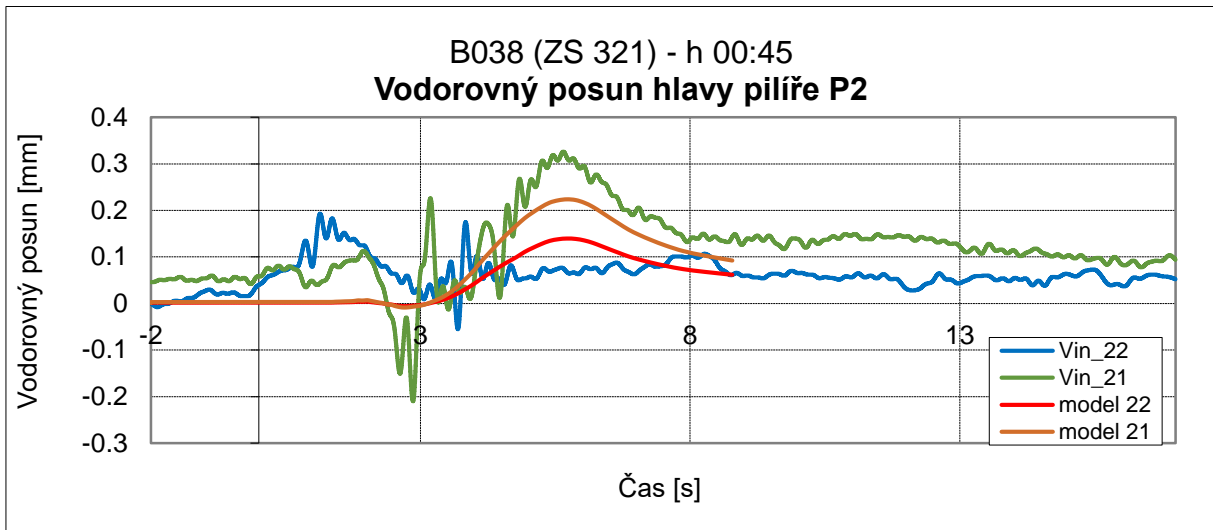
Hodnoty vodorovných posunů pilíře z modelu vyšly menší než hodnoty změřené na reálné konstrukci. Menší hodnoty vypočítané z numerického modelu mohou být způsobeny několika důvody. Prvním je, že velkou roli při účinku vodorovných sil přechází do předcházejícího pilíře a opěry přes třecí síly v ložisku. Skutečná síla v ložisku se těžko stanovuje, a tak byla v modelu ponechána síla vypočítaná z největší reakce v ložisku, tření v ložisku tak bude pravděpodobně menší než vypočítaná hodnota. Návrhový postup pro výpočet pravděpodobně také tření ložiska nadhodnocuje. Možným řešením by bylo v každém kroku zatěžování měnit vlastnosti ložisek, což by ale byla časově velmi náročná metoda s nejistým výsledkem.

Velký význam měla samozřejmě tuhost pilíře a pilot. Při snížené tuhosti, došlo ke zvětšeným deformacím.

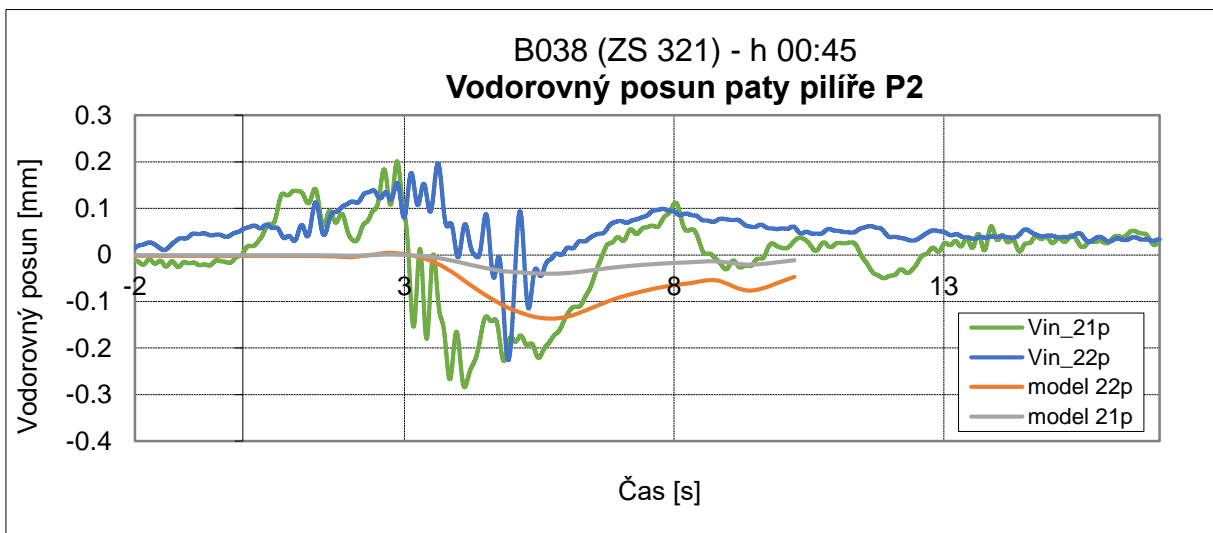
Rozjezdy lokomotiv v modelu, vykazovaly shodné chování jako brzdy, jen se zrcadlově obrácenými hodnotami. Další analýza rozjezdů v modelu tedy nemá důvod.



Obrázek 104: Porovnání posunů hlavy pilíře P2 s modelem – B019



Obrázek 105: Porovnání posunů hlavy pilíře P2 s modelem – B038



Obrázek 106: Porovnání posunů paty pilíře P2 s modelem – B038

Pro grafy posunu paty pilíře jsou hodnoty také menší než změřené hodnoty během testu.

## 9.2 Změna podélného odporu kolejového lože

Dále byla sledována odezva pilíře na změnu podélného odporu kolejového lože. Pro různé hodnoty podélného odporu byl ale vliv na deformaci spodní stavby minimální. Vyzkoušeny byly hodnoty pro nezátížené linky 10, 15 a 20 kN/m a pro zatížené 40, 45 a 50 kN/m. Podélný odpor má vliv především v místě dilatací mostu na vznik dodatečného napětí v kolejnicích. Na spodní stavbě nebyly zaznamenány změny v posunech pilíře.



## 10 Závěr

V této práci byla popsána a vyhodnocena zatěžovací zkouška na železničním mostě mezi Dynínem a Horusicemi, zvaném také jako Losí most, která proběhla v dubnu roku 2016. Tato zkouška měla pomocí brzdných a rozjezdových zkoušek vyvodit co největší možnou vodorovnou sílu na most tak, aby bylo možné z těchto účinků sledovat odezvu konstrukce. Pro sledování pohybu lokomotivy byly vyhodnoceny průběhy dráhy, rychlosti a zrychlení, ze kterých byla dále vypočítána vodorovná síla působící na kolej. Při brzdných zkouškách bylo dosaženo vodorovné síly až 32,8 kN na jednu nápravu lokomotivy. Celková maximální vodorovná síla pro 4 lokomotivy v okamžiku dobrzdění byla tedy 524,8 kN. Maximální rozjezdová síla v okamžiku rozjezdu činila 32,1 kN na jednu nápravu, tedy 513,6 kN pro všechny 4 lokomotivy.

V další části práce byla vyhodnocena data z jednotlivých snímačů. Vzhledem k velkému množství zatěžovacích stavů a z nich získaných dat byly pro vyhodnocení vybrány jen ty, během kterých byla na konstrukci sledována největší odezva.

Pozornost vedla především ke střednímu pilíři s pevnými ložisky, do kterého se koncentrují největší účinky vodorovných sil. Maximální změřená vodorovná deformace pilíře v hlavě byla přibližně 0,5 mm. Tyto hodnoty deformace jsou v porovnání s velikostí pilíře (dřík měří přibližně 5,4 metru) zanedbatelné z hlediska zatížení a životnosti stavby. Maximální napětí dopočítané z relativní deformace pilíře bylo tahové napětí 0,13 MPa a tlakové napětí 0,23 MPa.

V práci jsou dále zpracované vybrané průběhy brzdných zatěžovacích stavů, které vyvodily největší síly působící na konstrukci.

Poté byl vytvořen model mostu v programu CSiBridge. Následovala snaha o validaci modelu, aby odpovídal chování při zatěžovacích stavech během zkoušek. Validaci se nepodařilo dovést k přesným výsledkům podle představ, ale částečné shody v chování konstrukce a naměřených dat se podařilo dosáhnout, a bylo tak možné sledovat jevy ovlivňující chování konstrukce.

Validace poukázala na několik problémů. Při snaze o co největší vodorovný účinek na střední pilíř má velký vliv tření ložisek z opěr a ostatních pilířů, které přebírá značnou část síly působící na střední pilíř. Hodnoty tření byly stanoveny dle návrhového postupu, který může reálné tření nadhodnocovat. Třecí síla je ve skutečnosti proměnná v závislosti na svislé síle v ložisku, která se během zatěžování mění. Třecí síly v modelu tak mohou být větší a tím výsledná síla působící



na střední pevný pilíř menší. Možným řešením by bylo v každém kroku zatěžování měnit vlastnosti ložisek, což by ale byla časově velmi náročná metoda s nejistým výsledkem.

Sledována byla i změna podélného odporu koleje. Pro různé hodnoty podélného odporu byl ale vliv na deformaci spodní stavby minimální. Podélný odpor má vliv především v místě dilatací mostu na vznik dodatečného napětí v kolejnicích.

Další významný vliv měla změna tuhosti pilíře a pilot. U brzdných sil dochází k zatěžování ve velmi krátkém intervalu, kdy nedojde k dlouhodobé deformaci základové zeminy.

Menší deformace modelu oproti skutečným naměřeným hodnotám, a tím pádem větší tuhosti modelu, může být způsobena více faktory. Předpokladem výpočtu vodorovného podepření pilot dle Masopusta (1993) je dlouhodobé zatížení. Dobrzdění vlaku je však krátký impuls odehrávající se v řádu sekund, nejedná se tak o žádnou ustálenou deformaci, ale o kmit konstrukce. V budoucnu by bylo jistě zajímavé porovnání této metody s přesnějším výpočtem pomocí softwaru umožňujícího přesněji modelovat chování zeminy.



## 11 Použité podklady

### 11.1 Normy a předpisy

- [1] ČSN EN 1991-2. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 2: Zatížení mostů dopravy. Praha: ČNI, 2005.
- [2] ČSN EN 1993-2. Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 2: Ocelové mosty. Praha: ČNI, 2005.
- [3] Předpis SŽDC S3 „Železniční svršek“, díl XII „Železniční svršek na mostních objektech“
- [4] ČSN 73 0037 (730037) Zemní tlak na stavební konstrukce
- [5] TP 173. Použití mostních hrncových ložisek. PRAGOPROJEKT, a.s.. Praha, 2006.

### 11.2 Literatura

- [6] Modernizace trati Ševětín – Veselí nad Lužnicí, 1. část, Ševětín – Horusice, SO44-20-03 Dynín-Horusice, žel. most v km 30,920 – Technická zpráva
- [7] Modernizace trati Ševětín – Veselí nad Lužnicí, 1. část, Ševětín – Horusice, SO44-20-03 Dynín-Horusice, žel. most v km 30,920 – Statický výpočet
- [8] Modernizace trati Ševětín – Veselí nad Lužnicí, 1. část, Ševětín – Horusice, SO44-20-03 Dynín-Horusice, žel. most v km 30,920 – Specifikace požadavků na DZZ a BZ
- [9] Modernizace trati Ševětín – Veselí nad Lužnicí, 1. část, Ševětín – Horusice, SO44-20-03 Dynín-Horusice, žel. most v km 30,920 – Hlubinné založení mostu – kontrolní statický výpočet
- [10] Modernizace trati Ševětín – Veselí nad Lužnicí, 1. část, Ševětín – Horusice, SO44-20-03 Dynín-Horusice, žel. most v km 30,920 – Měření brzdných sil
- [11] Zpráva z měření deformací při zatěžovací zkoušce a brzdných zkouškách žel. mostu v km 30,920, SO 44-20-03 metodou radarové interferometrie
- [12] ČAMBULA, Jaroslav a Vladislav HRDOUŠEK. Navrhování mostních konstrukcí podle Eurokódů. 1. vyd. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2010, 341 s. ISBN 978-80-87093-90-0.
- [13] ROTTER, Tomáš a Jiří STUDNIČKA. Ocelové mosty. Vyd. 1. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2006, 201 s. ISBN 80-01-03410-0.



- [14] SOKOL, Zdeněk a František WALD. Ocelové konstrukce: tabulky. 2., přeprac. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2010, 81 s. ISBN 978-80-01-04655-5.
- [15] Fotografie z průběhu stavby společnosti STRABAG a.s. a FIRESTA-Fišer, rekonstrukce, stavby a.s.
- [16] MASOPUST, Jan. Vrtané piloty. Praha: Čeněk a Ježek, 1994.

### 11.3 Použité internetové stránky

- [17] <http://people.fsv.cvut.cz/www/ryjacpav/> Přednášky a pomůcky doc. Ing. Pavla RYJÁČKA, Ph.D.
- [18] <http://www.inset.com/cz/> Stránky společnosti realizující měření
- [19] <http://vintegra.cz/> Stránky společnosti realizující měření radarovou interferometrií

### 11.4 Programy

- AutoCAD 2015 – studentská licence
- CSiBridge 2016 v18.2.0 – studentská licence
- Microsoft Office 2016 – studentská licence
- SUDONYN – program společnosti INSET s r.o.



## 12 Seznam zkratk

---

BK	bezстыková kolej
B019	označení měřeného stavu společností INSET, pořadové číslo 019
ČB	České Budějovice
DZZ	dynamická zatěžovací zkouška
HPV	hladina podzemní vody
KO	koutový odražeč
LC1	zatěžovací stav číslo 1
NOK	nosná ocelová konstrukce
OP1	opěra ve směru na Prahu
P1	první pilíř ze směru od Prahy (Veselí nad Lužnicí)
PEHD	polyethylen o vysoké hustotě
SZZ	statická zatěžovací zkouška
SŽDC	Správa železniční dopravní cesty
U019	označení měřeného stavu společností VINTEGRA
VMP	volný mostní průřez
ZS321	zatěžovací stav číslo 321





## 13 Seznam obrázků

Obrázek 1: Pohled na most.....	5
Obrázek 2: Příčný řez mostovkou .....	5
Obrázek 3: Hlavy pilot středního pilíře při odbourávání, autor: Firesta s.r.o.....	7
Obrázek 4: Dřík středního pilíře P2.....	8
Obrázek 5: Opěra před hutněním první vrstvy zeminy, autor: Firesta s.r.o. ....	9
Obrázek 6: Ocelová konstrukce během montáže, autor: Firesta s.r.o. ....	10
Obrázek 7: Pohled na ložisko na opěře .....	11
Obrázek 8. Pohled na dilatační a podélnou spáru během stavby.....	12
Obrázek 9: Příčný řez středním pilířem a mostovkou .....	12
Obrázek 10: Podélný řez a půdorys mostu .....	13
Obrázek 11: Geotechnický řez .....	15
Obrázek 12: Schéma lokomotivy 230 .....	16
Obrázek 13: Celkový pohled na most se specifikací měřených míst .....	22
Obrázek 14: Induktivní snímač přetvoření SP_1_100.....	25
Obrázek 15: Vrtání a lepení snímačů do kolejnic .....	26
Obrázek 16: Induktivní snímač dráhy DH 100.....	26
Obrázek 17: Strunový induktivní snímač dráhy DKBT 50 .....	27
Obrázek 18: Odporové teplotní čidlo KTY-6.....	28
Obrázek 19: Schéma rozmístění odražečů.....	29
Obrázek 20: Koutový odražeč na pilíři .....	30
Obrázek 21: Radar interferometrie .....	30
Obrázek 22: Synchronizační zařízení .....	31
Obrázek 23: Měřicí počítače.....	31
Obrázek 24: Rozmístění snímačů na mostě.....	33



Obrázek 25: Čísla kanálů a názvy přiřazené snímačům .....	34
Obrázek 26: Časové parametry, zdroj: INSET s.r.o. ....	36
Obrázek 27: Časový průběh testu B017 .....	38
Obrázek 28: Časový průběh testu B019 .....	39
Obrázek 29: Časový průběh testu B021 .....	39
Obrázek 30: Časový průběh testu B024 .....	40
Obrázek 31: Časový průběh testu B026 .....	40
Obrázek 32: Časový průběh testu B030 .....	41
Obrázek 33: Časový průběh testu B038 .....	41
Obrázek 34: Časový průběh testu B041 .....	42
Obrázek 35: Časový průběh testu B044 .....	42
Obrázek 36: Časový průběh testu B020 .....	43
Obrázek 37: Časový průběh testu B001 .....	43
Obrázek 38: Přetvoření pilířů při testu B030.....	44
Obrázek 39: Graf relativního posunu mezi NOK a pilířům/opěrám při testu B030.....	44
Obrázek 40: Absolutní pohyb pilíře P1 při testu B030 .....	45
Obrázek 41: Absolutní pohyb pilíře P2 při testu B030 .....	45
Obrázek 42: Pohyb pilíře P3 při testu B030 .....	46
Obrázek 43: Relativní pohyb NK a pilíře P2 při testu B030 .....	47
Obrázek 44: Relativní pohyb kolejnice vůči opěře .....	47
Obrázek 45: Velikost deformace v závislosti na poloze přední nápravy .....	48
Obrázek 46: Brzdné síly během testu B019 – h 21:00 – kolej 2 .....	49
Obrázek 47: Brzdné síly během testu B038 – h 00:45 – kolej 1 .....	49
Obrázek 48: Brzdné síly během testu B038 – h 00:45 – kolej 2 .....	49
Obrázek 49: Rozjezdové síly během testu B027 – h 22:46 – kolej 2.....	50



Obrázek 50: Brzdné síly během testu B017 – h 20:52 – Kolej 2 .....	51
Obrázek 51: Brzdné síly během testu B021 – h 21:09 – kolej 2 .....	51
Obrázek 52: Brzdné síly během testu B024 – h 21:31 – kolej 2 .....	52
Obrázek 53: Brzdné síly během testu B026 – h 22:42 – kolej 2 .....	52
Obrázek 54: Brzdné síly během testu B030 – h 23:05 – kolej 2 .....	53
Obrázek 55: Brzdné síly během testu B041 – h 01:06 – kolej 1 .....	53
Obrázek 56: Brzdné síly během testu B041 – h 01:06 – kolej 2 .....	54
Obrázek 57: Brzdné síly během testu B044 – h 02:03 – kolej 1 .....	54
Obrázek 58: Brzdné síly během testu B044 – h 02:03 – kolej 2 .....	55
Obrázek 59: Vodorovný posun hlavy pilíře P2 .....	56
Obrázek 60: Vodorovný posun NOK u pilíře P2 .....	56
Obrázek 61: Vodorovný posun paty pilíře P2 .....	57
Obrázek 62: Vodorovný posun hlavy pilíře P1 .....	57
Obrázek 63: Vodorovný posun hlavy pilíře P3 .....	58
Obrázek 64: Vodorovný posun NOK vůči pilíři P2 .....	58
Obrázek 65: Vodorovný posun NOK vůči pilíři P1 .....	59
Obrázek 66: Relativní deformace pilíře P3 .....	59
Obrázek 67: Relativní deformace pilíře P2 .....	60
Obrázek 68: Relativní deformace pilíře P1 .....	60
Obrázek 69: Relativní posun mezi kolejí a mostem .....	60
Obrázek 70: Vodorovný posun hlavy pilíře .....	61
Obrázek 71: Vodorovný posun paty pilíře P2 .....	61
Obrázek 72: Vodorovný posun NOK u pilíře P2 .....	62
Obrázek 73: Vodorovný posun hlavy pilíře P3 .....	62
Obrázek 74: Vodorovný posun hlavy pilíře P1 .....	63



Obrázek 75: Relativní posun mezi kolejí a mostem .....	63
Obrázek 76: Relativní deformace pilíře P1 .....	64
Obrázek 77: Relativní deformace pilíře P2 .....	64
Obrázek 78: Relativní deformace pilíře P3 .....	65
Obrázek 79: vodorovný posun NOK vůči opěře P1 .....	65
Obrázek 80: vodorovný posun NOK vůči opěře P2 .....	65
Obrázek 81: Použité průřezy .....	67
Obrázek 82: Část hlavního nosníku.....	68
Obrázek 83: Zjednodušený průřez hlavního nosníku .....	68
Obrázek 84: Průřezové charakteristiky pro dvě kolejnice 60E1 použité v modelu.....	69
Obrázek 85: Průřezové charakteristiky piloty použité v modelu .....	70
Obrázek 86: Po délce rozdělené tuhosti pilot u středního pilíře.....	70
Obrázek 87: Graf tření v závislosti na svislé reakci .....	72
Obrázek 88: Model ložisek.....	72
Obrázek 89: Schéma zatížení od jedné lokomotivy .....	74
Obrázek 90: rozložení tuhosti piloty po výšce .....	75
Obrázek 91: Geologická dokumentace vrtu .....	77
Obrázek 92: Použití součinitelů v závislosti na poloze piloty ve skupině podle normy .....	79
Obrázek 93: Použití součinitelů v závislosti na poloze piloty ve skupině.....	80
Obrázek 65: Dodatečné napětí v kolejnici od teploty (vlevo) a od brzdných sil (vpravo).....	83
Obrázek 95: Graf závislosti podélného odporu a posunu BK .....	84
Obrázek 96: Model-uložení kolejnice v širé trati .....	85
Obrázek 98: model-spojení kolejnice s NOK.....	85
Obrázek 97: Příklad modelu systému kolej/konstrukce .....	86
Obrázek 99: Celkový pohled na model mostu.....	86



---

Obrázek 100: Pohled na most ve směru na Prahu .....	87
Obrázek 101: Pohled na pilíř P1 .....	87
Obrázek 102: Pohled na pilíře .....	88
Obrázek 104: Zatěžovací stav B019 při kroku 66 - dobrzdění.....	89
Obrázek 105: Porovnání posunů hlavy pilíře P2 s modelem – B019.....	91
Obrázek 106: Porovnání posunů hlavy pilíře P2 s modelem – B038.....	92
Obrázek 107: Porovnání posunů paty pilíře P2 s modelem – B038.....	92





## 14 Příloha - fotodokumentace

Celkový pohled na most



Vrtání snímačů do kolejnice







## Instalace snímačů relativního posunutí mezi NOK a opěrou



Pohled na most z boku – konzoly pro zábradlí, výztuhy NOK, odvodnění kol. žlabu







### Připojování snímačů k počítačům.



### Koutový odražeč







## Lokomotivy čekající na instrukce



## Pohled na most zespod a Bukovský potok

