

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE
FAKULTA
STAVEBNÍ
KATEDRA
ŽELEZNIČNÍCH STAVEB**



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**MONITORING VYBRANÝCH
TRAMVAJOVÝCH SRDCOVEK**

2020

**MAGDALENA
KŘEČKOVÁ**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: K Ř E Č K O V Á Jméno: M a g d a l e n a Osobní číslo: 4 6 8 2 1 7
Zadávací katedra: Katedra železničních staveb
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Monitoring vybraných tramvajových srdcovek (s mělkou srdcovkou)

Název bakalářské práce anglicky: Monitoring of selected tramway crossings (with shallow flangway)

Pokyny pro vypracování:

V rámci řešení rešeršní části práce popište problematiku kolejových křížení se zaměřením na tramvajové srdcovky, proveďte rozbor konstrukcí tramvajových výhybek se zaměřením na výhybky používané v síti Dopravního podniku hl. m. Prahy. Proveďte porovnání s konstrukcemi používanými v dalších tramvajových provozech v ČR. Podrobněji se zaměřte na srdcovkovou část a rozdíly využití srdcovek s tzv. hlubokým a mělkým žlábkem. Uveďte specifika použití a výhody jednotlivých řešení. Dále popište možné způsoby diagnostiky jízdní dráhy a měření těchto konstrukcí. Podrobněji se zaměřte na diagnostické metody srdcovek užívané v síti DP Praha.

V praktické části práce se zaměřte na hodnocení stavu vybraných srdcovek sledovaných na různých lokalitách v síti DP Praha. Proveďte srovnání sledovaných srdcovek v čase a popište charakter vznikajících závad.

Seznam doporučené literatury:

ČSN 73 6412. Geometrické uspořádání koleje tramvajových tratí;

ČSN EN 13232 Železniční aplikace - Kolej - Výhybky a výhybkové konstrukce (zejm. části 2, 3, 6 a 9);

ČSN EN 15689 Železniční aplikace - Kolej - Výhybky a výhybkové konstrukce - Srdcovky z lité austenitické manganové oceli;

Vztah kolo-kolejnice v podmínkách tramvajového provozu, ZELENKA, J., KOHOUT, M., Plzeň, 21.11.2012,

http://www.sdp-cr.cz/Wd_FileDownload.ashx?wd_systemtypeid=34&wd_pk=WzEzMDMsWzMwXV0%3D;

Klasifikace a hodnocení opotřebenosti kolejnic, NOHEL R, Brno 2015,

https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=101105;

Zrychlení průjezdu tramvají přes kolejové konstrukce v pražské síti, HRADIL, J., Praha 2017,

<https://dspace.cvut.cz/handle/10467/73156?show=full>;

webové stránky výrobců kolejových konstrukcí: <https://pstroj.cz/vyhybky/>, <https://www.dtvcs.cz/tramvajove-vyhybky>.

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Ondřej B r e t

Datum zadání bakalářské práce: 20. 2. 2020 Termín odevzdání bakalářské práce: 17. 5. 2020

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 bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

PODROBNÉ ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Monitoring vybraných tramvajových srdcovek

Studentka: Magdalena KŘEČKOVÁ
Osobní číslo: 468 217
Akademický rok: 2019/2020
Vedoucí práce: Ing. Ondřej Bret

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

V rámci řešení rešeršní části práce popište problematiku kolejových křížení se zaměřením na tramvajové srdcovky, proveďte rozbor konstrukcí tramvajových výhybek se zaměřením na výhybky používané v síti Dopravního podniku hl. m. Prahy. Proveďte porovnání s konstrukcemi používanými v dalších tramvajových provozech v ČR. Podrobněji se zaměřte na srdcovkovou část a rozdíly využití srdcovek s tzv. hlubokým a mělkým žlábkem. Uvedte specifika použití a výhody jednotlivých řešení. Dále popište možné způsoby diagnostiky jízdní dráhy a měření těchto konstrukcí. Podrobněji se zaměřte na diagnostické metody srdcovek užívané v síti DP Praha. V praktické části práce se zaměřte na hodnocení stavu vybraných srdcovek sledovaných na různých lokalitách v síti DP Praha. Proveďte srovnání sledovaných srdcovek v čase a popište charakter vznikajících závad.

UPŘESŇUJÍCÍ BODY PRO ZPRACOVÁNÍ PRÁCE:

- **V rešeršní části se blíže zaměřte na možnosti použití mělkého a hlubokého žlábků tramvajových srdcovek, a to jak z pohledu geometrického a konstrukčního uspořádání koleje / trati, tak případně i související aspekty a nároky na tramvajová vozidla, resp. jejich kola;**
- **v rešeršní části se zaměřte také na vymezení hlavních rozdílů mezi tramvajovou a železniční výhybkou;**

PODROBNÉ ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Monitoring vybraných tramvajových srdcovek



Student: Magdalena Křečková

Strana 2/2

Vedoucí práce: Ing. Ondřej Bret

- **v praktické části provedte hodnocení nejméně 4 zvolených profilů srdcovek (tj. alespoň 2 profily na každé sledované lokalitě), se zaměřením na vývoj příčného profilu srdcovky za dobu sledování;**
- **popište metodiku a průběh měření prováděných v rámci BP;**
- **navrhněte možnosti ověření správnosti výstupů používaného zařízení na měření příčného profilu kolejnic / srdcovek.**

ODEVZDÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE:

V návaznosti na změny časového plánu akademického roku 2019/2020 Fakulty stavební ČVUT, vyhlášeného 30. 3. 2020 v souvislosti s epidemií SARS-Cov-2 („Covid19“), se termín elektronického odevzdání formou vložení .pdf souboru s úplným zněním bakalářské práce (včetně případných příloh) do studijního informačního systému KOS **posouvá do půlnoci 24. 5. 2020.**

Student dále odevzdá dva svázané výtisky bakalářské práce (1x Katedra železničních staveb, 1x vedoucí BP). Ve výtisku určeném k archivaci na Katedře železničních staveb bude vloženo CD se souborem .pdf. s úplným zněním bakalářské práce (včetně případných příloh)

V Praze, 3. dubna 2020

Ing. Ondřej Bret – vedoucí BP

převzala (datum, podpis)



Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Monitoring vybraných tramvajových srdcovek** zpracovala samostatně za použití uvedené literatury a pramenů a za odborného vedení vedoucího bakalářské práce Ing. Ondřeje Breta.

Dále prohlašuji, že nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 22.5.2020

Magdalena Křečková



Poděkování

Především bych chtěla poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Ondřeji Bretovi za výborný osobní přístup, za všechny čas vynaložený při konzultacích, za přínosné připomínky a rady a za odborné vedení při zpracování bakalářské práce.

Dále bych chtěla poděkovat pracovníkům DPP, konkrétně z Jednotky Dopravní cesta tramvaje, jednak za poskytnuté informace ohledně této problematiky, ale především za asistenci během provedených měření. Jmenovitě hlavně Tomáši Balíkovi, který se mnou absolvoval všechna měření a byl mi během celé práce nápomocný. Dále bych chtěla poděkovat Mgr. Martinovi Doubkovi z Jednotky Správa vozidel tramvaje DPP za poskytnuté informace ohledně tramvajového vozového parku v Praze a vysvětlení náležitých spojitostí k této práci.

Následně bych chtěla poděkovat pracovníkům Pražské strojírně za všechny konzultace. Jmenovitě Ing. Lubošovi Pavlíčkovi a Marii Urválkové za objasnění konstrukčních řešení srdcovek využívaných v síti DPP.

Také bych chtěla poděkovat paní docentce Haně Krejčířkové za poskytnuté konzultace a vnesení nezaujatého pohledu do této práce.

Následně bych chtěla poděkovat svým rodičům a všem svým sestřám za neuvěřitelnou podporu, kterou mi během celého studia dávali a za všechno pochopení, které mi bylo poskytnuto především během zkouškových období. Hlavně bych chtěla poděkovat svým rodičům za možnost studia, kterou mi dávají celý život a také za jejich trpělivost a pomoc ve chvílích mých neúspěchů.

Také bych chtěla poděkovat všem svým kamarádům, kteří mě podporovali a také akceptovali mou časovou vytíženost během tohoto studia. Poté bych chtěla poděkovat svým spolubydlícím za projevenou důvěru v mou osobu a umožnění studia do dlouhých nocí bez jakýchkoliv námitek.

V neposlední řadě bych chtěla jmenovitě poděkovat Martině Kopřivové, a to za veškerou podporu, motivaci, pochopení i pobavení, které mi poskytla během klíčových okamžiků mého studia, ale především za ochotu provést jazykovou korekci této práce. Můj dík patří i Zuzaně Maškové za veškerou pomoc, a to především s překladem určitých částí této práce do anglického jazyka.

Na závěr bych chtěla poděkovat všem sládkům, kteří se věnovali znamenitě své práci během mého studia, a to především sládkům z Plzeňska. Následně bych také chtěla poděkovat všem výrobcům bezlaktózových čokolád, gumových medvídků, oříšků a dalších pochutin.



MONITORING VYBRANÝCH TRAMVAJOVÝCH SRDCOVEK

MONITORING OF SELECTED TRAMWAY CROSSINGS



Anotace

Bakalářská práce se zaměřuje na monitoring vybraných tramvajových srdcovek v síti Dopravního podniku hl. m. Prahy. Práce je založena především na praktickém měření ojetí tramvajových srdcovek s mělkým žlábkem v závislosti na čase. Obsahuje také vyhodnocení naměřených dat a vybraných příčných profilů. Na základě tohoto vyhodnocení jsou specifikované typické vady vzniklé vlivem tramvajového provozu.

Klíčová slova

Tramvaj, tramvajová trať, měření, výhybka, srdcovka, mělká srdcovka, křídlovka, žlábek, náběh žlábků, okolek, profil kolejnice, ojetí, deformace



Summary

The bachelor thesis focuses on the monitoring of selected tram crossings in the network of Prague Public Transit Company. The thesis is based mainly on the practical measurement of rail head loss of tram crossings with shallow flangeways depending on time. It also contains an evaluation of the measured data and selected cross sections. Based on this evaluation, typical defects caused by tram traffic are specified.

Key words

Tram, tramway track, measurement, turnout, crossing, shallow crossing, wingey, flangeway, lead-in flangeway, flange, rail profile, head loss, deformation







Obsah

1	Úvod	19
1.1	Úvod	19
1.2	Cíle práce	19
2	Vymezení pojmů	21
3	Rešeršní část	24
3.1	Železniční a tramvajová výhybka	24
3.1.1.1	Železniční výhybka	25
3.1.1.2	Výměnová část	25
3.1.1.3	Srdcovková část	26
3.1.2	Tramvajová výhybka	27
3.1.2.1	Výměna	29
3.1.2.2	Srdcovka	31
3.2	Srdcovka s mělkým x hlubokým žlábkem	34
3.2.1	Srdcovky s mělkým žlábkem	35
3.2.2	Srdcovky s hlubokým žlábkem	36
3.3	Tramvajové srdcovky mimo síť DPP	38
3.4	Vliv jízdních obrysů	39
3.5	Ojetí kolejnic	43
3.6	Tramvajový vozový park – Praha	44
3.6.1	Tramvaje typu T3, T3SU, T3M a T3R.P	44
3.6.2	Tramvaje typu T3R.PLF	44
3.6.3	Tramvaje typu T6	44
3.6.4	Tramvaje typu KT8D5.RN2P	44
3.6.5	Tramvaje typu 14T	44
3.6.6	Tramvaje typu 15T	45
3.6.7	Shrnutí charakteristik vozového parku – Praha	45
4	Praktická část	47
4.1	Měření	47
4.1.1	Metodika měření	47
4.1.2	Průběh měření	48
4.1.2.1	Periodicita měření	48



4.1.2.2	Popis měření	48
4.2	Lokality	50
4.2.1	Popis lokalit	50
4.2.1.1	Tramvajové obratiště Spojovací	50
4.2.1.2	Křižovatka Rašínovo nábřeží – Svobodova (Výtoň)	52
4.2.2	Popis srdcovek	52
4.2.2.1	Spojovací č.1	53
4.2.2.2	Spojovací č.2	53
4.2.2.3	Výtoň	54
4.2.3	Sledování projeté zátěže	54
4.2.3.1	Spojovací č.1	55
4.2.3.2	Spojovací č.2	55
4.2.3.3	Výtoň	55
4.2.4	Sledované profily	56
4.2.4.1	Spojovací č.2	56
4.2.4.2	Výtoň	57
4.3	Vyhodnocení dat	57
4.3.1	Spojovací č.2	58
4.3.2	Výtoň	60
4.4	Ověření naměřených dat	62
5	Vyhodnocení měření	66
5.1	Spojovací č.1	66
5.2	Spojovací č.2	70
5.3	Výtoň	73
6	Typické vady a deformace – sledované srdcovky	78
6.1	Dvojžlábek	78
6.2	Ojetí žlábků	80
6.3	Převálcování materiálu ze dna žlábků	81
6.4	Křížení dvojžlábků ve středu srdcovky	81
6.5	Ojetí hrotů srdcovky	83
6.6	Ojetí křídlovek	84
7	Závěr	87
8	Literatura	89



9	Seznam obrázků	92
10	Seznam tabulek	93
11	Seznam grafů	93







1 Úvod

1.1 Úvod

V rámci správy tramvajové sítě Dopravního podniku hl. m. Prahy je důležitou součástí sledování a údržba kolejových konstrukcí. Mezi tyto konstrukce lze zařadit převážně kolejové křížení, kolejová dilatační zařízení, výhybky a jejich součásti, především jazyky, srdcovky a části koleje s mělkým žlábkem. Pokud při monitoringu dojde k překročení mezních hodnot sledovaných parametrů, nebo k vyhodnocení konstrukce jako nevyhovující, mělo by dojít k její opravě, v krajních případech k její výměně. Jednou z problematických konstrukcí z hlediska údržby a opotřebení jsou výhybky a kolejové konstrukce, konkrétně jejich srdcovky. Zde dochází k ojetí kolejnice a k deformacím žlábků způsobených tramvajovým provozem a opakujícími se dynamickými účinky průjezdu kol. Toto ojetí způsobuje nejen problémy s opotřebením konstrukce, ale také problémy spojené se zvýšenou emisí hluku. Jedním z možných opatření je predikce vývoje ojetí a určení kritického okamžiku, ve kterém je nutné konstrukci opravit, popř. vyměnit.

1.2 Cíle práce

Tato práce si klade za cíl na základě vlastních provedených měření vyhodnotit ojetí tramvajových srdcovek s mělkým žlábkem v závislosti na čase a projeté zátěži a umožnit predikci stavu srdcovek v čase. Výsledky této práce budou využity správcem kolejové infrastruktury Dopravního podniku hl. m. Prahy (dále jen DPP), na jehož podnět byla tato měření provedena. Také tato práce bude sloužit k optimalizaci údržby srdcovek (optimalizace plánování navařování žlábků). Dále tato práce může sloužit jako podklad pro vyhodnocení závislosti ojetí srdcovky a hladiny hluku, čemuž se práce vzhledem k rozsahu dále nevěnuje.

Cílem této práce není teoretický rozbor a optimalizace kontaktu kolo – kolejnice, analýza a další vývoj jízdního obrysu kol ani problematika šířky tramvajového kola ve vztahu k průjezdu vozů přes srdcovky.

V rešeršní části je cílem vymezení rozdílů mezi železniční a tramvajovou výhybkou, a to jak z konstrukčního pohledu, tak z pohledu názvosloví. Dále je cílem této práce vymezení ojetí žlábkové kolejnice (převážně používané v tramvajových tratích). Také jsou zde shrnuty rozdíly a možnosti využití srdcovek s tzv. mělkým a hlubokým žlábkem. V této části práce je také popsán tramvajový vozový park DPP a jeho základní charakteristika vztahující se k problematice ojetí srdcovek. Dále je popsána periodicitu měření z legislativního pohledu a metodika měření přístrojem Contour II používaným DPP.



V praktické části práce je cílem popsat sledované lokality, jejich konstrukci a geometrii. Dále jsou popsány sledované srdcovky, které byly monitorovány v pravidelných intervalech od začátku jejich provozu. Popis se zaměřuje na důležité parametry, které ovlivňují ojetí srdcovky, mezi které patří: směrové vedení žlábků (přímá x oblouk) a projetá zátěž (v přímé i odbočné větvi). Dalším aspektem problematiky je poměr tvrdosti kol a kolejnic, který ale vzhledem k rozsahu práce není součástí této práce. Následně je provedeno vyhodnocení vytipovaných profilů ve sledovaných srdcovkách. V závěru práce jsou popsány a zdokumentovány charakteristické deformace a ojetí vzniklé za dobu provozu na sledovaných srdcovkách.



2 Vymezení pojmů

V této kapitole jsou definovány termíny užívané v této práci. Názvosloví tramvajových kolejových konstrukcí sice částečně vychází z názvosloví užívaného pro popis železničních kolejových konstrukcí, avšak některé termíny nelze přejmout doslovně nebo vůbec. Některé termíny je potřeba vymezit zcela, ačkoli jsou shodně užívány i pracovníky různých profesí týkajících se tramvajové dopravy, neboť nejsou obsaženy v existujících předpisech a normách. Tyto termíny byly definovány na základě konzultací s pracovníky Pražské strojírny a DPP. Ostatní termíny jsou definovány dle uvedených zdrojů.

Kolejová konstrukce – konstrukce kolejového svršku umožňující přejezdy kolejových vozidel mezi kolejemi, úrovňové křížení kolejí nebo plnění jiné funkce, kterou nemůže plnit kolej běžné konstrukce. Jedná se o výhybky a výhybkové konstrukce, kolejové křižovatky (a to i různých drah mezi sebou nebo kolejí různých rozchodů), střední konstrukce dvojitě kolejové spojky, splítkové výhybky a kolejové splítky, kolejová dilatační zařízení a výkolejky. [11], [14], [24], [31], [32]

Výhybková konstrukce – konstrukce kolejového svršku umožňující přejezdy kolejových vozidel mezi kolejemi nebo úrovňové křížení kolejí. Jedná se o výhybky a výhybkové konstrukce, kolejové křižovatky a střední konstrukce dvojitě kolejové spojky. [11], [24]

Výhybka – konstrukce železničního svršku, která umožňuje přechod vozidel z jedné koleje na druhou bez přerušení jízdy. [11]

Výměna – pohyblivá část výhybky, na které dochází k rozvětvení koleje do dvou směrů. U tramvajové výhybky se jedná o samostatnou konstrukční část a jedinou typizovanou část tramvajové výhybky. [12], [31], [32]

Výměnová část – část železniční výhybky, obsahující pohyblivé části výhybky, sloužící k rozřazení vlakové cesty do požadovaného směru. [12], [14]

Srdcovka – místo protnutí protilehlých pojížděných hran dvou kolejnic v jedné úrovni. [24]

Srdcovková část – část výhybkové konstrukce, která obsahuje srdcovku a další konstrukční části zajišťující plynulé protnutí dvou kolejí v jedné úrovni. [24]

Mělká srdcovka – srdcovka s hloubkou žlábků takovou, že je pojížděno dno žlábků okolky jednotlivých vozidel. (Mezní hloubka mělké srdcovky je pro každý provoz jiná a je závislá na používaném



profilu a výšce okolku – v Praze se za mělké považují srdcovky s hloubkou žlábků 14 mm). [3], [10], [15]

Hluboká srdcovka – srdcovka s takovou hloubkou žlábků a s takovým úhlem křížení, že je pojížděna výhradně po temeni srdcovky (bez vzájemného doteku okolku a dna žlábků). [3], [10], [15]

Bezžlábková kolejnice – kolejnice Vignolova (širokopatní). Termín se používá zejména u staveb tramvajových drah. [10], [13], [15]

Žlábková kolejnice – kolejnice s přírubou, která tvoří spolu s hlavou kolejnice žlábků pro pohyb okolku. [22]

Náběžná kolejnice – kolejnice vyráběná ve shodném tvaru jako příslušná žlábková kolejnice, ale bez vyválcovaného žlábků, který je následně vyfrézován.

Křídlová kolejnice – kolejnice, která v části své délky nese a v celé délce vede kolo na jeho vnitřní straně. [24]

Křídlovka – je část tramvajové srdcovky, která v části nese a v další části vede kolo na jeho vnitřní straně (analogie ke křídlové kolejnici u železniční výhybky).

Přidržnice – speciální profil umístěný v kolejové konstrukci sloužící k pomocnému vedení dvojkolí v oblasti srdcovky a zabraňující jeho vykolejení v místě, kde je přerušena pojížděná hrana jízdni dráhy. Používá se v úsecích s bezžlábkovou (Vignolovou) kolejnicí. [24]

Přidržná kolejnice – kolejnice upevněná u vnitřního kolejnicového pásu v obloucích o malých poloměrech ke zlepšení vedení vozidel a snížení ojždění vnějšího kolejnicového pásu. Používá se v úsecích s bezžlábkovou (Vignolovou) kolejnicí. [24]

Protikolejnice – náběžná kolejnice se zúženým žlábkem v tramvajové výhybce, která se nachází v místě protilehlém k srdcovce, zajišťuje pomocné vedení dvojkolí a zabraňuje jeho vykolejení. Protikolejnice je ekvivalent „přidržnice“ u železniční výhybky.

Opornice – kolejnice, která slouží pro přiléhající jazyk jako opora a pro odlehlý jazyk jako pojížděná kolejnice. [17]

Jazyk – opracovaná kolejnice zpravidla speciálního profilu, pohyblivá část výhybky umožňující svým postavením jednoznačně určit směr vozidla ve výhybce. [24]

Kolejový kanál – prostor určený pro pohyb okolku dvojkolí kolejového vozidla. [4]



Žlábek – prostor určený pro pohyb okolku tvořený hlavou kolejnice a přírubou u žlábkové kolejnice.

Náběh žlábků – výšková úprava žlábků srdcovky jeho navařením, zajišťující změnu hloubky žlábků ze standardní hloubky na sníženou hloubku žlábků v srdcovce.

Žlábek s normální šířkou – kolejnice s šířkou žlábků měřenou v úrovni hlavy kolejnice 36 mm nebo větší.

Zúžený žlábek – kolejnice s šířkou žlábků měřenou v úrovni hlavy kolejnice menší než 36 mm.

Příruba – shora nepojížděná část žlábkové kolejnice, která spolu s hlavou kolejnice tvoří žlábek. [22]

Okolek – výstupek vytvořený po obvodu kola zajišťující směrové vedení a bránící sjetí kola z kolejnice. [2]

Jízdní plocha – (dříve nákok) plocha kola, která se odvaluje po hlavě kolejnice. [8]

Obruč (obruč kola) – profilový výměnný prstenec, který přichází do styku s kolejnicí. [19]

Jízdní obrys/profil kola – definovaný tvar jízdní plochy kola nebo obruče určený tvarem a šířkou nákolku a tvarem, výškou a šířkou okolku. [4], [8], [30]

Ojetí kolejnice – změna tvaru profilu kolejnice, během které dochází ke ztrátě materiálu. [22]

Deformace kolejnice – změna tvaru profilu kolejnice, během které dochází převážně k přetvarování profilu bez ztráty materiálu.

Rychlostní výhybka – tramvajová výhybka, která umožňuje průjezd tramvaje do přímé i odbočné větve vyšší rychlostí než běžné výhybky. [23]

Rozjezdová výhybka – výhybka pojížděná v pravidelném provozu ve směru proti hrotům. Za rozjezdovou výhybku se považuje i výhybka pravidelně pojížděná v obou směrech (po hrotech i proti hrotům). [23]

Sjezdová výhybka – výhybka pojížděná v pravidelném provozu ve směru po hrotech. [23]



3 Rešeršní část

Výhybky a výhybkové konstrukce jsou kolejové konstrukce železničního svršku (popř. tramvajového svršku apod.). Zajišťují nesení a vedení vozidla v libovolně zvoleném směru mezi rozvětujícími nebo navzájem se křížícími kolejemi. Výhybka umožňuje jízdu vozidel ze dvou kolejí do jedné společné koleje, popř. naopak. [6], [20]

Dle geometrického uspořádání lze výhybky rozdělit na: jednoduché, dvojité a křížovatkové. Základním typem výhybek je výhybka jednoduchá s hlavní větví přímou a odbočnou větví obloukovou, která se skládá ze tří hlavních částí:

- Výměnová část – část, ve které dochází k rozvětvení koleje do dvou směrů,
- Srdcovková část – část, ve které dochází ke křížení jednotlivých kolejnic,
- Výhybkové koleje/střední část – spojují výměnu a srdcovku. [6], [17]

3.1 Železniční a tramvajová výhybka

Ačkoliv funkce železniční a tramvajové výhybky je totožná, konstrukční provedení je odlišné. To je dáno rozdílnými charakterystikami železniční a tramvajové dopravy, zejména konstrukcí vozidel, podvozků a provedení kol, kterými jsou ovlivněny nejen konstrukce výhybek. Proto jsou v této práci shrnuty stěžejní rozdíly mezi železniční a tramvajovou výhybkou.

Tato rozlišenost se především týká používaného typu kolejnic, což dále ovlivňuje i jednotlivé části výhybky. Kolejnice používané v konstrukci železniční výhybky jsou kolejnice Vignolovy (tzn. bezžlábkové). Kolejnice používané ve výhybkách v pražské tramvajové síti jsou z velké části kolejnice žlábkové (pro tramvajové tratě v síti DPP převážně NT1).

Vzhledem k charakteru tramvajové dopravy, která je uzpůsobena městskému provozu, je zpravidla každé odbočení a kolejová křížovatka zcela odlišná. To vyplývá z rozdílných úhlů křížení jednotlivých ulic, resp. tratí, různých osových vzdáleností kolejí, ovlivnění umístění inženýrských sítí ve městech (např. poloha vpustí) a dalších obdobných vlivů, které u železničních tratí do návrhu zpravidla nezasahují. Z toho vyplývá zcela odlišná typizace výhybek železničních a tramvajových.

Nejdůležitější rozdíly vzhledem k problematice této práce jsou konstrukční rozdíly ve výměnové a srdcovkové části.

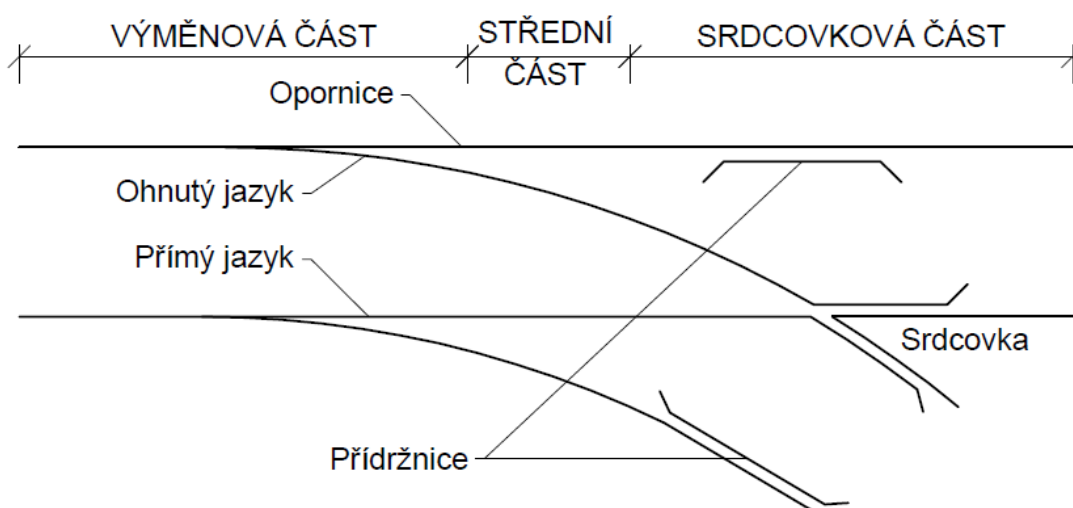


3.1.1.1 Železniční výhybka

Železniční výhybka je zpravidla tvořena Vignolovými kolejnicemi. Z tohoto důvodu je naproti srdcovce umístěna přídržnice, která zajišťuje směrové vedení dvojkolí v daném směru v místě, kde dvojkolí přejíždí přes srdcovku a není na této straně pevně držena jízdní dráha. Výhybky s pohyblivým hrotem srdcovky přídržnici neobsahují, protože díky pohyblivému hrotu srdcovky není přerušeno vedení dvojkolí obou kolejnicových pásů. Využití Vignolovy kolejnice má vliv dále na konstrukci jazyka ve výhybce. [5]

3.1.1.2 Výměnová část

Ve výměnové části výhybky dochází k rozvětvení koleje na dvě koleje. Výměnová část se skládá z opornic, jazyků a dalších částí (výměnový závěr, drobné kolejivo atd.). Nejstěžejnější rozdíly mezi tramvajovou a železniční výhybkou ve výměnové části jsou právě rozdíly mezi jazyky a opornicemi. [6]



Obr.1-Schéma železniční výhybky

Opornice a jazyky jsou pojížděnými částmi výhybky. Opornice je tvořena širokopatní kolejnicí (tzn. bezžlábkovou), která je upravena tak, aby k ní mohl jazyk bezpečně přiléhat. Jazyky jsou jednou z nejvíce namáhaných částí výhybky, protože na ně nejvíce působí vliv řídicích sil vozidel. Opornice poskytuje jazyku oporu a přebírá příčné síly kolmé k ose koleje, kterými působí železniční vozidla na jazyk a samozřejmě i síly, kterými železniční vozidlo působí přímo na opornici. [17]

Velký vliv na opotřebení výhybky a jízdu vozidla ve výhybce má konstrukční řešení jazyka a jeho geometrické uspořádání, konkrétně vzájemná poloha jazyka a opornice. U železniční výhybky se jazyk pohybuje v příčném směru po kluzných stoličkách a přiléhá k opornici. [6]



Obr.2-Pohled na úpravu jazyka v železniční výhybce

Konstrukční řešení jazyka je ovlivněno upevněním v kořenu jazyka (tzn. místo, kolem kterého je jazyk otáčen). Upevnění může být provedeno dvěma způsoby:

- čepově – starší typ konstrukce,
- pérově – aktuálnější typ konstrukce. [11]

3.1.1.3 Srdcovková část

V srdcovkové části výhybky dochází ke křížení pojížděných hran kolejnic. Základními prvky srdcovkové části jsou srdcovka a přídržnice. Srdcovka je dle jejího provedení rozdělena na:

- monoblok – celolitá srdcovka odlévaná z oceli s vysokým obsahem manganu,
- zkrácený monoblok,
- srdcovka s kovaným klínem a přivařenými přípojnými kolejnicemi,
- srdcovka s pohyblivým hrotem,
- montovaná srdcovka z hlavního a příložného hrotu,
- skládané srdcovky – srdcovka je složena a následně svařena z jednotlivých kolejnic. [6], [16], [17]

Srdcovková část může být konstruována dvěma způsoby:

- s pevnou srdcovkou – dochází k přerušení pojížděné hrany,
- se srdcovkou s pohyblivými částmi – nedochází k přerušení pojížděné hrany.

Pokud nastane přerušení pojížděné hrany (tzn. u pevných srdcovek), dráha kola je zajištěna vedením druhého kola pomocí přídržnice, která je

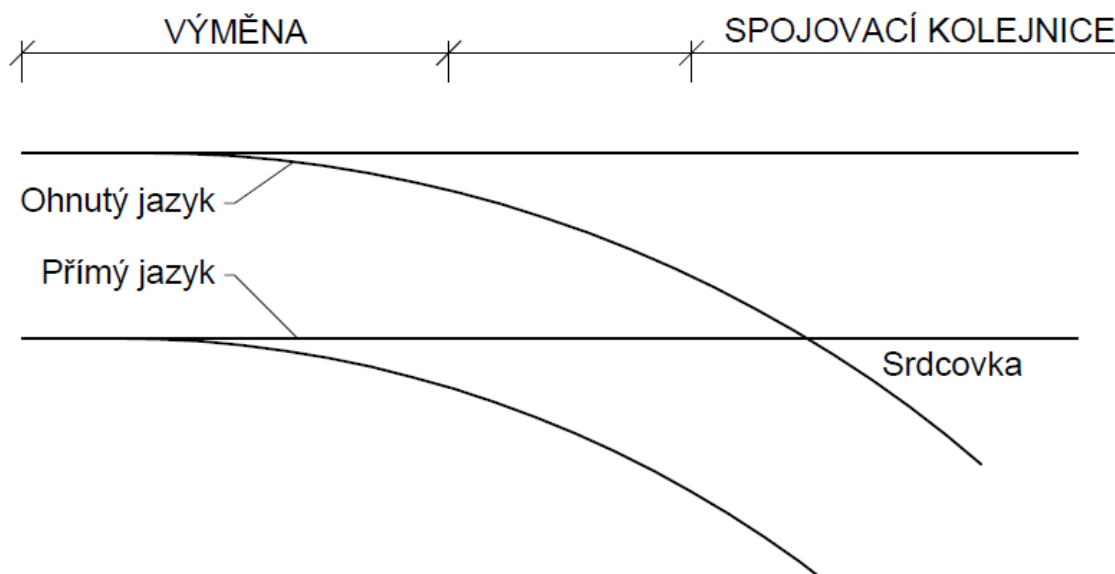


umístěna u protilehlé kolejnice. Přídržnice spolu s kolejnicí vytváří kolejový kanál, který zajišťuje bezpečný pohyb dvojkolí tak, aby kolo jelo po správné dráze a zároveň tak, aby okolek nenarazil do hrotu srdcovky. Přídržnice je nadvýšena vůči temeni kolejnice tak, aby snížila riziko nežádoucího vykolejení. Pokud nedojde k přerušení pojížděné hrany (tzn. u srdcovek s pohyblivými částmi), není v srdcovkové části přídržnice, protože pohyb dvojkolí je plynulý. [17], [35]

3.1.2 Tramvajová výhybka

Konstrukce a stavební uspořádání tramvajových tratí jsou uzpůsobeny době vzniku tramvajových provozů, případně dalším účelům, které měly nebo mají tramvajové tratě plnit (umožnění průjezdu železničních vozidel). Vedení tratí podléhá konfiguraci uliční sítě, což se projevuje také v konstrukci tramvajových výhybek, které jsou dále ovlivněny charakterem městské dopravy (mohou být pojížděny i nekolejovou dopravou). Každé kolejové křížení je natolik specifické, že se tramvajové výhybky netypizují. Typizují se pouze výměnové části, tzv. výměny. Srdcovkové části jsou specifické pro každou konstrukci. Tramvajové výhybky používané v ČR jsou převážně výhybky jednoduché. Jednoduchá výhybka se skládá ze 3 základních částí:

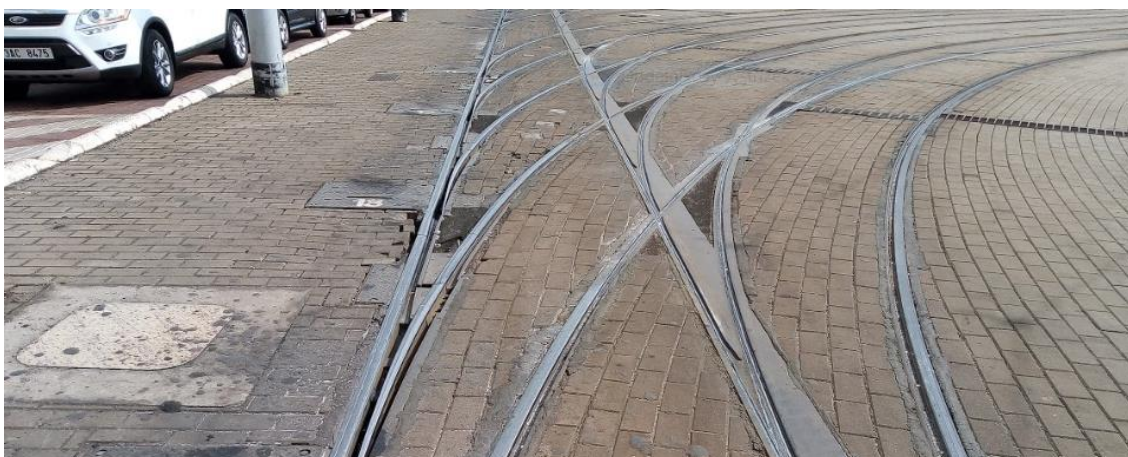
- výměna – analogicky k výměnové části železniční výhybky,
- srdcovka,
- spojovací kolejnice – spojují výměnu a srdcovku, nicméně tramvajové výhybky bývají natolik krátké, že je i tato část velmi krátká. [5], [32]



Obr.3-Schéma tramvajové výhybky



Objevovat se mohou i výhybky složitější, které mají zpravidla specifické využití. Takové výhybky se objevují např. ve vozovných a dílnách a zajišťují na krátké vzdálenosti rozvětvení jedné koleje do mnoha odbočných větví. Přitom se mohou i prolínat výměny a srdcovky jednotlivých odbočení. Takovéto složité mnohočetné výhybky jsou však zpravidla vyráběny podle konkrétního umístění a účelu. Příkladem takového využití může být mnohočetná výhybka ve vozovně Pankrác (znázorněna na Obr.4) nebo obdobná konstrukce v Ústředních dílnách DP.



Obr.4-Výhybka – vozovna Pankrác

Výhybky lze rozdělit podle způsobu pojíždění na rozjezdové a sjezdové. Rozjezdová výhybka je výhybka, která je v pravidelném provozu pojížděna ve směru proti hrotům. Za rozjezdovou výhybku se považuje i taková výhybka, která je pravidelně pojížděna v obou směrech. Sjezdová výhybka je výhybka pojížděna v pravidelném provozu ve směru po hrotech. [23]

Dále lze výhybky rozdělit dle typu jazyků na výhybky s čepovým jazykem a výhybky s pružným jazykem – viz dále.

V síti DPP se také vyskytují rychlostní tramvajové výhybky, které urychlují rozřazování tramvají před křižovatkou a umožňují rychlejší průjezd přes výhybku. První rychlostní výhybka byla na síti DPP vložena v roce 2013 na křižovatce Prašný most. V současnosti je rychlostní výhybka v Praze využita na 4 místech. Běžnou výhybkou může tramvaj projet maximální rychlostí 15 km/h v přímém směru a 10 km/h v odbočném směru. [23] Rychlostní výhybkou může tramvaj projet maximální rychlostí až 50 km/h (např. ve výhybce na křižovatce Prašný most maximální rychlost činí 50 km/h v přímém směru a 40 km/h v odbočném směru [9], [23]). Tyto výhybky se svou konstrukcí blíží železniční výhybce. Stejně jako



u železniční výhybky mohou být využity bezžlábkové kolejnice a součástí konstrukce je tedy i přídržnice, která ale není nadvýšena. [9], [23]



Obr.5-Pohled na přídržnici rychlostní tramvajové výhybky R01 v síti DPP (od zastávky Hradčanská směrem na Prašný most)

3.1.2.1 Výměna

Výměna u tramvajové výhybky má analogickou funkci jako výměnová část u železniční výhybky, nicméně její konstrukce je odlišná. Výměna je vyráběna jako jeden konstrukční celek (složen ze dvou půlvýměn) a je to také jediná část tramvajové výhybky, která je typizována. Ostatní části tramvajové výhybky nejsou typizovány, kvůli velké rozlišnosti jednotlivých kolejových křížení. [33]

Výměna se skládá z pevných a pohyblivých částí. Mezi pevné části patří pojížděné kolejnice a opornice, která probíhá po celé délce výměny. Výměna je tvořena z kolejnic žlábkových. [33]

Mezi pohyblivé části patří jazyky a stavěcí zařízení. Jazyk výměny je uzpůsoben tak, aby se mohl pohybovat uvnitř žlábků kolejnice, nikoliv po kluzných stoličkách jako je tomu u železniční výhybky. Jazyk přiléhá k opornici, respektive k vnitřní hraně žlábků opornice. Z toho plyne, že jazyk tramvajové výhybky je subtilnější oproti jazyku železniční výhybky. [3], [5]

Stejně jako u železniční výhybky rozlišujeme jazyky tramvajové výhybky na dva typy – čepový jazyk a pružný jazyk. [5]

Čepový jazyk je na svém konci blíže k srdcovce upevněn na čepu o průměru 50 mm (viz Obr.6). Jazyk má tvar klínu. Jelikož je jazyk poměrně robustní i na svém hrotu, je vnitřní kolejnice vychýlena směrem ven (znázorněno na Obr.7), aby byl vytvořen prostor pro dolehnutí jazyka, a tím umožněn plynulý přechod kola. I přes to tento přechod není příliš plynulý, protože jazyk je na svém konci spíše tupý a dochází při přejíždění kola z kolejnice na jazyk k drobným nárazům. Čepové jazyky již nejsou příliš používány v síti



DPP, jelikož dochází k velkému opotřebení jazyka a vytloukání čepu vlivem provozu. [3]



Obr.6-V levé části obrázku je zobrazen kořen čepového jazyka. V pravé části obrázku je zobrazen kořen pružného jazyka.

Pružný jazyk je v místě kořene pevně upevněn (viz Obr.6). Jazyk se směrem ke hrotu zužuje, navíc není tak masivní jako čepový jazyk. Průjezd kola je více plynulý a bez dynamických rázů, což pozitivně ovlivňuje životnost výhybky a komfort jízdy. [3]



Obr.7-V levé části obrázku je zobrazen pružný jazyk. V pravé části obrázku je zobrazen čepový jazyk.

Pro úplnost přehledu je vhodné zmínit i jednojazyčné výměny, které jsou však na síti DPP využity jen v dílnách a vozovnách (zobrazeno na Obr.4).

3.1.2.2 Srdcovka

Srdcovka je jednou z nejnámáhanějších částí kolejového svršku, neboť je vystavena dynamickým účinkům od průjezdu kol všech vozidel. Z pohledu konstrukce výhybky se jedná o jednu z nejodlišnějších částí mezi železniční a tramvajovou výhybkou. Tyto rozdíly se týkají především konstrukce, výroby a typizace srdcovky.

Vzhledem k nedostatku relevantních zdrojů k současnému přístupu k návrhu a údržbě tramvajových srdcovek byly informace čerpány především z konzultací s pracovníky Pražské strojírny (výrobce kolejových konstrukcí, a tedy i srdcovek, používaných v tramvajové síti v Praze) a s pracovníky DPP a jsou proto vztaženy zejména k srdcovkám používaných v síti DPP.



Obr.8-Tramvajová srdcovka

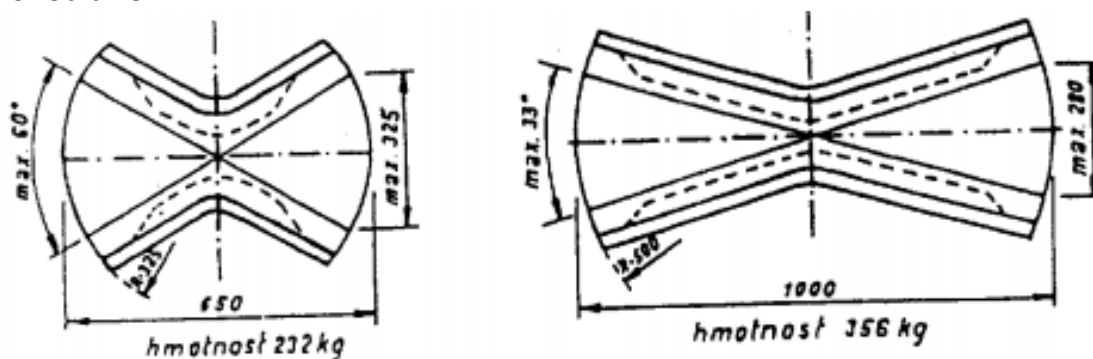


Vzhledem k tomu, že většina tramvajových odbočení a kolejových křížovatek má specifické geometrické uspořádání, není srdcovková část typizována tak, jak je tomu u železničních výhybek. Z toho plyne i rozlišnost ve výrobě srdcovek. Tramvajová srdcovka je vyrobena vyfrézováním žlábků srdcovky do ocelolitinového bloku o výšce 180 mm. [5], [31]



Obr.9-Ocelolitinový blok připravený pro výrobu tramvajové srdcovky. Tyto bloky mohou mít různý tvar, který je závislý na úhlu křížení. [5]

Volba tvaru ocelolitinového bloku je závislá na úhlu křížení os žlábků v místě srdcovky případně na vzdálenosti od ostatních srdcovek v kolejové konstrukci.

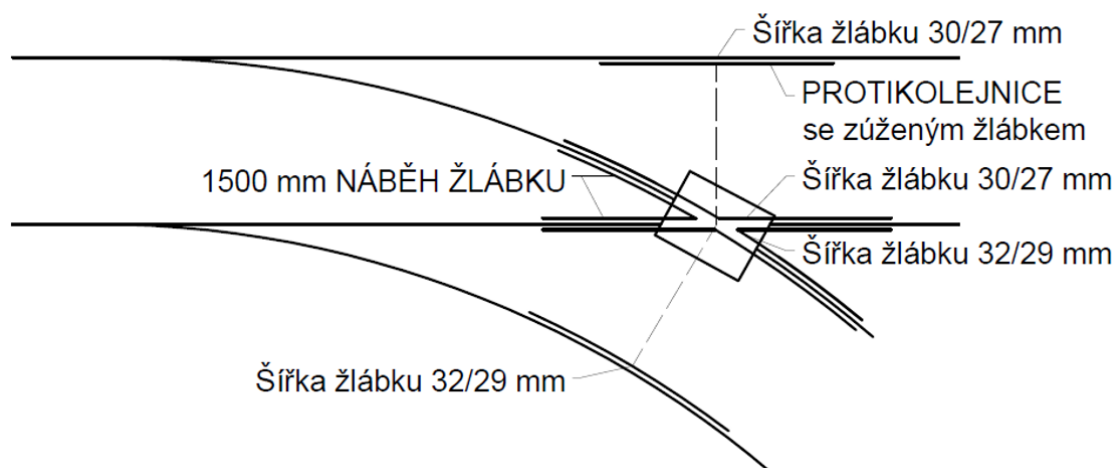


Obr.10-Typizované ocelolitinové bloky pro výrobu srdcovek dle úhlu křížení. V levé části blok pro úhel křížení 33° - 60°. V pravé části blok pro úhel křížení 13°22' - 33°.



Obr.11-Nově vyrobená tramvajová srdcovka

Bezpečné vedení dvojkolí přes srdcovku zajišťuje u železniční výhybky přídržnice (pokud se nejedná o srdcovku s pohyblivými hroty), která je umístěna vždy naproti srdcovce, a která pevně drží jízdní dráhu kola v místě přerušení pojížděné hrany. V případě tramvajové výhybky je naproti srdcovce náběžná kolejnice s vyfrézovaným zúženým žlábkem – protikolejnice, která plní funkci přídržnice. Díky zúženému žlábkem zajišťuje těsnější vedení dvojkolí, a tím chrání hrot srdcovky vůči dynamickým rázům. Tato kolejnice má zúženou šířku žlábkem tak, jak je znázorněno na obrázku níže (Obr.12). Zúžení je jednak měřeno v rovině temena kolejnice, ale také 9 mm pod temenem kolejnice, což odpovídá hloubce pro měření rozchodu u žlábkových kolejnic [21], proto jsou na obrázku uvedeny dvě šířky žlábkem (v souladu s Tab.1).



Obr.12-Schéma tramvajové výhybky s vyznačenou šířkou žlábkem

V následující tabulce je uvedena šířka žlábkem v závislosti na směru jízdy.



Tab.1-Šířka žlábků – tramvajová výhybka

	Rovina TK [mm]	9 mm pod TK [mm]
Přímé úseky žlábků (srdcovka, protikolejnice)	30	27
Obloukové úseky – odbočení (srdcovka, protikolejnice)	32	29
Žlábková kolejnice NT1	-	34,17

Mimo standardní srdcovky se žlábků frézovaných do odlitků, je možné i využití srdcovek s vyměnitelnou středovou vložkou. V tomto konstrukčním řešení srdcovky je střed srdcovky včetně sjezdového i rozjezdového hrotu umístěn do bloku srdcovky na vložce, která je přišroubována ke středovému bloku. Toto řešení, které má usnadnit údržbu srdcovek na hodně zatížených křižovatkách jen rychlou výměnou vložky, se však v pražských podmínkách příliš nerozšířilo. Toto řešení bylo využito na křižovatce Palackého náměstí, další obdobné konstrukce se však na základě provozních zkušeností nově nezřizují. [31]

3.2 Srdcovka s mělkým x hlubokým žlábkem

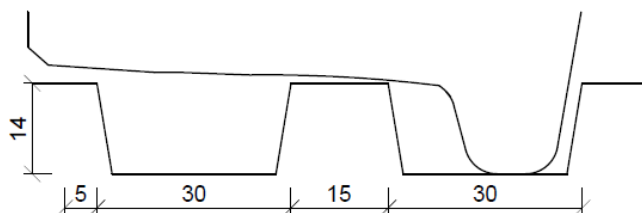
Následující informace byly převážně převzaty z konzultací s pracovníky Pražské strojírny a jsou vztaženy na srdcovky používané v tramvajové síti DPP.

V tramvajové síti DPP jsou používány jednak srdcovky s mělkým žlábkem, ale také srdcovky s hlubokým žlábkem. Hloubka žlábků je závislá především na úhlu křížení kolejové křižovatky/výhybky. Úhel křížení je úhel, který v bodě křížení svírají osy obou větví kolejové křižovatky nebo křižovatkové výhybky, který je měřený na konci jednoduché výhybky. [24] Obecně lze říci, že srdcovky s hlubokým žlábkem se používají u křížení pod ostrými úhly, srdcovky s mělkým žlábkem, které kolo pojíždí po okolku, se používají u křížení s většími úhly křížení.

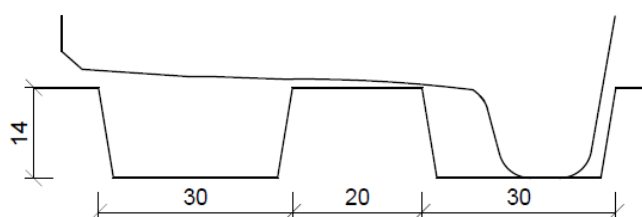
Úhel křížení je omezen vztahem kolo-kolejnice. Zpravidla je úhel křížení uzpůsoben tak, aby v místě, kde hrot srdcovky převezme celou zátěž přenesenou kolem vozidla, nebyl hrot srdcovky užší než 20 mm (ideálně 25 mm), což je znázorněno na Obr.13. Pokud je v tomto místě hrot srdcovky užší, dochází k dynamickému namáhání křídlovky, což vede k menší životnosti srdcovky.



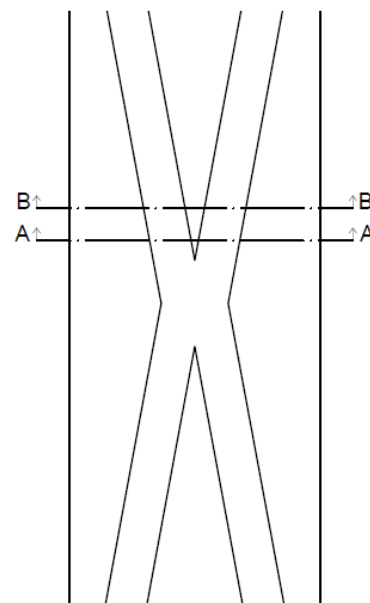
ŘEZ A-A:



ŘEZ B-B:



PŮDORYSNÉ SCHÉMA SRDCOVKY



Obr.13-Přejezd kola přes hrot srdcovky s mělkým žlábkem (znázorněny neojeté žlábků a neopotřebované kolo). V řezu A-A je zatížen nejen hrot srdcovky, ale také křídlovka. V řezu B-B je zatížení přeneseno pouze na hrot srdcovky.

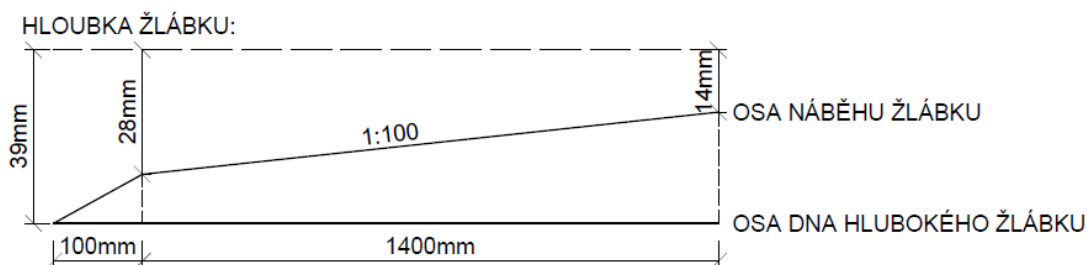
Významný faktor, který ovlivňuje použití mělkého/hlubokého žlábků v srdcovce, je šířka tramvajového kola. V současné době se u vozidel DPP využívají kola o šířce 86 mm (dále v kapitole 3.3 Vliv jízdních obrysů), nicméně se vyskytují tendence zavedení širšího kola (až 100 mm), což by mohlo vést ke zlepšení jízdního komfortu a menšímu dynamickému namáhání hrotu srdcovky a možnosti většího rozšíření srdcovek s hlubokým žlábkem. Pro úplnost je vhodné doplnit, že např. Dopravní podnik Ostrava využívá kola s šířkou dokonce 120 mm již od roku 2010. [29]

3.2.1 Srdcovky s mělkým žlábkem

U srdcovek s mělkým žlábkem je využit žlábků o maximální hloubce 14 mm, což je hloubka, která je dána historickým vývojem. [5] Zároveň výška okolku se pohybuje v rozmezí 10–25 mm (dle vyhlášky č. 173/1995 Sb. je minimální výška okolku 10,8 mm). Z toho vyplývá, že srdcovka s mělkým žlábkem je pojížděna okolkem, který dále zajišťuje směrové vedení kola. Aby při změně styčné plochy kola a kolejnice (z jízdní plochy na okolek) nedocházelo k dynamickým rázům, probíhá změna hloubky žlábků plynule ve sklonu 1:100 (znázorněno na Obr.14). [5], [10], [15]



V síti DPP se převážně používají srdcovky s tzv. mělkým žlábkem, tedy žlábkem, jehož hloubka je v novém stavu 14 mm (hloubka žlábků se vlivem ojíždění zvětšuje), což je dáno historicky. [5] Srdcovka je napojena na spojovací žlábkové kolejnice, které mají hloubku žlábků 39 mm.¹ Výškový rozdíl je vyrovnán náběhem žlábků dlouhým 1500 mm se sklonem 1:100 (znázorněno na Obr.14) tak, aby byl omezen vznik dynamického rázu. Tento náběh je ve většině srdcovek totožný, pokud konkrétní kolejové křížení nevyžaduje speciální přístup.



Obr.14-Výškový náběh žlábků – podélný řez

Srdcovky s mělkým žlábkem se používají pro kolejová křížení prakticky s jakýmkoliv úhlem křížení, protože v místě křížení je kolo vedeno po okolku. To znamená, že problém se ztrátou kontaktu kola s hlavou kolejnice, ke kterému dochází u křížení kolejnic s hlubokým žlábkem nebo u křížení kolejnic pod úhly blízkými 90° (u těchto křížení je hlava kolejnice v místě křížení přerušena kvůli průběhu žlábků křížící kolejnice a při jízdě po jízdni ploše by došlo k přerušování kontaktu kola-kolejnice), nenastává. [10], [15]

Nevýhodou srdcovek s mělkým žlábkem je zhoršené směrové vedení kola, které zvyšuje možné riziko vykolejení. Proto je také v místech kolejového křížení omezena rychlost průjezdu. Dále dochází ke vzniku dynamických rázů při přechodu z jízdni plochy na okolek, které sice jsou omezeny náběhem žlábků, ale i tak snižují jízdni komfort, a také kvůli nim dochází k opotřebování srdcovky. [3]

3.2.2 Srdcovky s hlubokým žlábkem

Srdcovky s hlubokým žlábkem jsou srdcovky, které jsou pojížděny jízdni plochou kola. Vedení kola v průběhu celého přejezdu přes srdcovku zajišťuje jízdni plocha, zatímco směrové vedení zajišťuje okolek. Pokud jsou splněny základní zásady pro použití hluboké srdcovky, je přejezd přes hlubokou srdcovku pro cestujícího prakticky neznatelný.

Hluboké srdcovky se využívají na místech s dostatečně ostrým úhlem křížení kolejnic, který je odvozený od použitých profilů kol a tvaru kolejnice. Obecně musí být úhel křížení kolejnic takový, aby kolo v místě přerušování

¹ V tramvajové síti DPP se převážně používají žlábkové kolejnice NT1, které mají hloubku žlábků 39 mm.



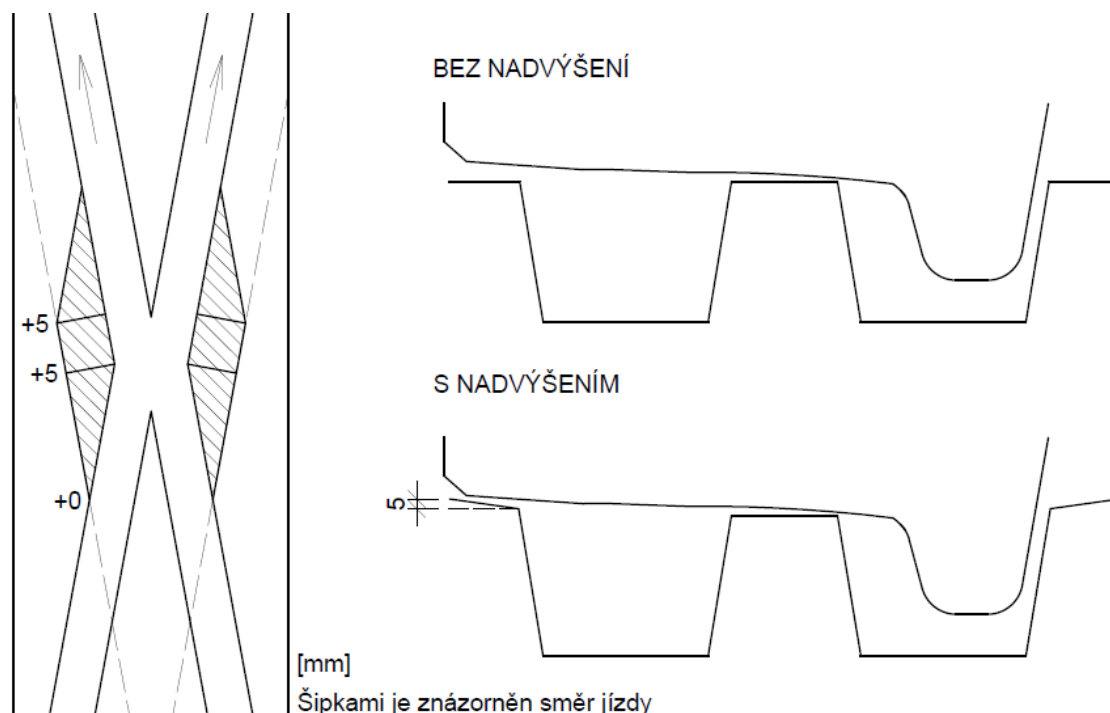
kolejnic kvůli průběhu žlábků křížící kolejnice plynule přešlo z hlavy kolejnice před křížením na hlavu kolejnice za křížením kolejnic. V tramvajové síti v Praze se tento úhel pohybuje okolo 18°. [3], [5], [17]

V tramvajové síti DPP se upřednostňuje využití srdcovek s mělkým žlábkem. Srdcovky s hlubokým žlábkem se využívají jen na několika místech v Praze – např. obratiště vozovny Pankrác, výhybky v ulici U Harfy (znázorněna na Obr.15) nebo také u některých rychlostních výhybek.



Obr.15-Srdcovka s hlubokým žlábkem (hloubka žlábků měřená posuvným měřítkem činí 25 mm)

U srdcovek s hlubokým žlábkem se doporučuje nadvýšení křídlovky (znázorněno na Obr.16). Toto nadvýšení pomáhá přenesení zatížení v místech, kde hrot jazyka nepřebírá celé zatížení, protože zde dochází k lepšímu přilnutí kola. Nicméně se jedná pouze o konstrukční doporučení, které není na území Prahy příliš respektováno.



Obr.16-Nadvýšení křídlovky srdcovky s hlubokým žlábkem (geometrie žlábků a kola je znázorněna v novém, nejetém a neopotřebovaném stavu)

3.3 Tramvajové srdcovky mimo síť DPP

V České republice se nachází 7 tramvajových provozů. Jsou to tramvajové provozy na území měst: Praha, Brno, Ostrava, Plzeň, Olomouc a meziměstské provozy Liberec-Jablonec a Most-Litvínov. Vývoj jednotlivých tramvajových provozů lze rozdělit podle 2 přístupů, a to na provozy, které se vyvíjely jen pro městský provoz a na provozy, které kromě městského provozu také sloužily pro provoz železničních vozidel (vlečky do továren atd.). Tramvajový provoz v Praze je typický příklad městského provozu. Typické příklady provozů s možností pojezdu části kolejiště také železničními vozidly jsou provozy v Ostravě a v Brně. Nejzásadnější rozdíly oproti tramvajové síti v Praze jsou v tramvajové síti v Ostravě.

Aby bylo možné pojezdění i železničními vozidly, musí tyto provozy využívat žlábkové kolejnice s širšími žlábkami (kolejnice typu NT3, NP4 a B3). Příbuznost s železničním provozem také umožňuje použití širších kol. Příkladem je šířka kola 120 mm používaná v Ostravě. Tato šířka kola také umožňuje využití hlubokých srdcovek až do úhlu křížení 20°-23°, čehož se v síti Dopravního podniku Ostrava maximálně využívá a nově navrhované výhybky se navrhují zásadně s hlubokým žlábkem.

Zcela odlišným přístupem k navrhování a následné údržbě výhybek a jejich srdcovek může být přístup německých dopravních podniků. Každý dopravní podnik v Německu stanovil hloubku, ve které měří rozchod



(bud' 10 mm nebo 14 mm pod spojnicí TK). V dopravních podnicích v ČR toto určeno není, měření rozchodů vychází z ustanovení normy ČSN 73 6360-1 a pro každý typ kolejnice je určena jiná hloubka měření rozchodu (u žlábkové kolejnice je to 9 mm pod spojnicí TK, u bezžlábkové je to 14 mm pod spojnicí TK). [21] V provozech, které využívají žlábkové i bezžlábkové kolejnice (všechny provozy v ČR vyjma provozů v Plzni a Olomouci), toto může způsobovat problémy, protože nelze optimalizovat profil kol ani průjezd kol přes srdcovky. Dopravní podnik v Německu tedy definuje hloubku měření rozchodu, definuje používané vozy a jejich kola, a to v novém a maximálně opotřebovaném stavu, a nápravy (např. tolerance rozkolí). Následně je vypracována tzv. Quermaßtabelle, která je jednotná a závazná a ověřuje se pro každý další nový typ kol nebo nový typ vozu. Příkladem tohoto přístupu je tramvajový provoz v Hannoveru. Zde jsou definované 3 typy schválených kol v novém i maximálně opotřebovaném stavu. V Quermaßtabelle jsou pak definovány šířky a hloubky žlábků v srdcovce a v protikolejnicích a zároveň i typ kolejnic. Quermaßtabelle je rozdělena do 4 částí:

- závislost tvaru žlábkové kolejnice na poloměru oblouku,
- závislost tvaru bezžlábkové kolejnice na poloměru oblouku,
- stavební tolerance,
- mezní přípustné ojetí. [27]

Obdobný přístup dopravní podniky v ČR nevyužívají a mezní úhel pro použití hlubokých srdcovek, šířky žlábků apod. stanovují empiricky. Problematika sjednocení měření rozchodu na tramvajových tratích a zohlednění užívání více typů a tvarů kolejnic je diskutována v rámci postupné revize norem pro tramvajovou dopravu pracovní skupinou Sdružení dopravních podniků ČR. [28]

3.4 Vliv jízdních obrysů

Vzhledem k zaměření této práce a souvislostem zmíněných v předchozí kapitole je důležité rozvést problematiku spojenou se vztahem kolo-kolejnice. Vlivem tramvajového provozu dochází k dynamickému namáhání kolejové konstrukce a k ojetí kolejnice. Kromě ojetí kolejnice dochází také k opotřebování kola.

Je důležité jednak vymezit geometrické faktory koleje a dvojkolí, ale také charakter zatížení kolejové konstrukce. Mezi důležité faktory geometrie koleje patří: rozchod koleje, křivost oblouku, s tím spjatá výšková poloha kolejových pásů (tedy i tvar vzešupnic a přechodnic), tvar komponentů výhybek a také tvar kolejnice. V případě geometrie dvojkolí mají vliv tyto činitelé: rozkolí, rozchod dvojkolí, geometrie kola, tvar jízdního obrysu kola a průměr kol dvojkolí. Charakter zatížení kolejové konstrukce a kolejnic



ovlivňuje kvalita chodových vlastností kolejového vozidla. Mezi nejstěžejnější chodové vlastnosti pro tuto práci patří: hmotnostní parametry vozidla a charakter geometrie kontaktu dvojkolí – koleje, což je dáno tvarem jízdního obrysu kola a tvarem kolejnice. [18]

I proto je v této práci charakterizován vozový park DPP. Je dán důraz především na konstrukci jednotlivých vozů (počet podvozků, typ podvozků) a také na hmotnost vozů, která je dále využita pro výpočet zatížení sledovaných konstrukcí v praktické části práce.

Na charakter ojetí kolejnice a opotřebení kola má také vliv specifická tramvajového provozu, u kterého dochází k častému brždění a rozjíždění vozidel, tramvaj má menší průměry kol oproti vlaku², nejednotný tvar jízdních obrysů a také dochází k jízdě po okolku. Jak již bylo zmíněno, tramvajová trať je tvořena žlábkovými kolejnicemi, přičemž je velmi různorodý tvar hlavy kolejnice (vliv ojetí atd.). Dalším specifickým tramvajové trati jsou oblouky o malých poloměrech často bez přechodnice. [3], [5], [16]

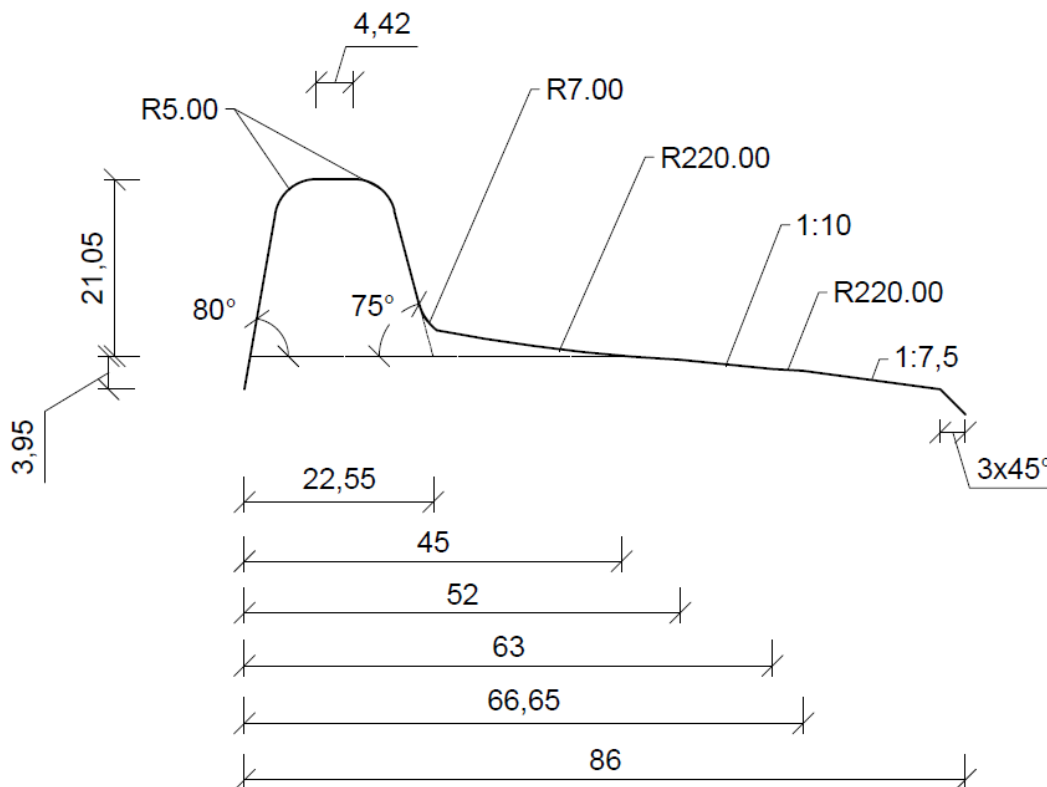
V rámci této kapitoly je také důležité uvést vývoj geometrie jízdního obrysu kola. Vhodně navržený obrys snižuje skluzové rychlosti na obvodu kol a tím i třecí síly v dotykových bodech kol s kolejnicemi, což vede k menšímu opotřebení kol i kolejnic. Vhodně navržený jízdní obrys by měl zajistit dobré jízdní vlastnosti a vedení vozidla kolejí s důsledky pro snížení opotřebení. [18]

Ohledně tramvajového vozového parku DPP je vhodné zmínit dva jízdní obrysy kola – obrys VM a obrys PR-1 a z něho odvozený obrys PR-K.

Jízdní obrys VM byl vyvinut pro žlábkové kolejnice, které se používají nejen v síti DPP. Tento obrys byl jednou z prvních ucelených snah DPP³ o vytvoření obrysu, který sníží opotřebení kol. Tento jízdní obrys je znázorněn na Obr.17.

² Průměr kol u železničních vozidel se nejčastěji pohybuje okolo 920 mm u osobních a nákladních vozů. U lokomotiv se rozmezí pohybuje od 1000 do 1250 mm. Průměr nového tramvajového kola se pohybuje v rozmezí od cca 660 mm (tramvaj Škoda 15T) do cca 700 mm (tramvaje ČKD).

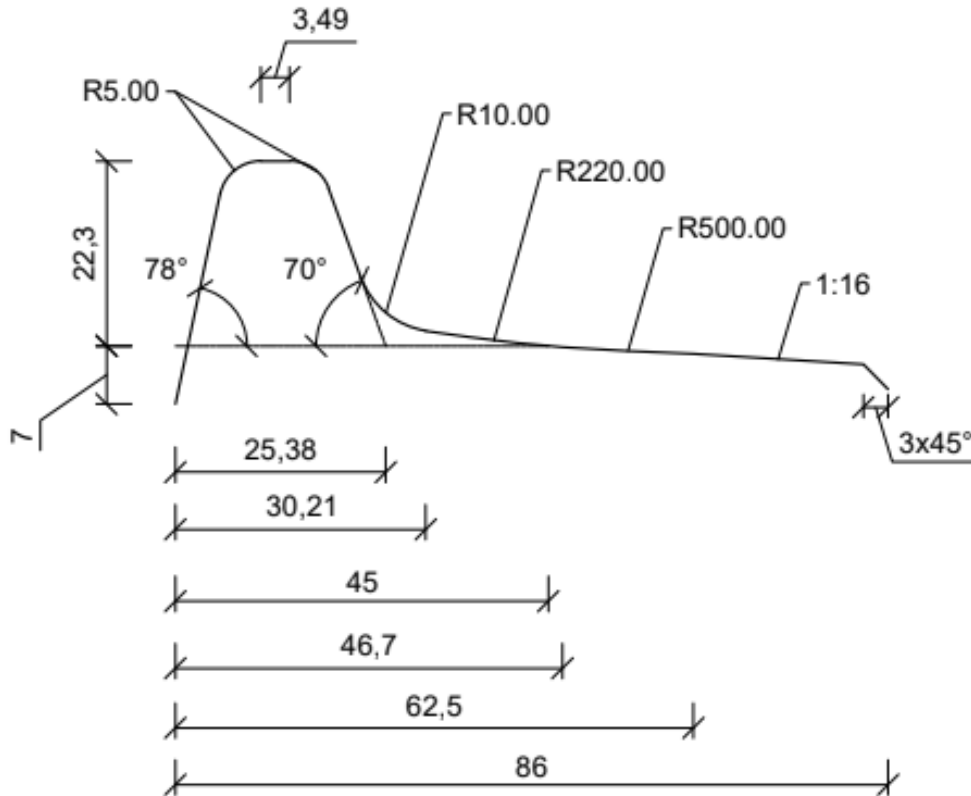
³ Přibližně kolem roku 2005.



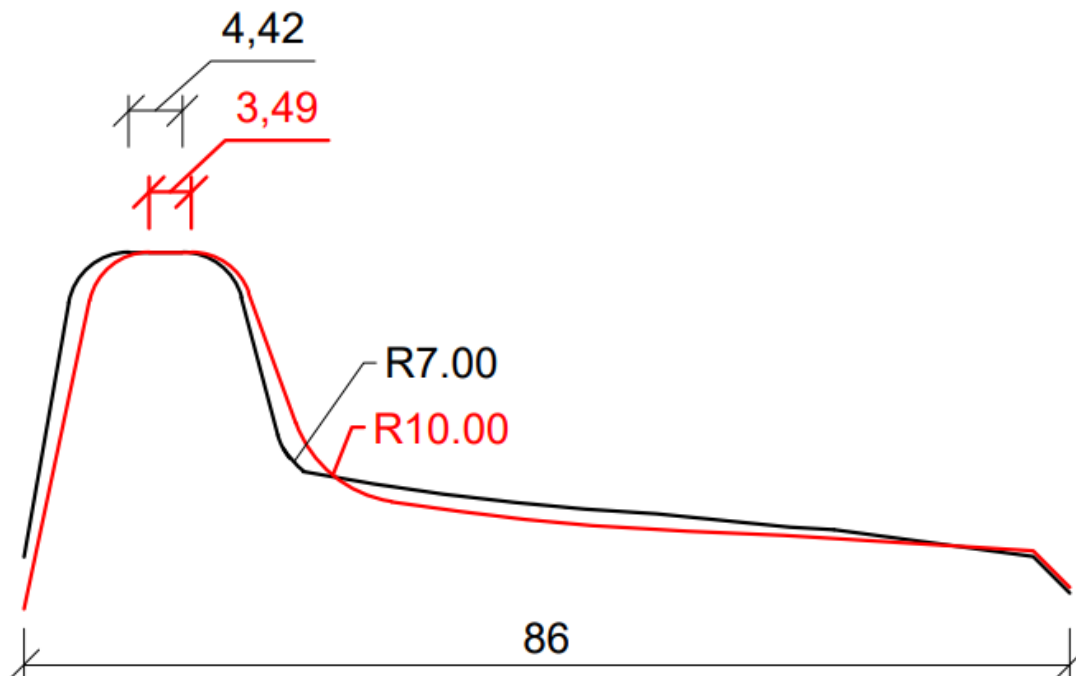
Obr.17-Jízdní obrys VM

Z jízdního obrysu VM se postupně vyvinul obrys VM-U13 a PR-1 (z kterého se následně vyvinul obrys PR-K). Tyto obrysy mají dále snižovat opotřebení kola. Snahy o vylepšení geometrie jízdního obrysu VM byly podpořeny v době, kdy DPP začal využívat i tramvaje typu 15T. Tramvaje typu 15T se přirozeně nepohybují sinusovým pohybem, což je způsobeno konstrukcí podvozků, které jsou umístěny samostatně a při jízdě se vychylují střídavě ze strany na stranu. Jízdní obrys VM-U13 byl optimalizován tak, aby vyhovoval tramvaji typu 15T, ale také měl vyhovovat současné kolejové síti DPP.

Obrysy PR-1 a PR-K mají dále snižovat opotřebení kola. Na následujícím obrázku (Obr.18) je zobrazen jízdní obrys PR-1. Od obrysu VM se liší především v poloměru přechodu okolku na jízdní plochu (tento rozdíl je znázorněn na Obr.19). U tramvaje typu 15T, kde jsou kola na rozdíl od ostatních typů tramvajů uchycená samostatně, nikoliv na nápravnice, byl profil PR-1 optimalizován na profil PR-K. Profil PR-K jízdu tramvaje 15T středí.



Obr.18-Jízdní obrys PR-K



Obr.19-Srovnání jízdních obrysů VM a PR-K: červeně je vyznačen obrys PR-K, černě obrys VM

V současné době je používán jízdní obrys PR-1. Pouze u tramvaje typu 15T se využívá jízdní obrys PR-K.



3.5 Ojetí kolejnic

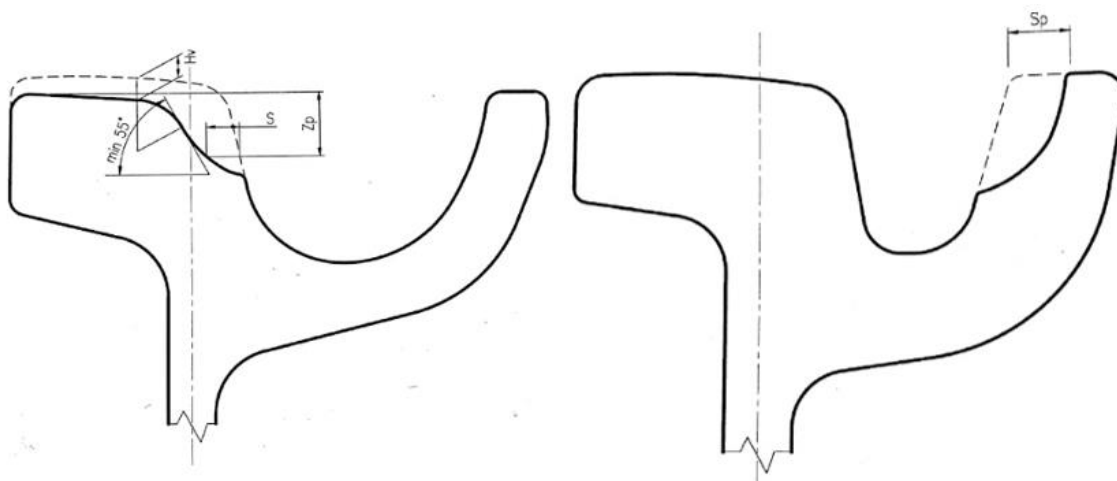
Vlivem provozu se kolejnice opotřebovávají a deformují, nejvíce opotřeбенou částí kolejnice je obvykle hlava. Charakter opotřeбенí závisí na konstrukčním a geometrickém uspořádání koleje. V přímém směru trati dochází k výškovému ojetí kolejnice, popřípadě k vytlačování materiálu a vzniku tzv. převalků, které se mohou odlupovat v třískách. V obloukových částech trati dochází kromě výškového ojetí také k bočnímu ojetí hlavy. U žlábkových kolejnic dochází případně k bočnímu ojetí příruby. [6]

Velikost ojetí kolejnice je také závislé na tvaru a materiálu kolejnice, konstrukci kolejového svršku, projeté zátěži, rychlosti průjezdu vozů, technických parametrech vozů a sklonových poměrech tratě. Při provozu dochází nejen k ojetí kolejnice, ale také k opotřeбенí obruče kol. Poměr ojíždění kolejnice a opotřeбенí kola závisí na poměru tvrdosti materiálu kolejnice a obruče kol kolejových vozidel. Optimální poměr tvrdosti materiálu kol a kolejnic pro kolejnicovou ocel s obsahem uhlíku do 0,6 % je 1,2:1. [6] Tento poměr tvrdosti byl experimentálně ověřen v rámci praktické části této práce u tramvajových kolejnic a tramvajových kol různých typů tramvají.

V tramvajové síti DPP jsou použity převážně žlábkové kolejnice NT1. Největší dovolené opotřeбенí kolejnice NT1 činí:

- opotřeбенí hlavy:
 - výškové H_v : 20 mm,
 - boční s : 20 mm,
- boční opotřeбенí příruby s_p : 17 mm. [22]

Měření opotřeбенí hlavy a příruby žlábkových kolejnic je znázorněno na obrázku Obr.20.



Obr.20-Měření opotřeбенí hlavy a příruby žlábkových kolejnic



3.6 Tramvajový vozový park – Praha

Z hlediska ojíždění kolejnic je nutné popsat současný tramvajový vozový park v Praze. Tramvajové vozové parky, na rozdíl od železničních, jsou pro jednotlivé provozy rozlišné. Je to dáno tím, že tramvajový provoz je více závislý na vývoji jednotlivých městských sítí, který není totožný. Ojetí koleje ovlivňují zejména faktory jako hmotnost jednotlivých vozů, počet a rozmístění jejich podvozků, které má vliv na zatížení jednotlivých náprav, konstrukční provedení podvozků (otočné/neotočné) a další charakteristiky, jako například vzdálenost otočných čepů a rozvor podvozků, které mají zásadní vliv na postavení jednotlivých dvojkolí při průjezdu oblouku.

3.6.1 Tramvaje typu T3, T3SU, T3M a T3R.P

Tramvaj typu T3 je nejstarší typ tramvaje, který je na území Prahy stále v provozu. Jedná se o jednosměrnou čtyřnápravovou tramvaj s otočnými podvozky. Pohotovostní hmotnost vozu je 16–17 t, hmotnost obsazeného vozu činí 27–30 t. [1] Z hlediska projeté zátěže není nutné vyčleňovat z této kategorie tramvaje typu T3SU, T3M a T3R.P, protože mají obdobné konstrukční řešení jako tramvaj typu T3.

3.6.2 Tramvaje typu T3R.PLF

Tyto vozy vznikly rekonstrukcí vozů typu T3. Z hlediska projeté zátěže je ovšem musíme vyčlenit z předchozí kategorie, protože jejich pohotovostní hmotnost je 21,5 t. Hmotnost obsazeného vozu činí 33–35 t. [1]

3.6.3 Tramvaje typu T6

Konstrukce tramvaje typu T6 vychází z tramvaje typu T3. Jedná se také o čtyřnápravovou tramvaj s otočnými podvozky. Pohotovostní hmotnost vozu je 20 t, hmotnost obsazeného vozu je 30–32 t. [1]

3.6.4 Tramvaje typu KT8D5.RN2P

Oproti předchozím typům tramvajů, je tramvaj typu KT8D5.RN2P tříčlánkový vůz vycházející z typu KT8D5 se čtyřmi otočnými podvozky. Tato tramvaj je odlišná především vloženým nízkopodlažním středním článkem. Pohotovostní hmotnost vozu je 42 t, hmotnost obsazeného vozu činí 62–65 t. [1]

3.6.5 Tramvaje typu 14T

Tramvaj Škoda 14T je na rozdíl od předchozích typů tramvajů, které byly dodány firmou ČKD, první tramvaj dodanou do Prahy od firmy Škoda Transportation. Jedná se o pětičlánkovou nízkopodlažní tramvaj se třemi neotočnými podvozky, které jsou uchyceny k prvnímu, třetímu a pátému článku tramvaje. Natáčení vozu v obloucích je zajištěno vzájemným natáčením nesoucích a nesených článků. Pohotovostní hmotnost vozu je 39 t. Hmotnost obsazeného vozu činí 55–62 t. [1]



3.6.6 Tramvaje typu 15T

Tramvaj typu 15T je nejnovější pražská tramvaj. Jedná se o plně nízkopodlažní tříčlankovou tramvaj se čtveřicí otočných podvozků, které jsou umístěny u čel a mezi jednotlivými články. Pohotovostní hmotnost vozu je 42 t, hmotnost obsazeného vozu je 61–64 t. [1]

3.6.7 Shrnutí charakteristik vozového parku – Praha

Následující tabulky shrnují parametry, které jsou klíčové pro problematiku ojetí kolejnic, jednotlivých typů tramvají používaných v Praze.

Hmotnost obsazeného vozu závisí na obsaditelnosti jednotlivých vozů, což souvisí s vnitřním uspořádáním tramvaje. Cestující mohou využívat místa k sezení a místa k stání. Počet míst k sezení je neměnný a pro každou tramvaj specifický. Místa k stání nejsou přesně vymezena, a proto není možné přesně určit kapacitu jednotlivých tramvají. Výpočet kapacity tramvaje je závislý na předpokladu, kolik lidí je schopno stát na 1 m² (obvykle se předpokládá 4/5/6/8 os./m²).

Tab.2-Základní parametry tramvajových vozů T3, T3R.PLF, T6

	T3	T3R.PLF	T6
Pohotovostní hmotnost	16-17	21,5	20
[t]			
Hmotnost obsazeného vozu	27-30	33-35	30-32
[t]			
Počet podvozků	2	2	2
[ks]			
Počet náprav	4	4	4
[ks]			
Typ podvozku	Otočné	Otočné	Otočné
Zatížení na nápravu – prázdný vůz	4,3/3,8	5,1/4,5	4,9/4,6
[t]			
Zatížení na nápravu – obsazený vůz	6,9/6,8	7,7/8,0	7,5/7,4
[t]			



Tab.3 -Základní parametry tramvajových vozů KT8, 14T, 15T

	KT8	14T	15T
Pohotovostní hmotnost	42	39	42
[t]			
Hmotnost obsazeného vozu	62-65	55-62	61-64
[t]			
Počet podvozků	4	3	2
[ks]			
Počet náprav	8	6	4
[ks]			
Typ podvozku	Otočné	Pevné	Otočné
Zatížení na nápravu – prázdný vůz	6,0/4,7/4,7/6,0	7,2/6,7/6,6	5,1/5,9/6,0/4,9
[t]			
Zatížení na nápravu – obsazený vůz	8,3/7,4/7,4/8,3	*	6,6/9,4/9,3/6,5
[t]			

*Přesné rozložení hmotnosti mezi jednotlivé nápravy obsazeného vozu 14T se nepodařilo ani po dotazech na výrobce objasnit. Největší zatížení na nápravu je na čtvrté nápravě – 9,9 t.



4 Praktická část

V rámci praktické části práce bylo hlavním úkolem dlouhodobé sledování vybraných tramvajových srdcovek od jejich vložení v novém stavu. Toto sledování spočívalo v opakovaném měření příčných profilů pro pozdější vyhodnocení vývoje deformace. Za tímto účelem bylo navrženo soustavné sledování a měření na zvolených lokalitách, které byly zvoleny s ohledem na jejich umístění v síti, charakter provozu, i proběhlé rekonstrukce, při kterých byly do těchto lokalit vloženy nové srdcovky.

4.1 Měření

4.1.1 Metodika měření

Dle příslušné vyhlášky [26] se pro zajištění provozuschopnosti tramvajové dráhy provádějí pravidelné prohlídky a měření staveb drah. Pravidelné prohlídky tramvajových výhybek v dopravních kolejích se provádějí každý den. Zároveň dochází každé 2 týdny k obchůzce trati.

Tramvajová síť na území Prahy je rozdělena na několik území, která jsou rozdělena mezi pochůzkáře. Každé takto rozdělené území je celé kontrolováno minimálně každé 2 týdny obchůzkami. Na doporučení pochůzkářů poté dochází ke kontrolním měřením určených úseků různými přístroji (měřicí vozík Krab, Contour II.).

Měření prováděná během této práce byla provedena měřicím přístrojem Contour II. Tento měřicí přístroj se využívá pro kontrolu ojetí kolejnic v tramvajové síti DPP. Zpravidla se používá pro kontrolu ojetí v obloucích a pro kontrolu správného provedení návarů náběhů mělkých srdcovek. Přístroj měří pomocí laseru s červeným bodovým paprskem, který je rozmítán po kolejnici a je zároveň snímán pomocí kamery.

Měření pomocí měřicího přístroje Contour II probíhá za běžných klimatických podmínek bez omezení. Pokud je zvýšená vlhkost vzduchu během měření, musí dojít k řádnému vysušení sledovaných kolejnic a následně musí být na jejich povrch nanesen bílý křídový sprej. Teplotou vzduchu není měření ovlivněno, v rozsahu teplot od -5 do 35 °C probíhá měření bez omezení.

Měření měřicím přístrojem Contour II lze rozdělit na 2 typy – kontinuální měření a bodové měření. Kontinuální záznam snímá profily kolejnice v kroku 3,84 mm nebo 5,75 mm – dle volby uživatele. Vzdálenost mezi jednotlivými body příčného profilu činí 0,13 mm. Zároveň přístroj snímá profil široký 15-20 cm.

Jelikož k přístroji nebyly poskytnuty technické specifikace, všechny tyto informace byly zjištěny na základě zkušeností autora práce a pracovníků DPP. Z tohoto důvodu byly také odlévány sádrové odlitky sledovaných



srdcovek, aby bylo možno specifikovat chybu provedených měření (viz kapitola 4.4 Ověření naměřených dat).

4.1.2 Průběh měření

Tato kapitola popisuje jednak periodicitu uskutečněného monitoringu vybraných srdcovek v síti DPP, ale také průběh měření, který byl dodržen při každém měření.

4.1.2.1 Periodicita měření

Sledované srdcovky byly monitorovány od nového stavu, vždy od proběhlé rekonstrukce dané lokality, ve které se srdcovka nachází. Je tedy zaznamenán stav nezdeformované srdcovky, což je dále považováno za výchozí stav pro vyhodnocení vzniklých deformací. Celý monitoring byl rozdělen do 3 fází, které měly odlišné intervaly mezi jednotlivými měřeními.

V první fázi monitoringu byly srdcovky sledovány v nejkratších intervalech, protože se předpokládal vznik větších deformací za krátký časový úsek. Tento předpoklad vznikl na základě doporučení pracovníků DPP. Proto první měsíc od rekonstrukce lokalit, byly srdcovky monitorovány ve zhruba týdenních intervalech.

V druhé fázi monitoringu se interval mezi jednotlivými měřeními prodloužil zhruba na 1 měsíc. Během této doby se již nepředpokládal tak rychlý rozvoj deformací jako v první fázi.

V poslední fázi monitoringu byl časový interval mezi jednotlivými měřeními opět prodloužen, a to na cca 2 měsíce.

Všechny změny délek intervalů mezi jednotlivými měřeními byly konzultovány s pracovníky DPP s ohledem na jejich zkušenosti se správou tramvajových tratí v Praze.

4.1.2.2 Popis měření

Tato kapitola popisuje průběh měření, které se vždy opakovalo v daných časových intervalech v daných lokalitách.

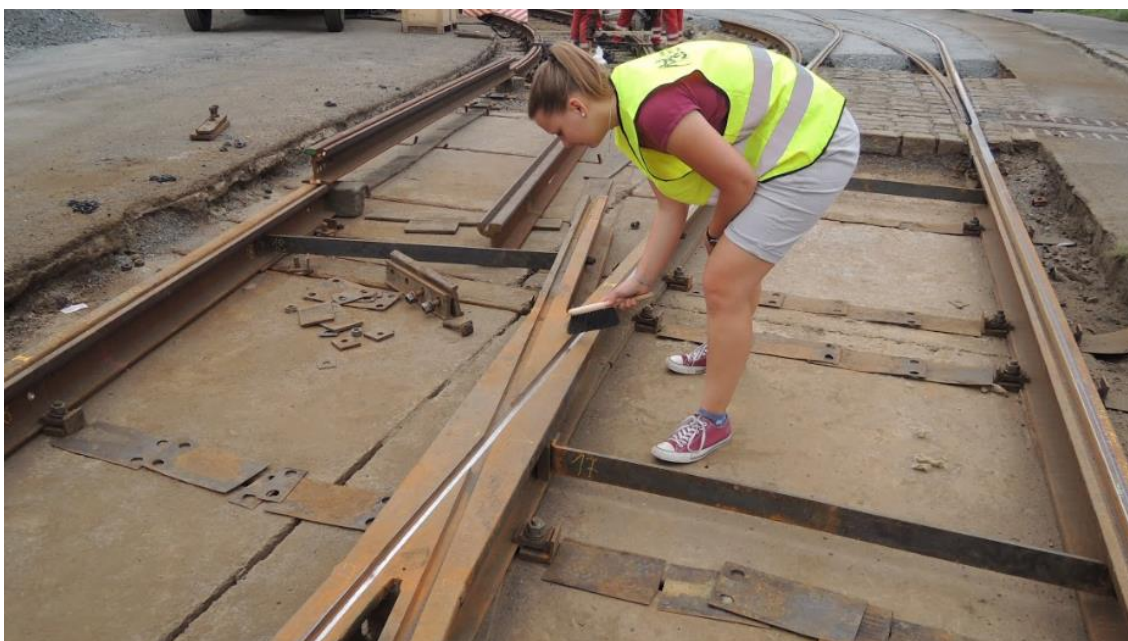
Během každého měření proběhlo změření sledovaných srdcovek a náběhu žlábků měřicím přístrojem Contour II. Při každém měření s přístrojem Contour II byl přítomen pracovník DPP, který dohlížel na splnění veškeré metodiky měření. Některá měření byla zároveň doplněna kontrolním odléváním sádrových odlitků srdcovek, které následně byly použity pro určení odchylky měření.

Zpravidla se sledovaná srdcovka měřila 2 způsoby, jednak kontinuálně a také bodově v jejích významných profilech (rozjezdový a sjezdový hrot srdcovky a střed srdcovky). Kontinuální záznam byl vždy proveden ve stejném úseku o délce cca 1,5 m. Bodové měření bylo provedeno



v autorem definovaných profilech. Typ měření je stěžejní pro následující vyhodnocení dat.

Před měřením proběhla vždy příprava sledované srdcovky pro měření. Během přípravy byl měřený úsek vždy očištěn hrubým ocelovým kartáčem od velkých nečistot. Následně byl očištěn i jemnějším kartáčem pro odstranění zbývajících prachu a menších nečistot. Poté byl na měřený úsek nanesen bílý křídový sprej, který slouží k minimalizaci vzniku odlesků během měření.



Obr.21-Autor čistící sledovanou srdcovku jemným kartáčem

Po připravení úseku proběhlo samotné měření přístrojem Contour II (zobrazen na obrázku Obr.22). Zpravidla byl úsek nejdříve změřen bodově, následně kontinuálně. Takto naměřená data byla uložena v měřicím počítači a následně byla exportována do dalších zařízení, ve kterých se vyhodnocovala.



Obr.22-Měřicí přístroj Contour II



4.2 Lokality

První část této kapitoly se věnuje popisu lokalit, ve kterých se nacházejí sledované srdcovky. Druhá část popisuje jednotlivé sledované srdcovky, jejich geometrii, úhel křížení atd. Ve třetí části je popsán charakter zatížení jednotlivých srdcovek. V poslední části jsou definovány jednotlivé příčné profily, které byly vyhodnoceny v závislosti na čase.

4.2.1 Popis lokalit

Pro měření byly vybrány 2 lokality, které byly monitorovány již od srpna 2019 – kolejová konstrukce v křižovatce ulic Rašínovo nábřeží – Svobodova (u tramvajové zastávky Výtoň – dále jen Výtoň) a kolejové konstrukce v tramvajovém obratišti Spojovací (dále jen Spojovací). Kolejové konstrukce použité ve sledovaných lokalitách jsou popsány níže. Popis vychází z osobních prohlídek, vlastních fotografií během rekonstrukcí a částečně z projektové dokumentace, kterou poskytla Jednotka dopravní cesty tramvaje – oddělení Správa TT, DPP.

Obě lokality byly vybrány, protože Spojovací i Výtoň byly v srpnu roku 2019 rekonstruovány a je zde viditelný a sledovatelný vývoj deformací konstrukce a ojetí kolejnic od počátečního nezdeformovaného stavu.

4.2.1.1 Tramvajové obratiště Spojovací

Tramvajové obratiště Spojovací se nachází na Praze 3 – Jarově, za křižovatkou ulic Koněvova – Spojovací – Českobrodská. V pravidelném provozu jsou zde ukončeny tramvajové linky 1, 9, 11 a 98. Obratiště je tříkolejné, vnitřní kolej má poloměr 20 m, střední kolej 24 m a vnější kolej 28 m. Obratiště obsahuje 2 rozjezdové výměny a 2 sjezdové výměny. Pro tuto práci byly pro monitoring vybrány obě rozjezdové výměny.

Konstrukce tramvajové trati je v různých částech obratiště odlišná. Pro potřeby této práce byly popsány pouze úseky se sledovanými srdcovkami.

Od úrovně zastávkového sloupku, který je umístěn cca 5 metrů před první rozjezdovou výměnou, je kolej uložena na konstrukci panelů VUIS. Použity jsou stojinové žlábkové kolejnice NT1. Použito je tuhé upevnění se svěrkou T6, variabilně uchycené v příčném směru do kolejniček ve VUIS panelu. Použitá konstrukce je ukázána viz Obr.23 a je shodná pro obě rozjezdové výměny. Upevnění kolejnic je v případě první výhybky použito včetně upevnění srdcovky. Během rekonstrukce byla ponechána původní čepová výměna, obnova svršku a upevnění se týkala jen zbylých částí koleje. Ve stavu po rekonstrukci je v oblasti výměny proveden zákryt částečně kamennou dlažbou a částečně hutněným zásypem šterkodrtí frakce 4/32.



Obr.23-Upevnění na panelech VUIS a dřevěných pražcích druhé rozjezdové výhybky

Druhá rozjezdová výměna má shodné provedení upevnění jako výměna první. Zákryt je také proveden hutněným zásypem šterkodrtí frakce 4/32, ale odlišné je upevnění srdcovky. Od úrovně srdcovky jsou na dalším úseku obratiště použity dřevěné pražce s pružným podkladnicovým upevněním s využitím svěrek Sk12 a Sk124, což je znázorněno viz Obr.24. Pražce byly během rekonstrukce ponechány původní, uloženy jsou ve směsi hutněné škváry a šterkodrti s velikostí zrn do 8 mm. Použity jsou stojinové žlábkové kolejnice NT1.



Obr.24-Srdcovka a její upevnění ve druhé rozjezdové výhybce



4.2.1.2 Křižovatka Rašínovo nábřeží – Svobodova (Výtoň)

Křižovatka Výtoň se nachází v Praze 2 na křižovatce Rašínova nábřeží a ulice Svobodova. Kolejová křižovatka má tři ramena – přímý směr na Rašínově nábřeží (první větev směr Palackého náměstí a druhá větev ve směru Podolská vodárna, resp. Sídliště Modřany) a odbočnou větev ve směru Albertov. V pravidelném provozu jsou zde vedeny tramvajové linky 2, 3, 17, 21 a 92 v přímém směru a linka 7 ve směru Palacké náměstí – Albertov. Kolejová konstrukce umožňuje i jízdu vlaků ve směru Albertov – Podolí – Modřany, která se využívá v ranním a večerním období pro výjezd a zátah vlaků z a do vozovny Pankrác.

Rekonstrukce provedená v srpnu 2019 se týkala jen části křižovatky u zastávky Výtoň od Palackého náměstí, zbylá konstrukce je ponechána původní. I sledování je tak zaměřeno jen na tuto část křižovatky.

V křižovatce jsou nově vloženy dvě blokové výměny uložené na dřevěných pražcích. Na navazujících částech kolejové konstrukce jsou použity dřevěné pražce s pružným podkladnicovým upevněním s využitím svěrek Sk12 a Sk124. Pražce byly během rekonstrukce ponechány původní, uloženy jsou ve směsi hutněného štěrku frakce 4/63. Použity jsou stojinové žlábkové kolejnice NT1. Ve stavu po rekonstrukci je proveden zákryt svršku asfaltovým betonem. Obnovovaný úsek končí vždy u navazujících srdcovek v neobnovovaných vrcholech křižovatky.



Obr.25-Křižovatka Výtoň během rekonstrukce

4.2.2 Popis srdcovek

Během této práce byly sledovány celkem 3 srdcovky – 2 na Spojovací, 1 na Výtoni. Na Spojovací byly vybrány 2 srdcovky rozjezdových výhybek. Na Výtoni byla vybrána srdcovka rozjezdové výhybky u zastávky Výtoň ve směru na Podolskou vodárnu.



4.2.2.1 Spojovací č.1

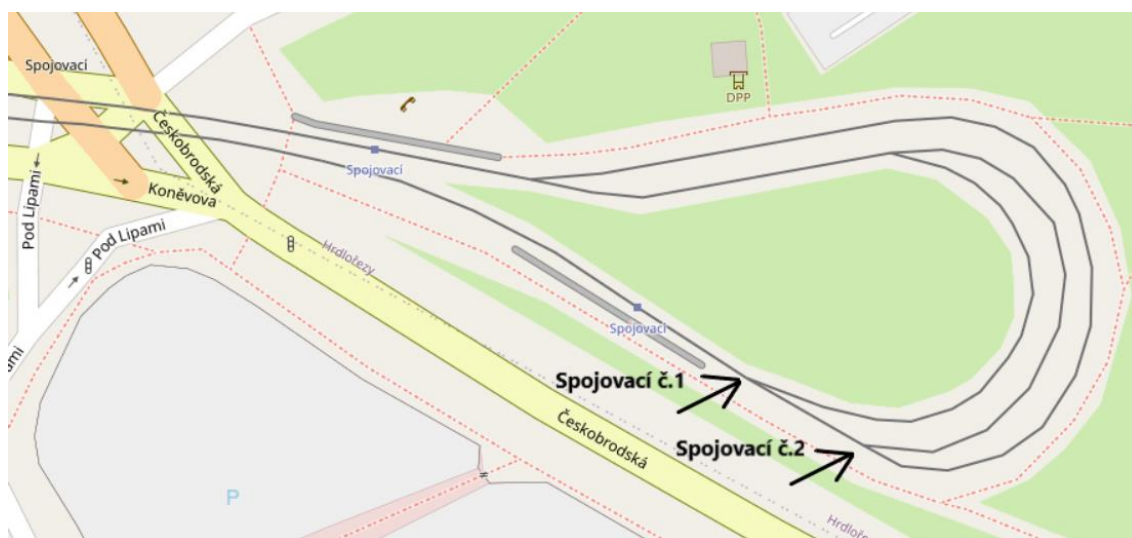
Srdcovka označená pro účely této práce Spojovací č.1 je srdcovka první rozjezdové výhybky v tramvajovém obratišti Spojovací (zobrazeno na obrázku Obr.26). Tato srdcovka zde byla nově osazena při rekonstrukci v srpnu 2019 a od této chvíle byla pravidelně monitorována. Stav této srdcovky byl pouze fotograficky dokumentován, protože tato výhybka nebyla rekonstruována v plném rozsahu (výměna výhybky je původní) a také k tomuto řešení bylo přistoupeno s ohledem na rozsah této práce. Následně byly vybrány a popsány charakteristické deformace vzhledem ke geometrii srdcovky.

Geometrie této srdcovky je odlišná oproti ostatním sledovaným srdcovkám, protože se zde kříží pouze přímé žlábků. Úhel křížení os žlábků činí $12,5^\circ$. Tato srdcovka má mělký žlábek s náběhem délky 1500 mm (tak jak je zobrazeno na obrázku Obr.14).

4.2.2.2 Spojovací č.2

Srdcovka označená pro účely této práce Spojovací č.2 je srdcovka druhé rozjezdové výhybky v tramvajovém obratišti Spojovací (zobrazeno na obrázku Obr.26). Tato srdcovka zde byla nově osazena při rekonstrukci v srpnu 2019 a od této chvíle byla pravidelně monitorována měřicím přístrojem Contour II.

Dochází zde ke křížení střední koleje obratiště o poloměru 24 m a vnější koleje obratiště o poloměru 28 m – tedy dvou obloukových kolejí. V srdcovce tudíž dochází ke křížení žlábků v oblouku. Úhel křížení tečen oblouků činí 15° . Tato srdcovka má mělký žlábek s náběhem délky 1500 mm (tak jak je zobrazeno na obrázku Obr.14).



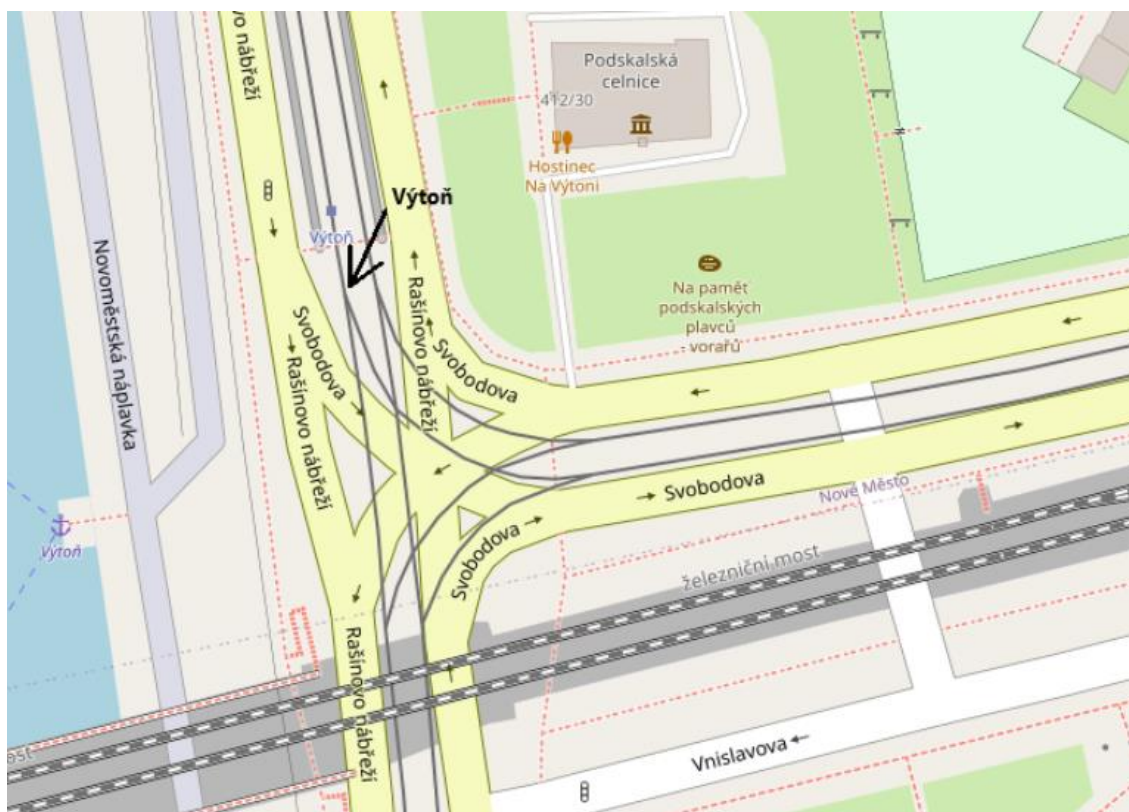
Obr.26-Schéma situace – Spojovací s vyznačenými sledovanými srdcovkami



4.2.2.3 Výtoň

Srdcovka označená pro účely této práce Výtoň je srdcovka rozjezdové výhybky v blízkosti zastávky Výtoň ve směru na Podolskou vodárnu (zobrazeno na obrázku Obr.27). Tato srdcovka zde byla nově osazena při rekonstrukci v srpnu 2019 a od této chvíle byla pravidelně monitorována měřicím přístrojem Contour II. Byla vybrána na doporučení pracovníků DPP s ohledem na vývoj deformace předcházející srdcovky.

Dochází zde ke křížení koleje v oblouku o poloměru 300,719 m ve směru Palackého náměstí – Podolská vodárna a koleje odbočné větve křižovatky v oblouku o poloměru 23,035 m. Ačkoliv jsou obě koleje v oblouku, v srdcovce dochází ke křížení žlábků v přímém směru (navazující na oblouk o poloměru 300,719 m) a žlábků v oblouku (navazující na oblouk o poloměru 23,035 m). Úhel křížení osy přímého žlábků a tečny žlábků oblouku činí 16° . Tato srdcovka má mělký žlábek s náběhem délky 1500 mm (tak jak je zobrazeno na obrázku Obr.14).



Obr.27-Schéma situace – Výtoň s vyznačenou sledovanou srdcovkou

4.2.3 Sledování projeté zátěže

Pro správné hodnocení a interpretaci naměřených hodnot ojetí koleje a deformací je vhodné sledovat i projetou zátěž. Zátěž je udávána v tunách za týden. Projectá zátěž byla získána výpočtem dle jízdních řádů, přičemž se rovná součtu projeté zátěže za jednotlivé dny v týdnu.



4.2.3.1 Spojovací č.1

Srdcovka Spojovací č.1 v tramvajovém obratišti Spojovací je pojížděna pouze kolejovými vozidly. Zároveň je počítáno s hmotností prázdných vozů, protože obratiště není určeno pro jízdu s cestujícími. Následující tabulka uvádí průměrnou týdenní projetou zátěž.

Tab.4-Projetá zátěž – Spojovací č.1

	Linky – přímý směr	Zátěž za týden v přímém směru	Linky – v odbočném směru	Zátěž za týden do odbočky	Projetá zátěž za týden celkem
Spojovací č.1	9, 11, 98	85 371 t	1	29 400 t	114 771 t

V přímém směru je zde v provozu linka 9, 11 a 98. Tyto linky mají v provozu převážně tramvaje typu 15T (linka 9 a 11), KT8 (linka 11) a T3R.P (linka 98). V odbočném směru je zde vedena linka 1, která má v provozu tramvaje typu T3 a 15T. Všechny tyto typy tramvajů mají otočný typ podvozku (viz tabulky Tab.2 a Tab.3).

4.2.3.2 Spojovací č.2

Srdcovka Spojovací č.2 v tramvajovém obratišti Spojovací je pojížděna pouze kolejovými vozidly. Zároveň je počítáno s hmotností prázdných vozů, protože obratiště není určeno pro jízdu s cestujícími. Následující tabulka uvádí průměrnou týdenní projetou zátěž.

Tab.5-Projetá zátěž – Spojovací č.2

	Linky – přímý směr	Zátěž za týden v přímém směru	Linky – v odbočném směru	Zátěž za týden do odbočky	Projetá zátěž za týden celkem
Spojovací č.2	9, 98	56 371 t	11	29 000 t	85 371 t

Střední kolej je určena pro linku 11, která má v provozu tramvaje typu 15T a KT8. Vnější kolej je určena pro linky 9 a 98, které mají v provozu tramvaje typu 15T (linka 9) a T3R.P (linka 98). Všechny tyto tramvaje mají otočný typ podvozku (viz tabulky Tab.2 a Tab.3).

4.2.3.3 Výtoň

Srdcovka Výtoň je pojížděna převážně kolejovými vozidly. Může dojít také k pojíždění motorovými vozidly, ke kterému dochází pouze ve výjimečných případech (např. při průjezdu ZZS⁴). Hmotnost vozů byla uvažována tak, aby odpovídala využití tramvajové dopravy během dne

⁴ ZZS – zdravotnická záchranná služba



a zároveň bylo počítáno s modelem 5os./m² v dopravní špičce. Následující tabulka uvádí průměrnou týdenní projetou zátěž.

Tab.6-Projetá zátěž – Výtoň

	Linky – přímý směr	Zátěž za týden v přímém směru	Linky – v odbočném směru	Zátěž za týden do odbočky	Projetá zátěž za týden celkem
Výtoň	2, 3, 17, 21, 92	141 721 t	7	39 215 t	180 936 t

V přímém směru jsou zde vedeny linky 2, 3, 17, 21 a 92. Linka číslo 2 má v provozu převážně tramvaje typu T3R.P a T3R.PLF. Linka číslo 3 má v provozu převážně soupravy tramvajů typu 2xT3R.P, 14T a 15T. Linka číslo 17 má v provozu převážně tramvaje typu 14T a 15T. Linka číslo 21 má v provozu převážně tramvaje typu T3R.P a T6. Linka číslo 92 má v provozu tramvaje typu T3R.P. V odbočném směru je zde vedena linka 7, která má v provozu převážně tramvaj typu 15T. Tramvaj typu 15T má otočný typ podvozku (viz tabulky Tab.2 a Tab.3).

4.2.4 Sledované profily

V každé lokalitě byly vybrány 3 profily (celkem 6 profilů), které byly pravidelně monitorovány měřicím přístrojem Contour II.

4.2.4.1 Spojovací č.2

První profil byl zvolen 2 cm před sjezdovým hrotem srdcovky. Druhý profil byl zvolen na spojnicí hrotů křídlovky, tedy zhruba ve středu srdcovky. Poslední profil byl zvolen 2 cm za rozjezdovým hrotem srdcovky. Všechny vybrané profily jsou znázorněny na obrázku níže (Obr.28).



Obr.28-Monitorované profily – Spojovací č.2



4.2.4.2 Výtoň

První monitorovaný profil byl zvolen 2 cm před sjezdovým hrotem srdcovky. Druhý profil byl zvolen na spojnici hrotů křídlovky. Třetí profil byl zvolen 2 cm za rozjezdovým hrotem srdcovky. Všechny vybrané profily jsou znázorněny na obrázku níže (Obr.29). Tyto profily byly zvoleny obdobně jako u srdcovky Spojovací č.2, což umožnilo srovnání vzniklých deformací a následné vyhodnocení v závislosti na geometrii srdcovek, která je odlišná.



Obr.29-Monitorované profily – Výtoň

4.3 Vyhodnocení dat

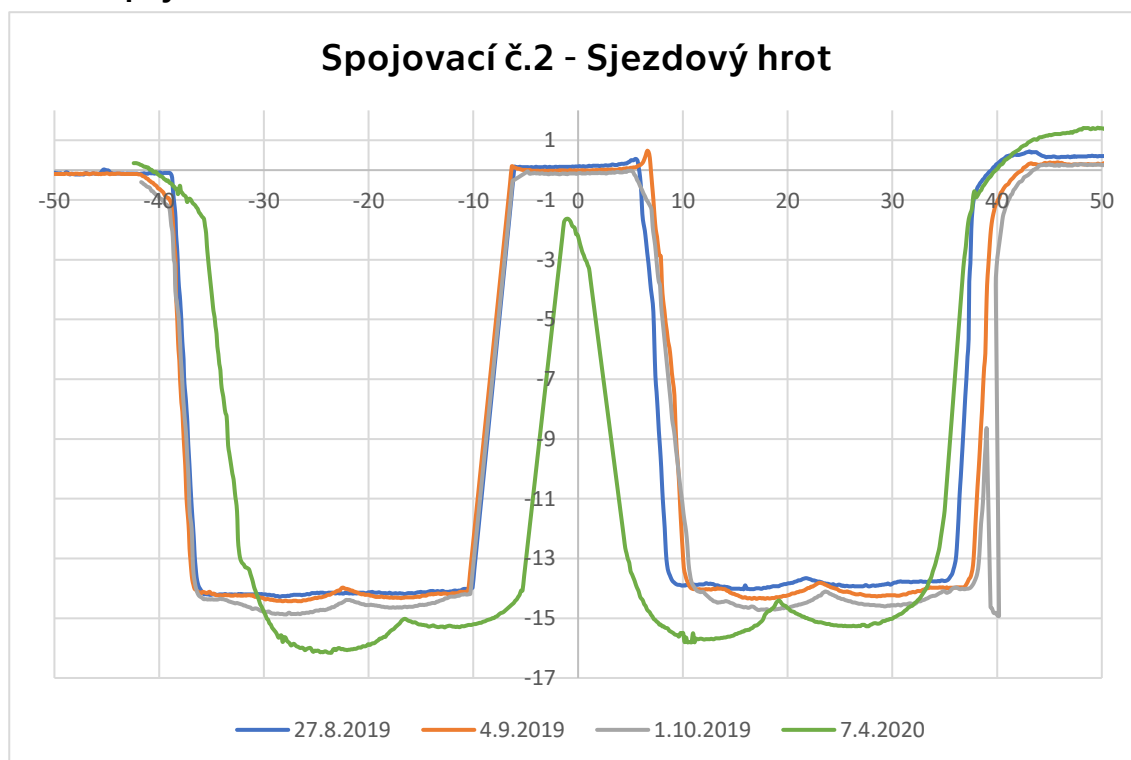
V následující kapitole jsou zobrazeny grafy znázorňující vývoj ojetí a deformace jednotlivých příčných profilů v průběhu času v srdcovkách Spojovací č.2 a Výtoň.

Data naměřená 11.11.2019 a 14.2.2020 byla poškozena při exportu z měřicího počítače přístroje Contour II do vyhodnocovacího počítače. Z toho důvodu nebylo možné vyhodnotit měření z 11.11.2019 a 14.2.2020. Tento problém byl řešen s pracovníky DPP, nicméně během řešení této práce nebyl vyřešen.

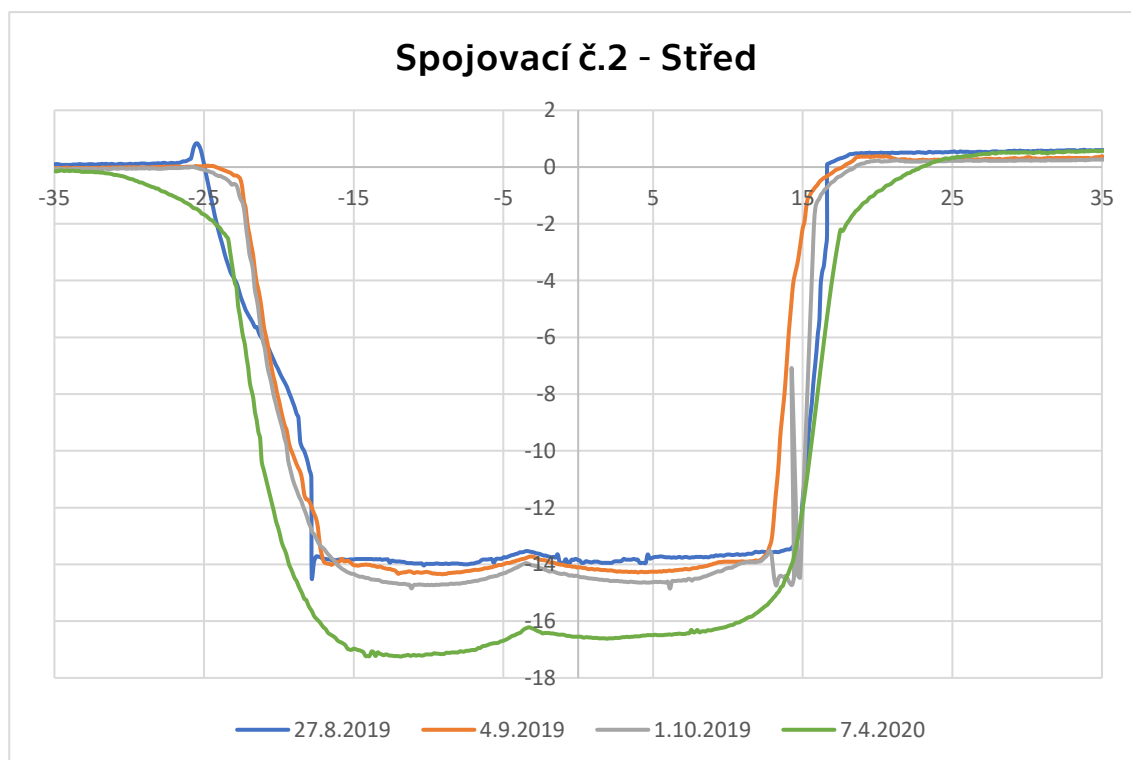
Grafy byly vytvořeny na základě dat získaných kontinuálním měřením. Z každého měření byly vygenerovány souřadnice jednotlivých bodů příčných profilů. Vzhledem ke vzdálenosti mezi jednotlivými body (0,13 mm) a šířkou změřeného profilu (15-20 cm), jeden takto vygenerovaný soubor se souřadnicemi bodů má až 1500 dvojic souřadnic. Z tohoto důvodu nejsou hodnoty bodů přiloženy v příloze, nýbrž na externím úložišti. Následně byly jednotlivé body proloženy křivkou.



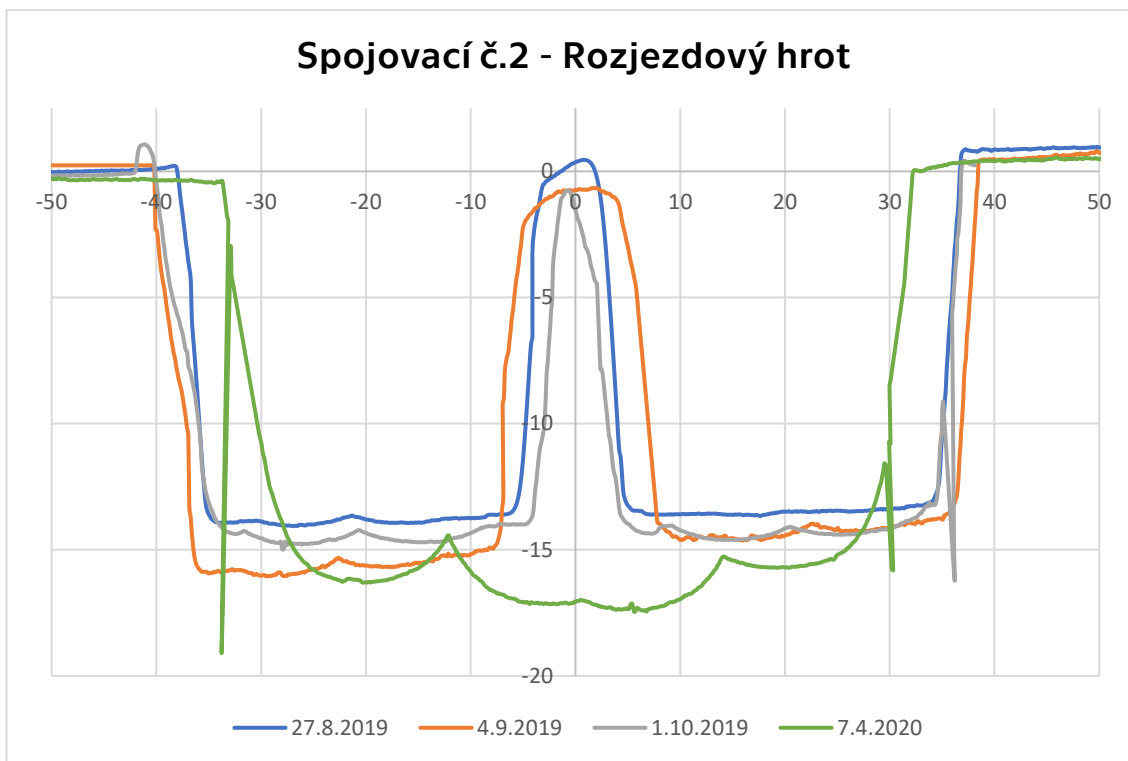
4.3.1 Spojovací č.2



Graf č.1-Spojovací č.2 – profil 1 (sjezdový hrot); hodnoty uvedeny v [mm]



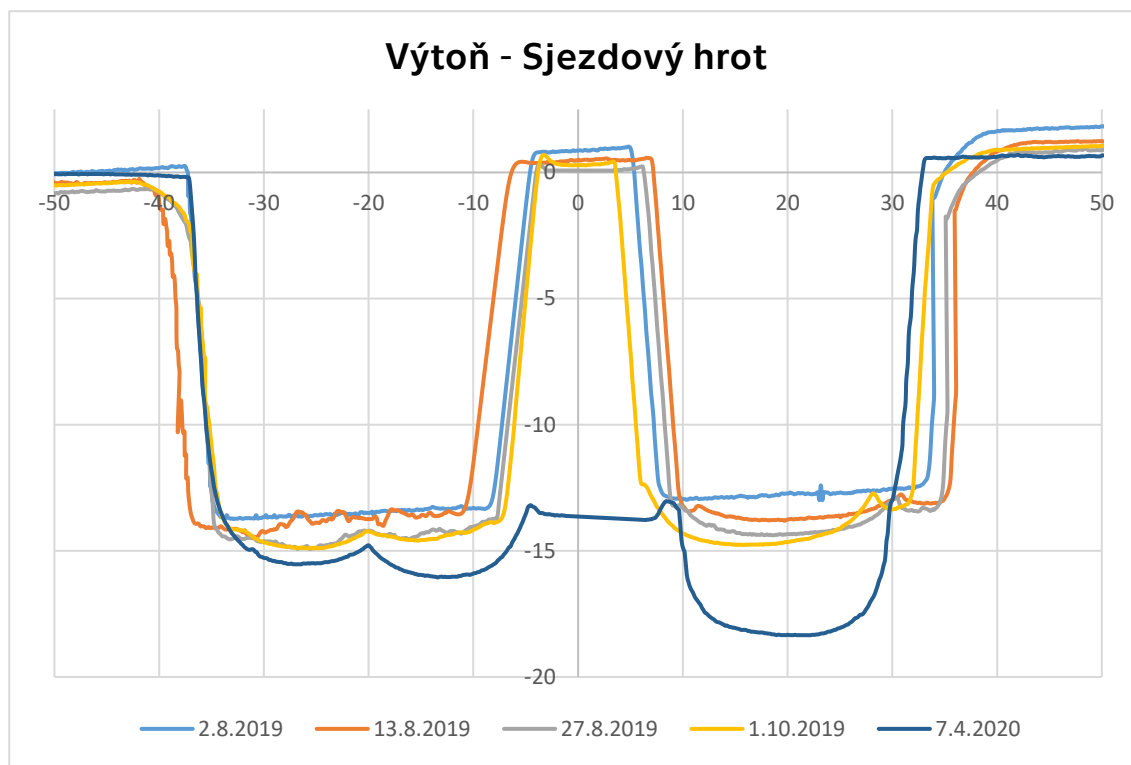
Graf č.2-Spojovací č.2 – profil 2; hodnoty uvedeny v [mm]



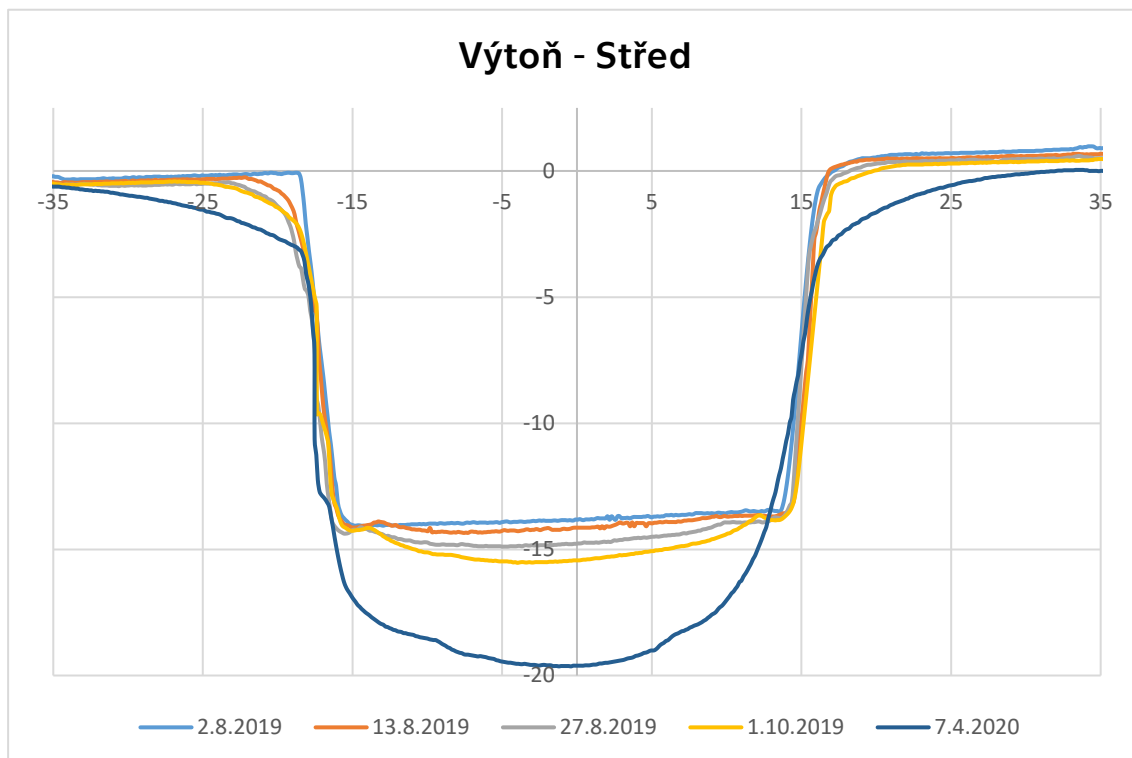
Graf č.3-Spojovací č.2 – profil 3 (rozjezdový hrot); hodnoty uvedeny v [mm]



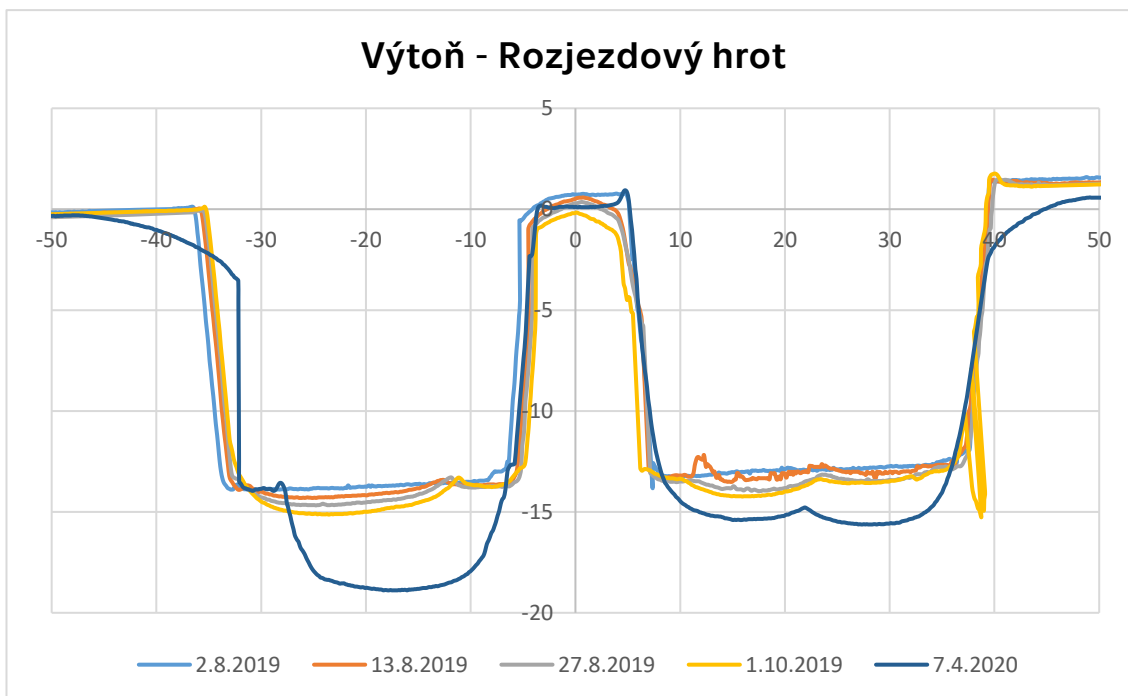
4.3.2 Výtoň



Graf č.4-Výtoň – profil 1 (sjezdový hrot); hodnoty uvedeny v [mm]



Graf č.5-Výtoň – profil 2; hodnoty uvedeny v [mm]



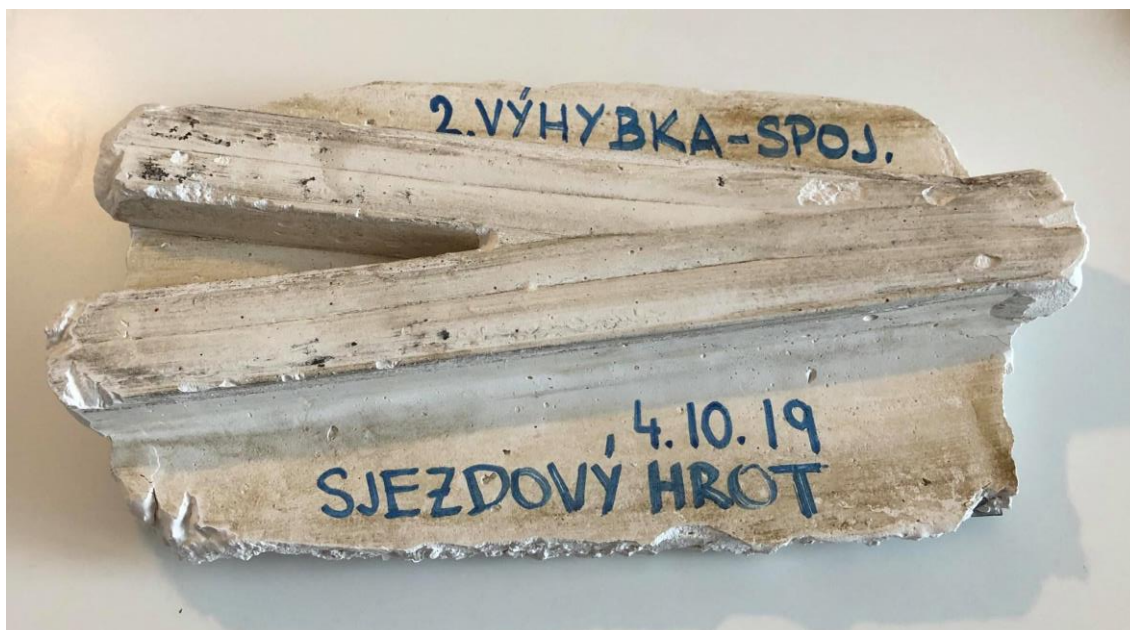
Graf č.6-Výtoň – profil 3 (rozjezdový hrot); hodnoty uvedeny v [mm]



4.4 Ověření naměřených dat

V rámci měření přístrojem Contour II. bylo také provedeno odlévání sádrových odlitků srdcovky Spojovací č.2 (ilustrační odlitek zobrazen viz Obr.30), které slouží k ověření přesnosti naměřených dat.

Sádrové odlitky byly provedeny vždy v bezvýlukovém provozu a neprodleně po měření přístrojem Contour II. Z toho důvodu byla k odlévání vzorků použita rychle tuhnoucí sádra s dalším přidaným urychlovačem tuhnutí. I přes to, že sádra měla čas tuhnutí přibližně 2 min, nebylo možné udělat odlitky srdcovky Výtoň, protože v lokalitě Výtoň tramvaje jezdí v kratších intervalech než v obratišti Spojovací. Navíc v obratišti Spojovací bylo možné zdržet tramvaj ve výstupní zastávce a dokončit tak odlitek bez dalšího narušení provozu.



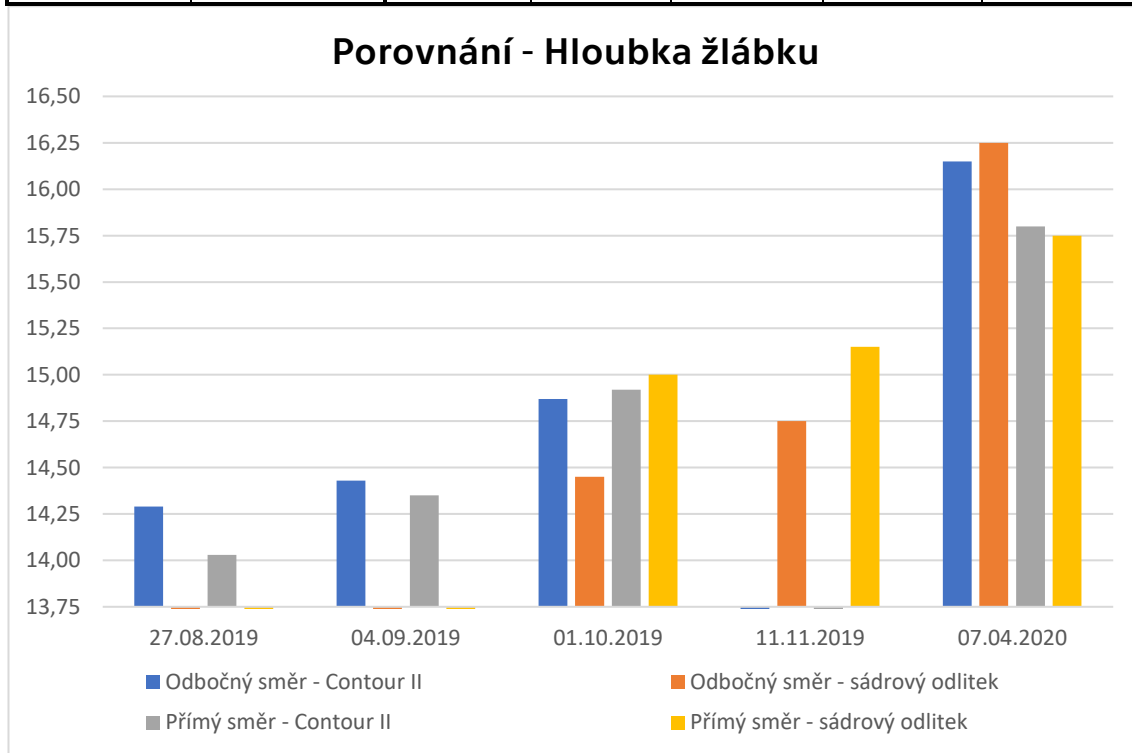
Obr.30-Příklad sádrového odlitku sjezdového hrotu srdcovky Spojovací č.2 odlévaný 4.10.2019

Takto získané sádrové odlitky byly pro prvotní kontrolu změřeny pomocí posuvného měřítka. Tímto způsobem bylo možné změřit pouze hloubku žlábků v daném profilu a také jeho šířku v rovině TK. Pro porovnání přesnosti měření přístroje Contour II a sádrových odlitků, byla vytvořena následující tabulka (Tab.7) s hodnotami hloubek žlábků v přímém a odbočném směru sjezdového hrotu srdcovky Spojovací č.2. Pro lepší názornost byl z těchto hodnot vytvořen také graf (Graf č.7). Z hodnot hloubek žlábků je zřejmé, že největší odchylka mezi daty naměřenými měřicím přístrojem Contour II a daty naměřenými posuvným měřítkem ze sádrové odlitku činí 0,42 mm. Odchyly zjištěné u zbylých srovnávaných dat se pohybuje v rozmezí 0,05-0,10 mm (viz tabulka Tab.7).



Tab.7-Hodnoty hloubek žlábků sledovaného profilu – sjezdový hrot Spojovací č.2. Uvedené hodnoty jsou maximální hodnoty měřené od roviny TK. Všechny hodnoty jsou uvedeny v mm.

POROVNÁNÍ SJEZDOVÝ HROT		Datum měření				
		27.8.19	4.9.19	1.10.19	11.11.19	7.4.20
ODBOČNÝ SMĚR HLOUBKA	Contour II	14,29	14,43	14,87	-	16,15
	Sádrový odlitek	-	-	14,45	14,75	16,25
[mm]	Odchylka	-	-	0,42	-	0,10
PŘÍMÝ SMĚR HLOUBKA	Contour II	14,03	14,35	14,92	-	15,80
	Sádrový odlitek	-	-	15,00	15,15	15,75
[mm]	Odchylka	-	-	0,08	-	0,05

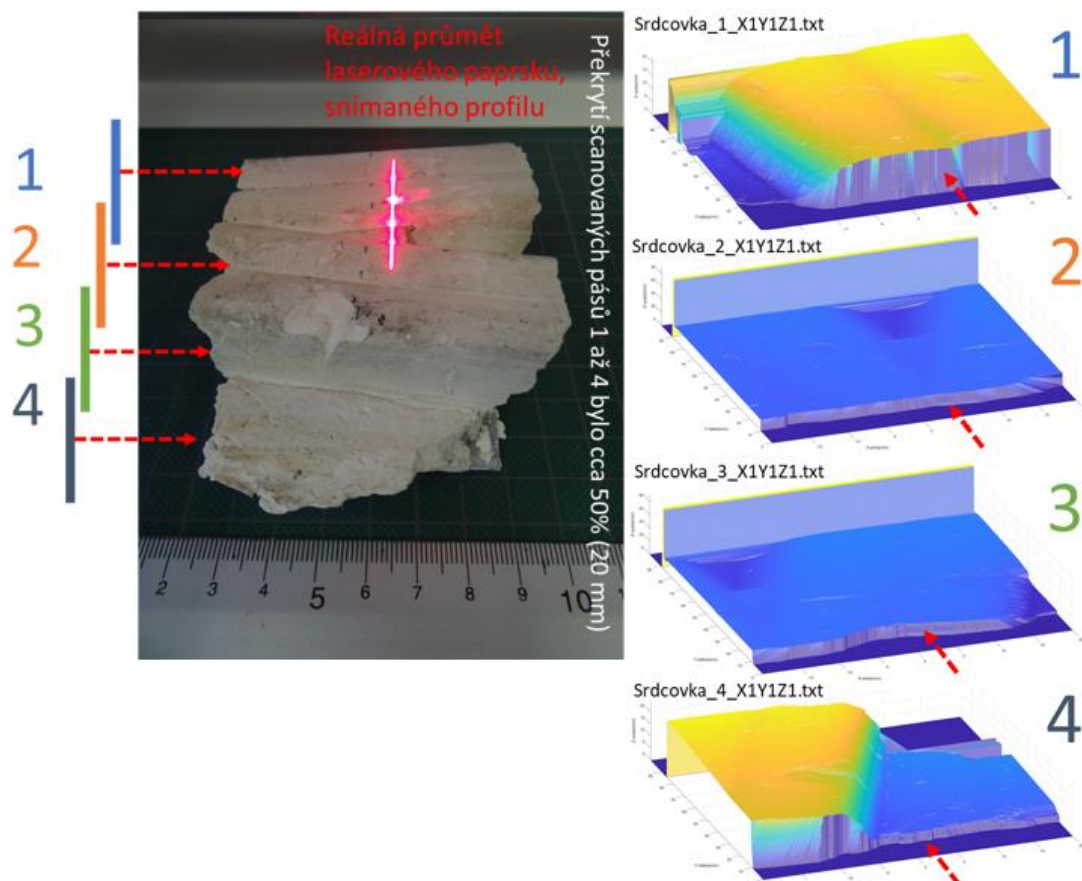


Graf č.7-Graf znázorňující hodnoty hloubek žlábků z tabulky Tab.7; hodnoty uvedeny v [mm]

Jelikož pomocí posuvného měřítka lze ověřit pouze 2 rozměry, byl takto zhotovený odlitek dále skenován. Zkušební vzorek (vzorek zhotovený 9.4.2020, tedy 2 dny po měření přístrojem Contour II, odlitý v místě sledovaného profilu rozjezdového hrotu srdcovky Spojovací č.2) byl naskenován pomocí laserového profilometru ScanControl LLT 2800-25.



Vzhledem k velikosti vzorku byly provedeny 4 skeny tak, aby byla pokryta celá plocha odlitku kolejnice.



Obr.31-V levé části obrázku je znázorněno skenování vzorku. V pravé části obrázku jsou znázorněny jednotlivé skeny.

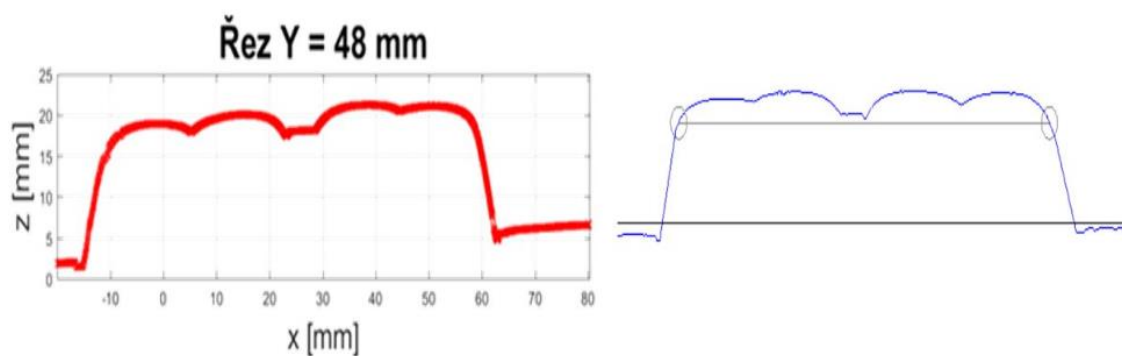
V každém skenu je 1000 profilů. Vzdálenost mezi jednotlivými profily činí 0,1 mm. Počet bodů v jednom profilu činí 1024 a jejich vzájemná vzdálenost činí 0,039 mm. Počet bodů v jednom skenu tak činí více než 1 000 000 bodů. Skenované profily jsou tudíž výrazně podrobnější než profily naměřené přístrojem Contour II, který profily snímá ve vzdálenosti 3,84-5,75 mm a vzdálenost jednotlivých bodů profilu činí 0,13mm.

Jednotlivé skeny byly nejprve oříznuty a nasítovány v softwaru GOM Inspect. Dále byly naskenované plochy spojeny, čímž vznikl sken celé struktury odlitku kolejnice. Výsledné spojení skenů je znázorněno na následujícím obrázku (Obr.32). Následně byly vygenerovány souřadnice sledovaného profilu rozjezdového hrotu srdcovky Spojovací č.2. Vzhledem k množství souřadnic nebylo možné vykreslit příslušný profil tak, aby mohl být porovnán s daty z měření s přístrojem Contour II. Tento problém bude dále řešen v navazujících projektech v tomto roce (Studentská grantová soutěž FSv ČVUT).



Obr.32-Výsledný sken sádrového odlitku

Z tohoto důvodu bylo přistoupeno k náhradnímu postupu porovnání profilů. Graficky byly srovnány výstup z 3D skenování, profil $Y=48$ mm a odpovídající profil vykreslený v programu ContourIII-Eval. Toto porovnání je zobrazeno na následujícím obrázku (Obr.33).



Obr.33-Porovnání 3D sken x ContourIII-Eval. V levé části obrázku je znázorněn profil získaný 3D skenováním. V pravé části obrázku je znázorněn profil získaný z programu ContourIII-Eval.

Z porovnání dat získaných měřicím přístrojem Contour II a dat získaných pomocí posuvného měřítka vyplývá, že měření potvrdilo hloubku žlábků stanovenou přístrojem Contour II. Z porovnání profilů získaných



z 3D skenování a z programu ContourIII-Eval vyplývá, že měření si přibližně odpovídají.

5 Vyhodnocení měření

5.1 Spojovací č.1

Vývoj ojetí a deformace této srdcovky byl hodnocen pouze z fotodokumentace autora této práce. V této srdcovce dochází ke křížení přímých žlábků. Zároveň je pojížděna prázdnými vozy s menší intenzitou provozu, tedy není vystavena takovému zatížení jako srdcovka Výtoň. Z těchto důvodů se předpokládalo pozvolnější a menší ojetí a deformace než u zbývajících srdcovek.

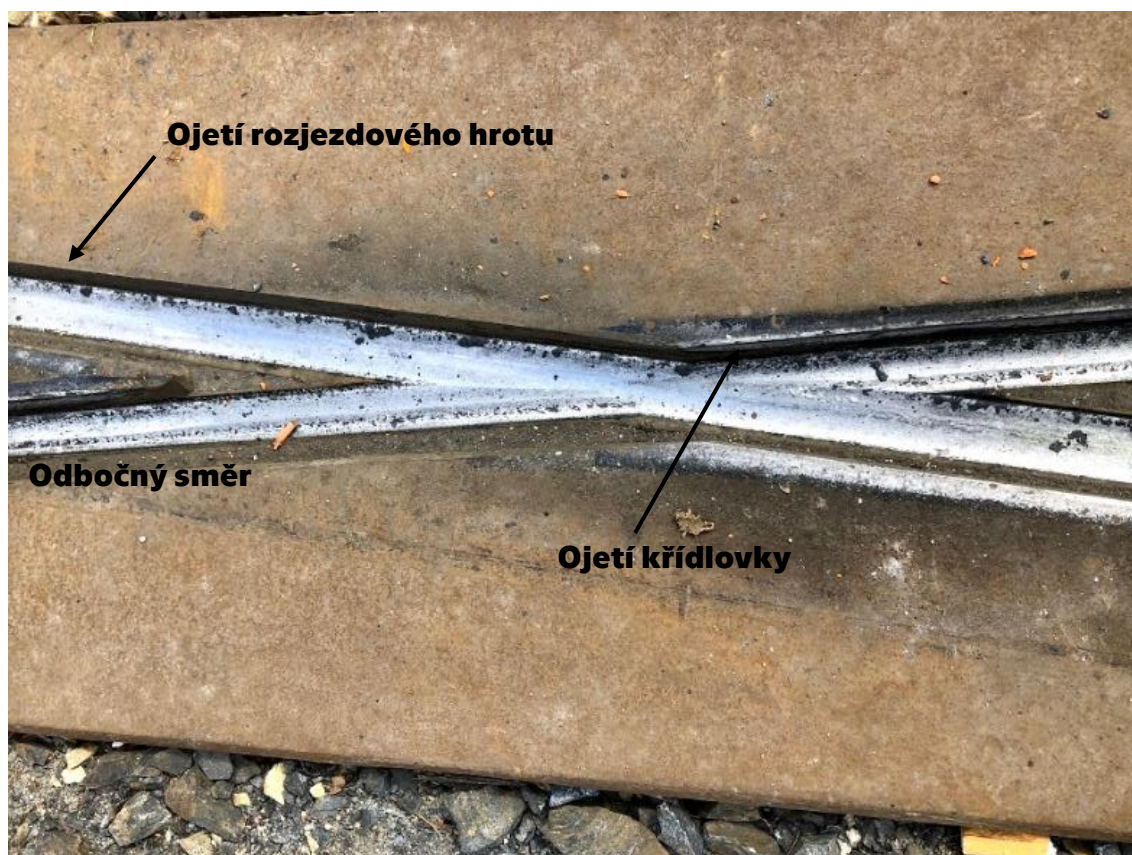
Tato srdcovka byla uvedena do provozu nová během rekonstrukce v srpnu roku 2019. Ačkoliv byla srdcovka nová, již na začátku provozu byla deformována. Tato deformace vznikla vlivem pojíždění kolejbagru, který během rekonstrukce po této srdcovce pojížděl kvůli přepravě materiálu na stavbě. Tyto deformace jsou viditelné na následujícím obrázku (Obr.34). V levé části obrázku je znázorněn náběh žlábků srdcovky. Je zde také znázorněn vytvořený dvojžlábek (viz kapitola 6 Typické vady a deformace – sledované srdcovky), který vznikl vlivem pojíždění kolejbagru. V pravé části obrázku je znázorněn rozjezdový hrot srdcovky. Je zde také viditelné počáteční ojetí dna žlábků převládající v odbočné větvi.



Obr.34-Počáteční stav srdcovky Spojovací č.1 s vyznačeným dvojžlábkem a ojetím dna žlábků



Vlivem dalšího provozu došlo k prohlubování žlábků v přímém směru. Došlo též k dalšímu deformování dna žlábků v odbočném směru. Tyto deformace jsou zobrazeny na obrázku níže (Obr.35). Dále je na obrázku znázorněno ojetí křídelovek u sjezdového hrotu srdcovky. Přičemž srdcovka u odbočného směru je ojetá více než křídelovka v přímém směru. Dále je z obrázku evidentní, že dochází k ojetí rozjezdového hrotu srdcovky, což je také zobrazeno na Obr.36. Dvojžlábek, který vznikl od zatížení kolejbagem, byl vlivem provozního zatížení odstraněn (znázorněno na Obr.36).



Obr.35-Spojovací č.1 – stav srdcovky na konci monitoringu



Obr.36-Spojovací č.1 – rozjezdový hrot a náběh žlábků v odbočném směru – konec monitoringu. V levé části obrázku je zobrazen náběh žlábků v odbočném směru. V pravé části obrázku je zobrazen rozjezdový hrot srdcovky.



V počátečním stavu (konec srpna 2019) byla šířka obou žlábků 27 mm, což je šířka nového žlábků v přímém směru v srdcovce (Obr.12). Na konci monitoringu byla změřena šířka obou žlábků posuvným měřítkem. Šířka žlábků v přímém směru činila na konci monitoringu (začátek května 2020) 28 mm. Ojetí zde činilo 1 mm. Šířka žlábků v odbočném směru činila 29 mm. Ojetí zde činilo 2 mm. Hloubka žlábků ve středu srdcovky v novém stavu činila 14 mm. Na konci monitoringu byla hloubka žlábků 19 mm. Došlo tedy k prohloubení žlábků o 5 mm.



Obr.37-Autor měřící hloubku žlábků – Spojovací č.1

Předpoklad, že tato srdcovka bude ojetá a deformována méně než zbylé dvě srdcovky, byl potvrzen.



5.2 Spojovací č.2

Vývoj ojetí a deformace této srdcovky byl hodnocen na základě dat změřených měřicím přístrojem Contour II. a zároveň na základě fotodokumentace autora této práce. V této srdcovce dochází ke křížení dvou žlábků v oblouku. Z tohoto důvodu se předpokládal rychlejší a razantnější vývoj ojetí a deformace než u srdcovky Spojovací č.1. Tato srdcovka je pojížděna prázdnými vozy, tedy není vystavena takovému zatížení jako srdcovka Výtoň. Proto se předpokládal pozvolnější vývoj ojetí a deformace než u srdcovky Výtoň.

První vyhodnocený profil srdcovky Spojovací č.2 je v oblasti sjezdového hrotu srdcovky. Z grafu znázorňující vývoj ojetí a deformace tohoto profilu (Graf č.1) je viditelné ojetí hrotu srdcovky. Následně je také zřetelné, že v obou žlábcích vzniká dvojžlábek. Dno žlábků je tedy deformováno a materiál z dna je částečně převálcován do vnějších boků žlábků. Tento fakt je viditelný na křivce znázorňující profil změřený 1.10.2019, protože v pravé části grafu je viditelný materiál, který ještě není plně převálcován do boku žlábků. Dále je v tomto grafu znázorněno ojetí hran křídlovek.

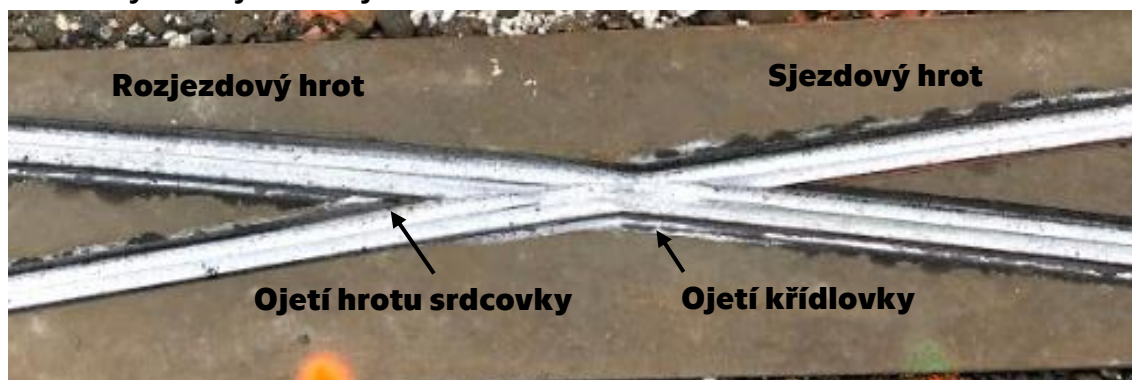
Druhý vyhodnocený profil srdcovky Spojovací č.2 je ve středu srdcovky, tedy v místě, kde je nejužší žlábek srdcovky. Z grafu znázorňující vývoj ojetí a deformace tohoto profilu (Graf č.2) je viditelné ojetí hran křídlovek. I v tomto profilu došlo ke vzniku dvojžlábků, který se vlivem provozu dále prohluboval. Graf také znázorňuje křivku zobrazující profil naměřený 27.8.2019, tedy nový stav tohoto profilu. Z této křivky je patrné, že došlo během stavby k uražení boku žlábků (znázorněno na obrázku Obr.38). Tato vada byla vlivem zatížení odstraněna, protože došlo k převálcování materiálu ze spodní části boku, kde došlo k ojetí, do horní části boku.

Třetí vyhodnocený profil srdcovky Spojovací č.2 je v oblasti rozjezdového hrotu srdcovky. Z grafu znázorňující vývoj ojetí a deformace tohoto profilu (Graf č.3) je opět viditelný vznik dvojžlábků a následné částečné převálcování materiálu z dna žlábků do vnějších boků žlábků – tedy obdobná deformace jako u profilu v oblasti sjezdového hrotu. Největší rozdíl v deformacích profilů v oblasti sjezdového a rozjezdového hrotu je právě v ojetí hrotů. Oba hroty byly viditelně ojety, nicméně u rozjezdového hrotu došlo k jeho uražení. V místě hrotů se vytvořila následně prohlubeň, čímž zanikly zmíněné dvojžlábků. Tímto způsobem v tomto profilu vznikl de facto jeden široký žlábek. Další rozdíl oproti sjezdovému hrotu této srdcovky je v ojetí křídlovek, které zde není tak patrné jako u profilu 1.



Obr.38-Střed srdcovky Spojovací č.2 s uraženým hrotem křídlovky

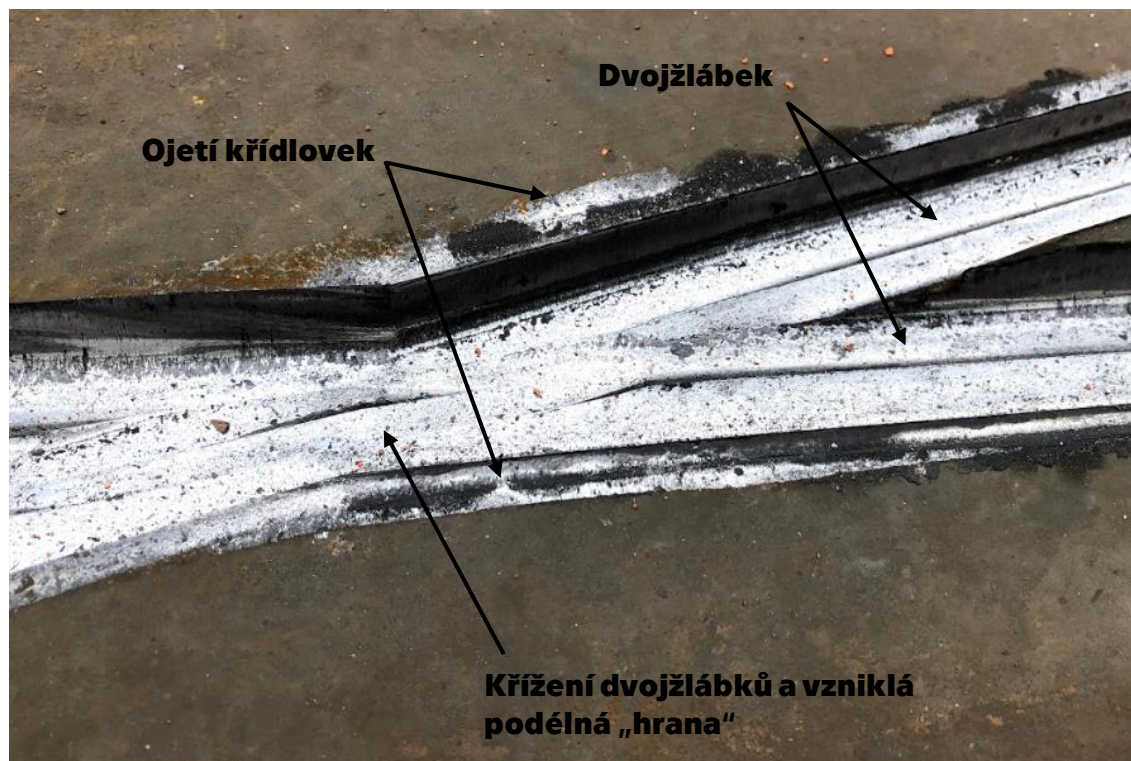
Všechny výše zmíněné deformace a ojetí jsou zobrazeny na následujícím obrázku (Obr.39). Na tomto obrázku je také viditelné křížení vzniklých dvojžlábků ve středu srdcovky, čímž vzniká uprostřed srdcovky podélná „hrana“ (detail zobrazen na obrázku Obr.40). Patrné je také ojetí míst, která jsou pojížděna kolem. To znamená, že v oblasti sjezdového hrotu jsou ojeté hrany křídlovek a v oblasti rozjezdového hrotu je ojet hrot a plocha srdcovky na něj navazující.



Obr.39-Srdcovka Spojovací č.2 – stav na konci monitoringu (začátek května 2020). V pravé části obrázku je sjezdový hrot srdcovky. V levé části obrázku je rozjezdový hrot srdcovky.



Následující obrázek zobrazuje detail srdcovky Spojovací č.2 (Obr.40).

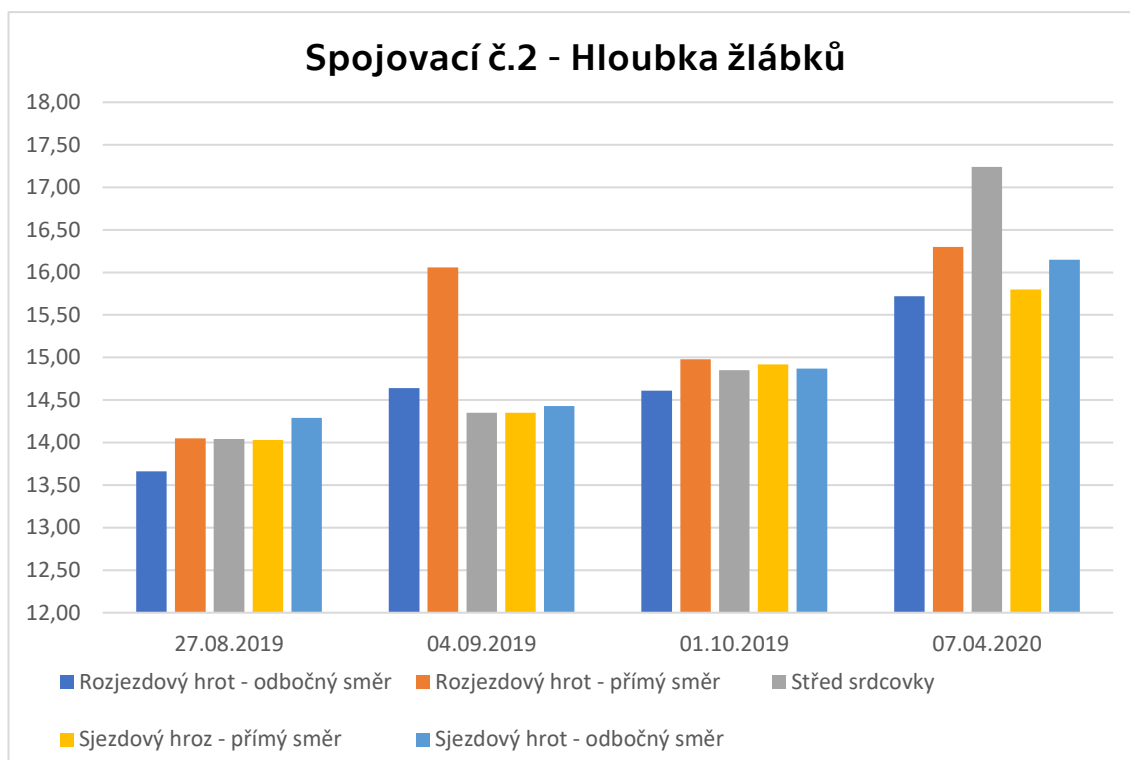


Obr.40-Detail středu srdcovky Spojovací č.2 na konci monitoringu (začátek května 2020). V pravé části obrázku je zachycen sjezdový hrot srdcovky.

Během provozu této srdcovky dochází k prohlubování žlábků. To je znázorněno v následujícím grafu (Graf č.8). V tomto grafu jsou znázorněny hloubky všech žlábků všech sledovaných profilů v průběhu času. Hodnoty hloubek jsou uvedeny v následující tabulce (Tab.8).

Tab.8-Hodnoty hloubek žlábků uvedené v mm – Spojovací č.2

ROZJEZDOVÝ HROT		Datum měření			
		27.8.19	4.9.19	1.10.19	7.4.20
Žlábek – hloubka [mm]	Odbočný směr	13,66	14,64	14,61	15,72
	Přímý směr	14,05	16,06	14,98	16,30
STŘED		Datum měření			
		27.8.19	4.9.19	1.10.19	7.4.20
Žlábek – hloubka [mm]		14,04	14,35	14,85	17,24
SJEZDOVÝ HROT		Datum měření			
		27.8.19	4.9.19	1.10.19	7.4.20
Žlábek – hloubka [mm]	Přímý směr	14,03	14,35	14,92	15,80
	Odbočný směr	14,29	14,43	14,87	16,15



Graf č.8-Grafické znázornění hloubek žlábků v jednotlivých profilech. Všechny hodnoty jsou uvedeny v mm.

5.3 Výtoň

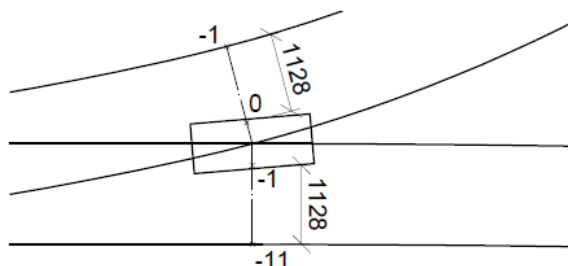
Vývoj ojetí a deformace této srdcovky byl hodnocen na základě dat změřených měřicím přístrojem Contour II. a zároveň na základě fotodokumentace autora této práce. V této srdcovce dochází ke křížení přímého žlábků a žlábků v oblouku. Zároveň je tato srdcovka umístěna v lokalitě s frekventovaným provozem a je pojížděna tramvajemi obsazenými cestujícími. Z toho vyplývá, že je vystavena největšímu zatížení ze sledovaných srdcovek. Proto se předpokládá největší a nejrychlejší vývoj ojetí a deformací.

Během vyhodnocování naměřených dat srdcovky „Výtoň“ bylo zjištěno, že jednotlivé profily jsou natočeny vůči rovině spojnic temen hlav kolejnicových pásů. Při podrobnějším zkoumání dat bylo zjištěno, že jedna křídlovka je vždy níže než protilehlá křídlovka. Z toho důvodu byla provedena nivelace křižovatky Rašínovo nábřeží – Svobodova se zaměřením na oblast sledované srdcovky. Domněnka, že je srdcovka natočena a protilehlé protikolejnice nejsou ve stejné rovině, se nivelací

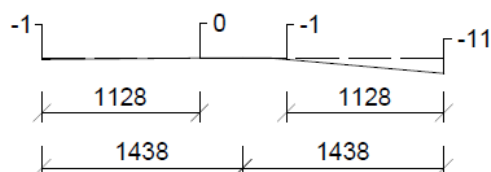


potvrdila (znázorněno na obrázku Obr.41). Srdcovka je takto natočena pravděpodobně kvůli odvodnění.

PŮDORYSNÉ SCHÉMA - SRDCOVKA VÝTOŇ:



PŘÍČNÝ ŘEZ



Obr.41-Výškové řešení srdcovky „Výtoň“. Bod s výškovou souřadnicí „0“ se nachází na okraji levé křídlovky ve směru jízdy. Bod s výškovou souřadnicí „-11“ se nachází na temeni protikolejnice blíže k Vltavě.

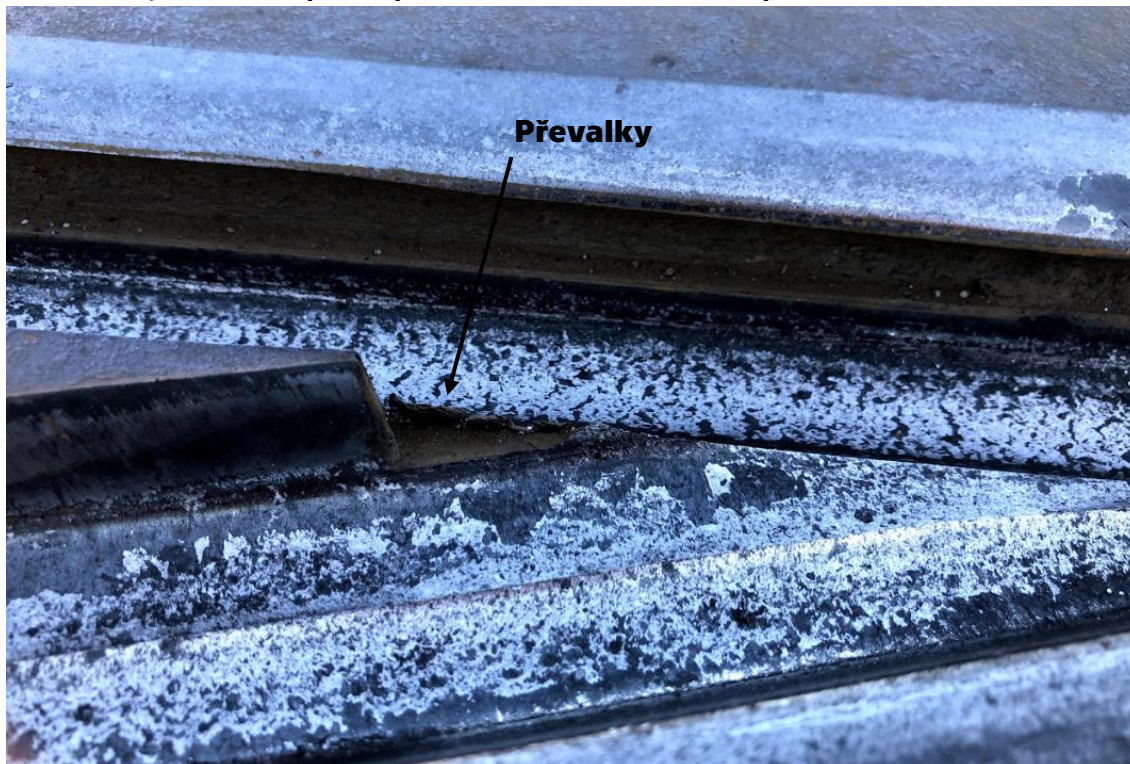


Obr.42-Autor spolu s vedoucím BP Ing. Ondřejem Bretem během nivelace křižovatky Rašínovo nábřeží – Svobodova

První vyhodnocený profil srdcovky „Výtoň“ je v oblasti sjezdového hrotu srdcovky. Z grafu znázorňující ojetí a deformace tohoto profilu (Graf č.4) je viditelné ojetí hrotu srdcovky. Během provozu došlo vlivem dynamického zatížení k uražení sjezdového hrotu srdcovky (znázorněno na obrázku Obr.43). Následně je také zřetelné, že ve žlábků v odbočné větvi (tedy ve žlábků v oblouku) došlo ke vzniku dvojžlábků, který se dále prohluboval vlivem zatížení. Dno žlábků je tedy deformováno a materiál ze dna je částečně převálcován do vnějších boků žlábků. To se také projevuje v křivce znázorňující tento profil z měření 7.4.2020. V oblasti uraženého hrotu



dochází ke vzniku převalků. Dále je v tomto grafu znázorněno ojetí hran křídlovek, které ale postupem času zaniká vlivem převálcování materiálu.



Obr.43-Uražený sjezdový hrot srdcovky Výtoň se vzniklými převalky v oblasti uraženého hrotu

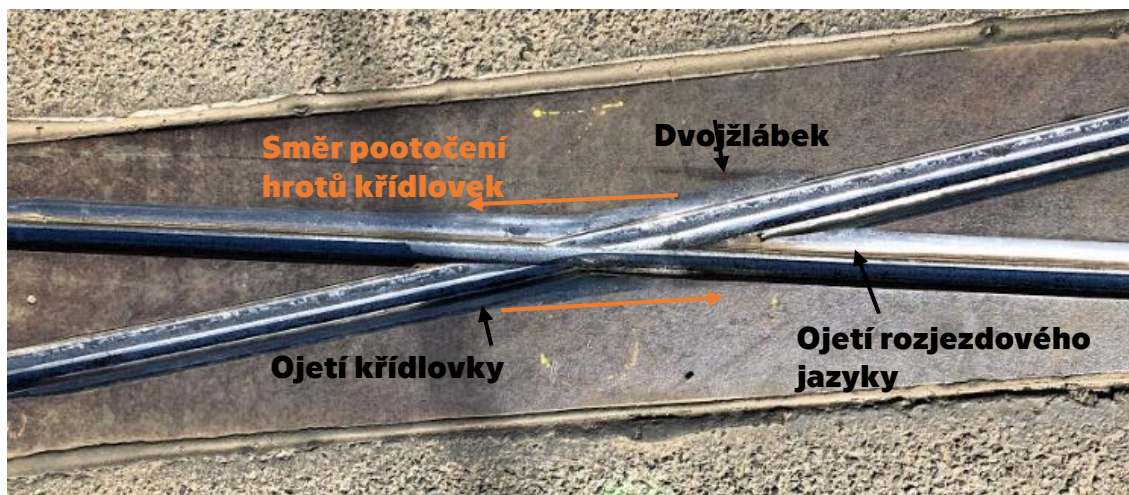
Druhý vyhodnocený profil srdcovky „Výtoň“ je ve středu srdcovky, tedy v místě, kde je nejužší žlábek srdcovky. Z grafu znázorňující vývoj ojetí a deformace tohoto profilu (Graf č.5) je viditelné značné ojetí hran křídlovek. V tomto profilu nevzniká dvojžlábek, ale dochází k ojetí žlábků.

Třetí vyhodnocený profil srdcovky „Výtoň“ je v oblasti rozjezdového hrotu srdcovky. Z grafu znázorňující vývoj ojetí a deformace tohoto profilu (Graf č.6) je viditelný vznik dvojžlábků ve žlábků v odbočné větvi (na grafu Graf č.6 znázorněn vpravo). Ve žlábků v přímém směru je opět zobrazeno ojetí žlábků. Ve žlábků v odbočné větvi je také viditelné převálcování materiálu ze dna žlábků. To je očividné především na křivce znázorňující profil změřený 7.4.2020 – na pravé hraně hrotu v horní části vzniká převalek. Dále je převálcování materiálu patrné na křivce znázorňující profil změřený 1.10.2019. V pravé části grafu je viditelný materiál, který ještě není plně převálcován do boku žlábků. Dále je v tomto grafu znázorněno ojetí hran křídlovek.

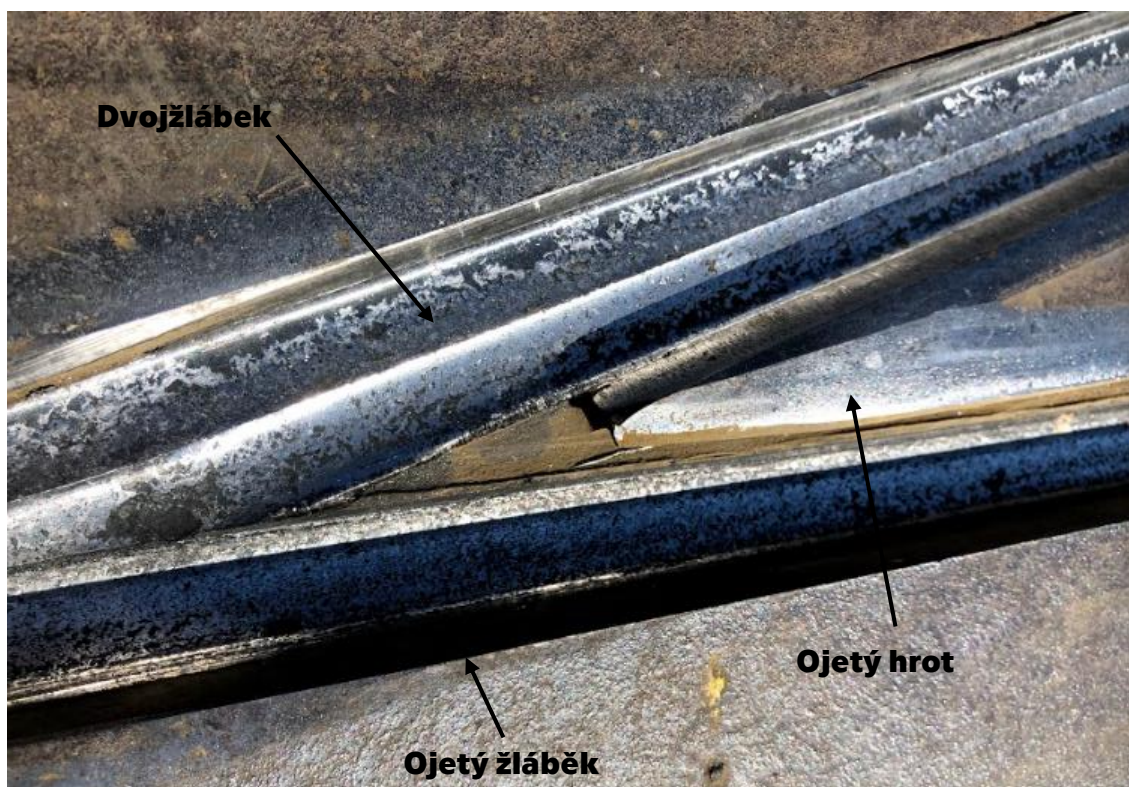
Všechny výše zmíněné deformace a ojetí jsou zobrazeny na následujícím obrázku (Obr.44). Na tomto obrázku je také patrné křížení vzniklého



dvojžlábků s ojetým žlábkem ve středu srdcovky. Patrné je také ojetí míst, která jsou pojížděna kolem. To znamená, že v oblasti sjezdového hrotu jsou ojeté hrany křídelovek a v oblasti rozjezdového hrotu je ojetý hrot a plocha srdcovky na něj navazující (znázorněno viz Obr.45). Z obrázku je také patrné, že vzhledem k původnímu stavu srdcovky (zobrazeno na obrázku Obr.29) dochází k pootočení hrotů křídelovek.



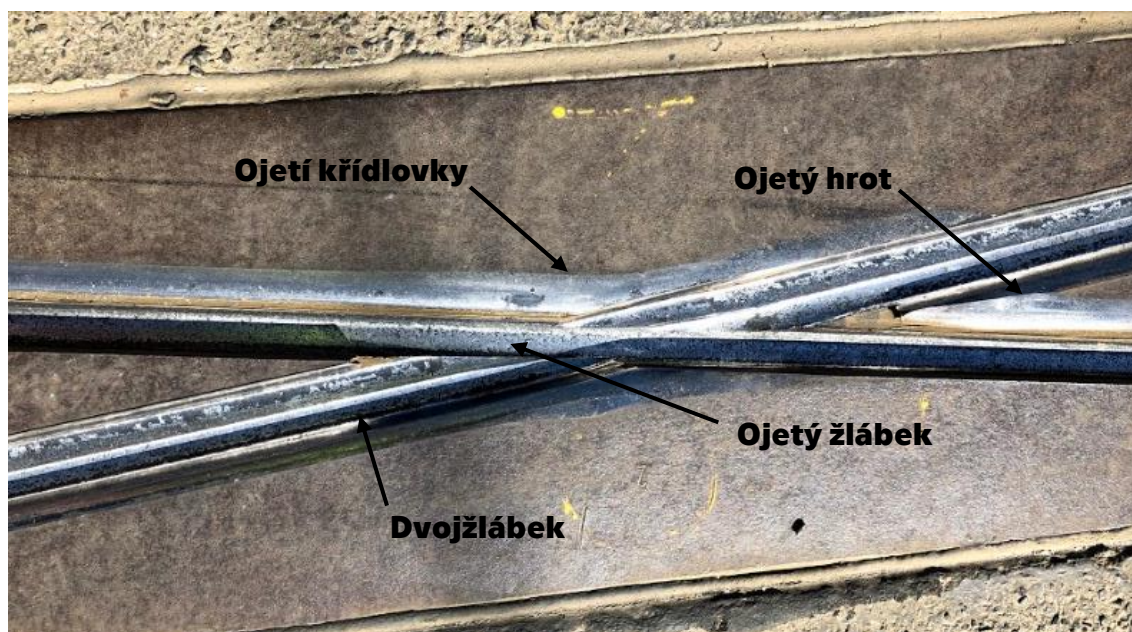
Obr.44-Srdcovka Výtoň – stav na konci monitoringu (začátek května 2020). V pravé části obrázku je rozjezdový hrot srdcovky. V levé části obrázku je sjezdový hrot srdcovky.



Obr.45-Rozjezdový hrot srdcovky Výtoň na konci monitoringu (začátek května 2020)



Následující obrázek znázorňuje detail středu srdcovky Výtoň (Obr.46).

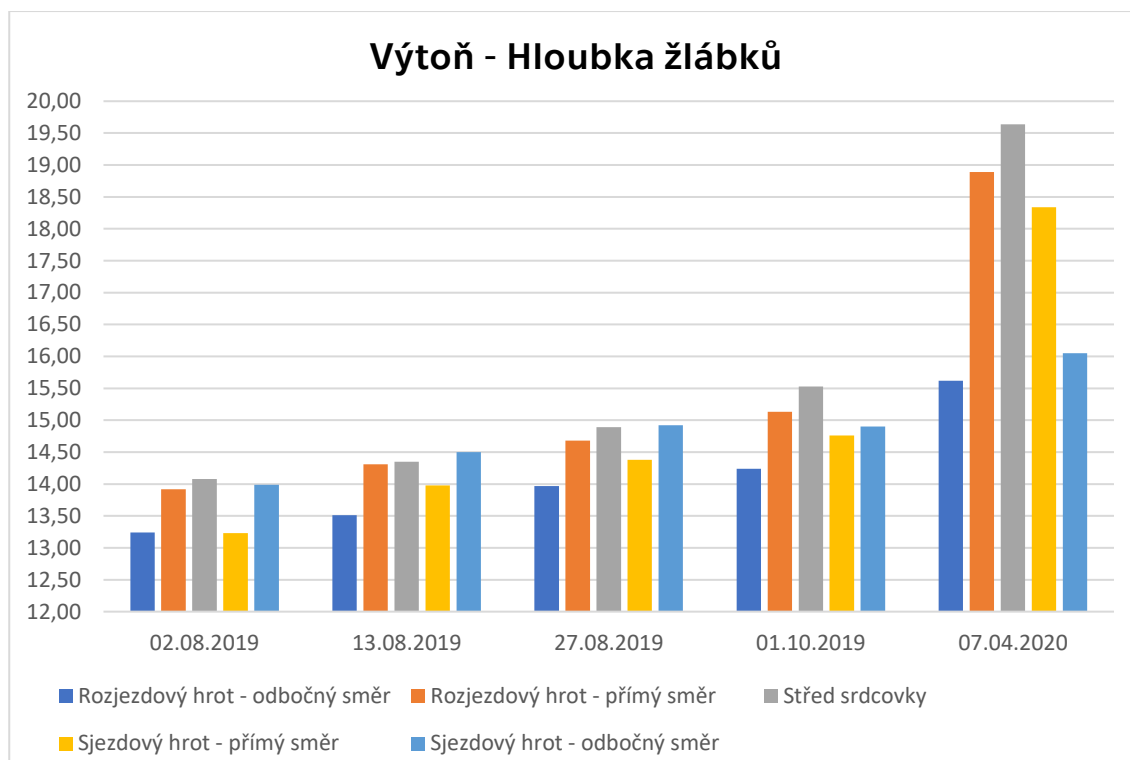


Obr.46- Detail středu srdcovky Výtoň na konci monitoringu (začátek května 2020). V pravé části obrázku je zachycen rozjezdový hrot srdcovky. V levé části obrázku je zachycen sjezdový hrot srdcovky.

Během provozu této srdcovky dochází k prohlubování žlábků. V následujícím grafu (Graf č.9) jsou znázorněny hloubky všech žlábků všech sledovaných profilů v průběhu času. Hodnoty hloubek jsou uvedeny v následující tabulce (Tab.9).

Tab.9-Hodnoty hloubek žlábků uvedené v mm – Výtoň

ROZJEZDOVÝ HROT		Datum měření				
		2.8.19	13.8.19	27.8.19	1.10.19	7.4.20
Žlábek – hloubka [mm]	Odbočný směr	13,24	13,51	13,97	14,24	15,62
	Přímý směr	13,92	14,31	14,68	15,13	18,89
STŘED		Datum měření				
		2.8.19	13.8.19	27.8.19	1.10.19	7.4.20
Žlábek – hloubka [mm]		14,08	14,35	14,89	15,53	19,64
SJEZDOVÝ HROT		Datum měření				
		2.8.19	13.8.19	27.8.19	1.10.19	7.4.20
Žlábek – hloubka [mm]	Přímý směr	13,23	13,98	14,38	14,76	18,34
	Odbočný směr	13,99	14,50	14,92	14,90	16,05



Graf č.9-Grafické znázornění hloubek žlábků v jednotlivých profilech. Všechny hodnoty jsou uvedeny v mm.

6 Typické vady a deformace – sledované srdcovky

V rámci vyhodnocení dat byly zjištěny charakteristické vady a deformace vzniklé na srdcovkách. V následujících kapitolách jsou jednotlivé vady a deformace sledovaných srdcovek popsány, a to i v souvislosti s geometrií srdcovek a zatížením srdcovek, což jsou dva stěžejní vlivy.

6.1 Dvojžlábek

Dvojžlábek je deformace žlábků, která vzniká vlivem pojíždění dna žlábků okolkem. Vlivem tohoto zatížení vzniká zhruba ve středu žlábků podélná hrana, kterou je dno žlábků rozděleno na dvě části. Materiál dna žlábků se jednak hutní, ale také dochází k jeho vytlačování. Na následujícím obrázku je dvojžlábek zobrazen (Obr.47).



Obr.47-Dvojžlábek

Tato deformace vzniká zpravidla ve žlábcích v obloukovém směru. Přičemž platí, že čím menší poloměr oblouku, tím se dvojžlábek rozvíjí rychleji a razantněji. Vliv zatížení není u této deformace stěžejní, na rozdíl od geometrie srdcovky. Důkazem může být následující obrázek (Obr.48), který zobrazuje dvojžlábek vytvořený v srdcovce Výtoň a Spojovací č.2. Poloměry oblouků, ve kterých se žlábký nacházejí, jsou podobné (Spojovací č.2 – poloměr koleje činí 24,000 m; Výtoň – poloměr koleje činí 23,035 m). Nicméně z tabulek uvádějících zatížení jednotlivých srdcovek vyplývá, že srdcovka Výtoň je vystavena většímu zatížení než srdcovka Spojovací č.2. Kromě velikosti zatížení, se liší také četnost zatížení – Výtoň je vystavena zatížení častěji. I přes to je z obrázku viditelné, že velikost dvojžlábků je obdobná.



Obr.48-Dvojžlábek vytvořený v srdcovce Výtoň (v levé části obrázku) a Spojovací č.2 (v pravé části obrázku)



6.2 Ojetí žlábků

Ojetí žlábků je vada žlábků, která vzniká vlivem pojíždění dna žlábků okolkem. Vlivem tohoto zatížení dochází k prohlubování žlábků. Materiál ze dna žlábků je jednak hutněn, ale také je částečně vytlačován. Na následujícím obrázku je zobrazeno ojetí žlábků (Obr.49).



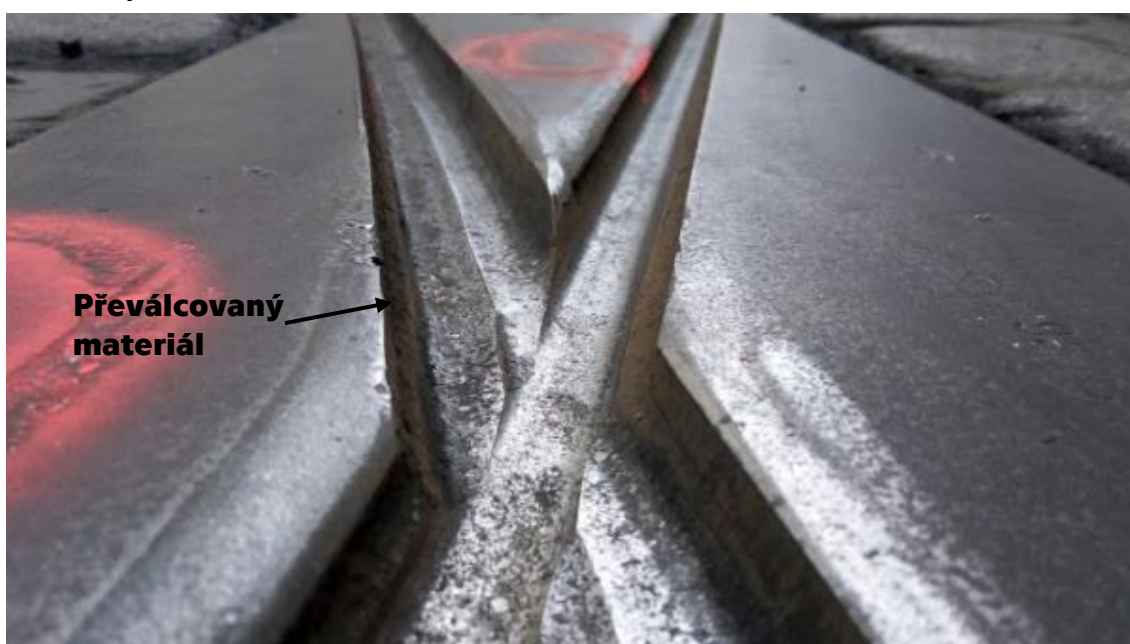
Obr.49-Ojetí žlábků

Tato vada vzniká zpravidla ve žlábcích v přímém směru. Přičemž platí, že při větším a také četnějším zatížení se ojetí žlábků rozvíjí rychleji a razantněji.



6.3 Převálcování materiálu ze dna žlábků

Tato deformace vzniká v důsledku vytvoření dvojžlábků nebo při ojetí žlábků. Při vzniku dvojžlábků (analogicky u ojetí žlábků) dochází k hutnění materiálu dna žlábků a také k jeho částečnému vytlačování. Následně je tento materiál vlivem provozu převálcován do boků žlábků, čímž se žlábek zužuje. To je patrné z grafů znázorňujících vývoj deformace a ojetí sledovaných profilů, ale také z fotodokumentace autora této práce. Pokud není materiál plně převálcován, u boků žlábků jsou vytvořeny dlouhé podélné špony, které se buď plně převálcují do boku žlábků, nebo se odštípou a materiál se tak odstraní.



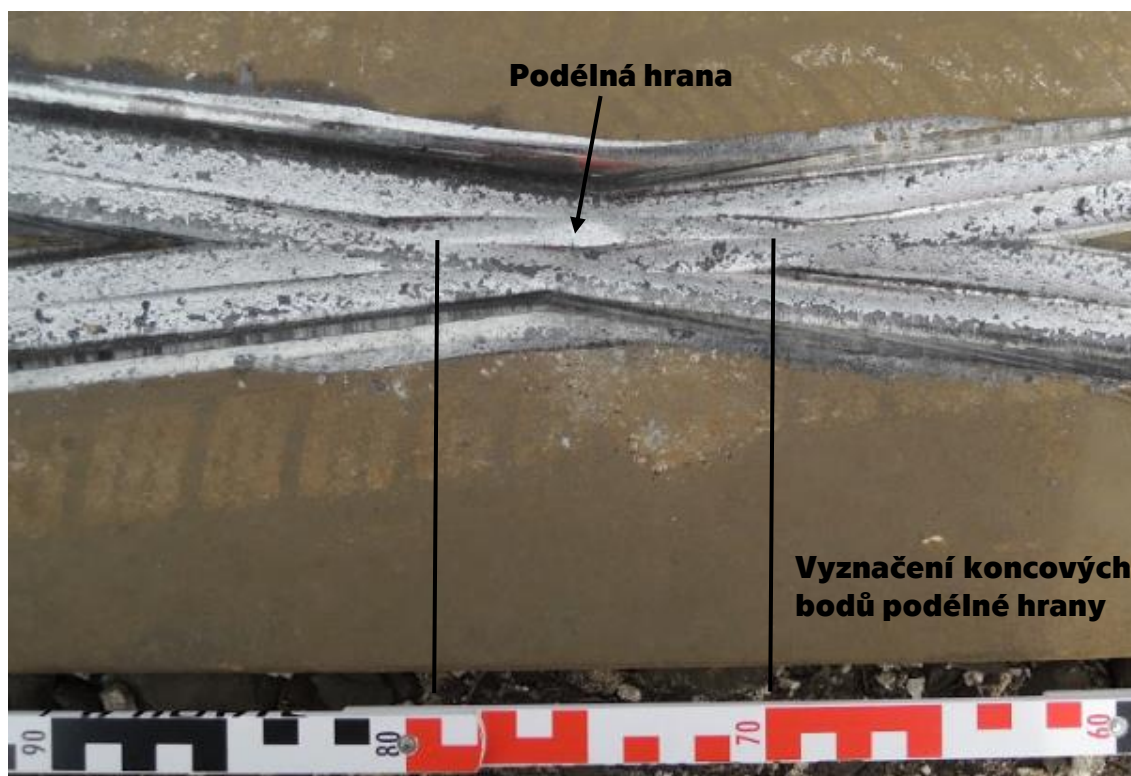
Obr.50-Převálcování materiálu z dna dvojžlábků do boků žlábků

Tato deformace tedy vzniká jak ve žlábcích v přímém směru (vlivem ojetí žlábků), tak ve žlábcích v oblouku (vlivem vzniku dvojžlábků). Také je tato deformace závislá na zatížení, a to primárně v přímém směru.

6.4 Křížení dvojžlábků ve středu srdcovky

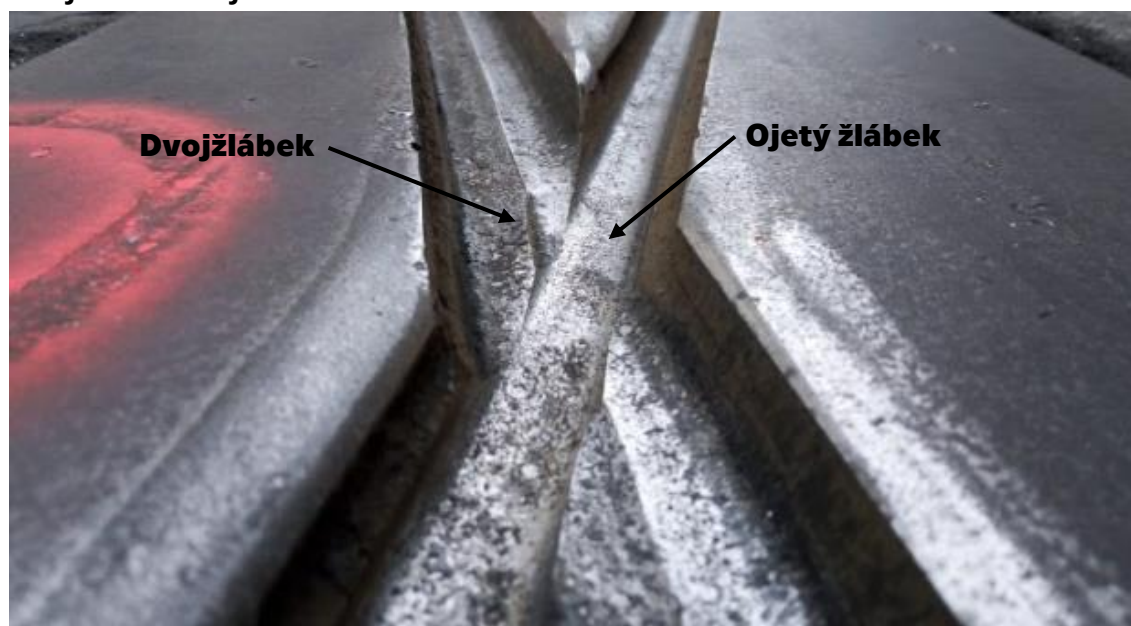
Vzhledem k tomu, že mělké srdcovky jsou pojížděny okolkem kola, dochází ke vzniku dvojžlábků nebo k ojetí žlábků. Tyto vady vytvářejí následně viditelnou jízdní dráhu okolku, která se zpravidla postupem času zvyrazňuje. V místě křížení žlábků (tedy ve středu srdcovky) dochází i ke křížení těchto vzniklých drah.

Pokud dochází ke křížení dvou žlábků v oblouku, dochází ve středu srdcovky ke křížení dvojžlábků. V místě křížení je poté vytvořena podélná hrana o délce až 10 cm. Na následujícím obrázku (Obr.51) je znázorněn detail středu srdcovky, ve které dochází ke křížení dvojžlábků. Uprostřed srdcovky je viditelná podélná hrana o délce přibližně 9 cm.



Obr.51-Křížení dvojžlábků ve středu srdcovky

Pokud dochází ke křížení žlábků v oblouku a žlábků v přímém směru, dochází ke křížení dvojžlábků a ojetého žlábků. V místě křížení je dominantní ojetí žlábků a dvojžlábků je zde přerušeno. Na následujícím obrázku (Obr.52) je znázorněn detail srdcovky, ve které dochází ke křížení dvojžlábků a ojetého žlábků.



Obr.52-Křížení dvojžlábků a ojetého žlábků



6.5 Ojetí hrotů srdcovky

Při přejezdu kola přes mělkou srdcovku dochází k pojíždění srdcovky okolkem v místě, kde jsou přerušeny roviny temen kolejnic. V místě rozjezdového hrotu srdcovky dochází k přechodu jízdy kola z okolku, a tedy po dně žlábků, a na jízdu po jízdnicí ploše, a tedy po temeni kolejnice. Tento přechod způsobuje dynamické rázy v oblasti hrotů srdcovky a dochází tedy k jejich ojetí (znázorněno na obrázku Obr.53). Zpravidla je ojetí primárně rozjezdový hrot srdcovky.



Obr.53-Ojetí hrotů srdcovky. Šířka ojetí měřená posuvným měřítkem činí přibližně 19 mm.

Na tuto deformaci má především vliv zatížení od provozu a konkrétně jeho velikost a četnost. Na následujícím obrázku (Obr.54) jsou zobrazeny rozjezdové hroty srdcovek Spojovací č.2 a Výtoň. Z obrázku je patrné, že hrot srdcovky Výtoň je ojetý více než hrot srdcovky Spojovací č.2. Srdcovka Výtoň je vystavena většímu zatížení s větší frekvencí provozu.



Obr.54-Rozjezdové hroty srdcovek Výtoň (v pravé části obrázku) a Spojovací č.2 (v levé části obrázku)

Vlivem dynamických rázů může také dojít k uražení hrotu. Na následující obrázku (Obr.55) je zobrazen uražený hrot srdcovky. Kolem obrysu původního hrotu srdcovky dochází dále ke vzniků převalků.



Obr.55-Uražený hrot srdcovky

6.6 Ojetí křídlovek

V místě, kde dochází k pojíždění srdcovky jízdni plochou kola, dochází k ojíždění srdcovky. Toto ojetí vzniká i v místě křídlovek srdcovky, zpravidla v oblasti sjezdového hrotu. Hrany srdcovky jsou v průběhu času zaoblovány. Největší ojetí křídlovky a zaoblení jejích hran je v oblasti středu srdcovky. Na následujícím obrázku (Obr.56) je znázorněno ojetí křídlovek.



Obr.56-Ojetí křídlovek

Vlivem tohoto ojetí dochází také ke vzájemnému pootočení hrotů křídlovky. Dle sledovaných srdcovek dochází k posunu pravého hrotu křídlovky (ve směru jízdy) dále po směru jízdy. Levý hrot křídlovky (ve směru jízdy) je posunut nepatrně proti směru jízdy. Toto pootočení je již zobrazeno viz Obr.44.

Na následujícím obrázku jsou zobrazeny křídlovky všech sledovaných srdcovek. Zleva jsou zobrazeny srdcovky: Výtoň, Spojovací č.2, Spojovací č.1. Z obrázku je evidentní, že křídlovky srdcovky Výtoň jsou ojety nejvíce. Následně jsou nejvíce ojety křídlovky srdcovky Spojovací č.2. Nejméně ojety jsou křídlovky srdcovky Spojovací č.1. Z tohoto porovnání plyne, že nejstěžejnější vliv na ojetí křídlovek má geometrie srdcovek. To se projevuje v lokalitě Spojovací. Srdcovka Spojovací č.1 je vystavena většímu zatížení než srdcovka Spojovací č.2 a i přes tento fakt je ojeta méně než srdcovka Spojovací č.2. V srdcovce Spojovací č.1 dochází ke křížení přímých žlábků. V srdcovce Spojovací č.2 dochází ke křížení dvou žlábků v oblouku. Vliv zatížení je patrný z porovnání srdcovek Výtoň a Spojovací č.2. Tyto srdcovky mají podobnou geometrii (Spojovací č.2 – 2 žlábků v oblouku, Výtoň – přímý žlábek a žlábek v oblouku), ale křídlovky srdcovky Výtoň jsou ojety více. Také z tohoto porovnání vyplývá, že čím je menší poloměr oblouku, ve kterém se žlábek nachází, tím větší ojetí křídlovek vzniká.



Obr.57-Zleva srdcovky: Výtoň, Spojovací č.2, Spojovací č.1



7 Závěr

V rešeršní části práce jsou vymezeny hlavní rozdíly mezi tramvajovými a železničními výhybkami, sjednoceno používané názvosloví a popsány možnosti využití mělkých a hlubokých srdcovek a jejich rozdíly.

Praktická část se zaměřuje na hodnocení stavu vybraných tramvajových srdcovek v síti DPP.

Bylo provedeno celkem 9 měření příčných profilů žlábků měřicím přístrojem Contour II ve dvou zvolených lokalitách. V těchto lokalitách byly sledovány celkem 3 srdcovky, každá s odlišnou geometrií, které byly sledovány vždy od jejich uvedení do provozu (srpen 2019). Na srdcovkách byly vyhodnoceny deformace a ojetí v celkem 6 profilech.

Pro ověření správnosti naměřených dat pomocí přístroje Contour II bylo provedeno celkem 5x odlévání sádrových odlitků srdcovky v jejích významných místech (hroty srdcovky). Tyto odlitky byly následně přeměřeny posuvným měřítkem a skenovány 3D skenerem. Data z těchto kontrolních metod měření byla porovnána s daty z přístroje Contour II. Toto porovnání prokázalo shodnost výstupů z přístroje Contour II s kontrolními metodami měření.

Z naměřených dat přístrojem Contour II byla zpracována grafická srovnání příčných profilů, která znázorňují vývoj ojetí a deformace v průběhu času. Zpracování modelu předpovídající vývoj ojetí a deformace nebylo v rámci této práce možné dokončit, protože došlo k porušení dat 2 po sobě jdoucích měření. Porušení těchto dat způsobilo absenci hodnot z měření za období 4 měsíců.

Při vyhodnocení naměřených dat došlo k několika nejasnostem. Příkladem může být natočení srdcovky Výtoň vůči rovině koleje, které bylo potvrzeno následnou nivelací a odůvodněno odvodněním křižovatky. Všechny tyto nejasnosti i jejich příčiny a vysvětlení byly v práci popsány.

Na základě porovnání sledovaných profilů lze konstatovat, že na ojetí a deformace mají vlivy zejména tyto činitele:

- geometrie srdcovek,
- zatížení srdcovek.

Konkrétně bylo zjištěno, že vliv geometrie srdcovky na její ojetí a deformaci je významnější než vliv jejího zatížení. To má zpravidla vliv na rychlost a velikost ojetí a vzniklých deformací.

V práci jsou shrnuty deformace a ojetí vzniklé ve sledovaných srdcovkách. Toto shrnutí je doplněno i fotodokumentací. Zároveň byly popsány vady



srdcovek a příčiny jejich vzniku v závislosti na geometrii srdcovek a velikosti zatížení.

Problematika dlouhodobého sledování stavu srdcovek bude nadále zkoumána v rámci dalších projektů, případně i v rámci navazující diplomové práce. Za klíčové lze považovat dokončení modelu předpovídajícího vývoj ojetí a deformace, který vlivem nedostatečného počtu dat nemohl být součástí této práce. Dále je možné pokračovat v této problematice ve sledování závislosti hladiny emise hluku na stavu konstrukce a vývoje ojetí a deformace.



8 Literatura

- [1] BRET, O., VÁŇOVÁ, P.: Pomůcka pro měření (nejen) hluku z tramvajové dopravy. Praha: ČVUT v Praze, 2019. ISBN: 978-80-01-06537-2.
- [2] BLÁHA, A. & kol.: Průvodce po železnici. 288+40 s. NADAS, Praha 1975
- [3] HRADIL, J.: Zrychlení průjezdu tramvají přes kolejové konstrukce v pražské síti. Praha, 2017. Bakalářská práce. ČVUT v Praze, Fakulta dopravní, Ústav dopravních systémů
- [4] IZER, J., ZELENKA, J.: Charakteristiky kontaktní geometrie. In: Scientifics papers of the University of Pardubice, pp.39-62. Series B, 2, 1996.
- [5] KUBÁT, B., PEJŠA, J., JACURA, M., TREŠL, O.: Městská a příměstská kolejová doprava. Praha: Wolters Kluwer ČR, 2010. ISBN: 978-80-7357-539-7.
- [6] KREJČIŘÍKOVÁ, H.: Železniční stavby 1. Praha: ČVUT v Praze, 2017. ISBN: 978-80-01-06157-2.
- [7] KREJČIŘÍKOVÁ, H.: Kolejové konstrukce TT – Výhybky [přednáška]. Praha: Fakulta stavební ČVUT v Praze. [Cit:5.5.2020]
- [8] MARUNA, Z.: Základy pohybu po koleji. In: Scientifics papers of the University of Pardubice, pp.23-38. Series B, 2, 1996.
- [9] GROSSMANN, M.: Do výhybky rychleji!. DP-kontakt. [online] Praha: Dopravní podnik hlavního města Prahy, 2013. [Cit: 20.4.2020]. Dostupné z: https://www.dpp.cz/data/leaflets/documents/2020-04-17-11-48-00_09-Zari.pdf
- [10] PENC, M.: Projekt Kolo-kolejnice. DP-kontakt. [online] Praha: Dopravní podnik hlavního města Prahy, 2009. [Cit: 20.4.2020]. Dostupné z: https://www.dpp.cz/data/leaflets/documents/2020-04-17-11-22-19_04-Duben.pdf
- [11] PLÁŠEK, O.: Železniční stavby I, Modul 3: Výhybky a výhybkové konstrukce. Brno: VUT v Brně, 2007. Dostupné online: <http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/CN01-Zeleznicni%20konstrukce%20I/M03-V%C3%BDhybky%20a%20v%C3%BDhybkov%C3%A9%20konstrukce.pdf> [Cit: 15.4.2020]
- [12] SCHNEIDEROVÁ-HERALOVÁ, R. & kol: Výhybka a náklady životního cyklu. Certifikovaná metodika MD ČR, prosinec 2017. Dostupné z: <https://www.mdcr.cz/getattachment/Dokumenty/Veda-a-vyzkum/Certifikovane-metodiky/Metodicky-postup-ve-forme-prirucky-pro-navrhovani/34METODICKY-POSTUP-CESTI-VYHYBKA-V-LCC.pdf.aspx> [Cit: 22.4.2020].
- [13] SVOBODOVÁ, A.: Materiály a tvary kolejnic v kolejové dopravě. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, bakalářská práce. Brno, 2019. Dostupné z:



- https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=193175 [Cit: 13.4.2020].
- [14] ŠKAPA, P.: 1. Železniční doprava. Ostrava, 2007. VŠB TU Ostrava. ISBN 978-80-248-1521-3. Dostupné z: http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/Zdopr/01_ZD.pdf [Cit: 24.4.2020].
- [15] ŠUROVSKÝ, J.: Vztah kolo-kolejnice u tramvají. DP-kontakt [online] Praha: Dopravní podnik hlavního města Prahy, 2009. [Cit: 19.4.2020]. Dostupné na vyžádání u DPP
- [16] VIK, J.: Návrh nápravnice pro tramvajové vozidlo, včetně volně otočných kol. Bakalářská práce, ZČU, Plzeň 2016. Dostupné online: https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/25276/1/BP-Jiri_Vik_kompletni.pdf [Cit: 11.4.2020]
- [17] VLASÁK, J. a kol.: Výhybky a výhybková spojení. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1983.
- [18] ZELENKA, J., KOHOUT, M.: Vztah kolo-kolejnice v podmínkách tramvajového provozu, 46. zasedání odborné skupiny tramvajové tratě, Sdružení dopravních podniků ČR [přednáška]. Plzeň: 21.11.2012. Dostupné online : <https://docplayer.cz/34692854-Vztah-kolo-kolejnice-v-podminkach-tramvajoveho-provozu.html> [Cit: 5.4.2020]
- [19] ZELEŇÁK, M.: Návrh digitálního měřidla pro prokazování shody a přenášení rozměru šířky kotouče a obruče železničních kol. VŠB-TU Ostrava, diplomová práce. Ostrava, 2009. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/71545/ZEL075_FS_N2301_2303T002_2009.pdf?sequence=1&isAllowed=y [Cit: 19.4.2020].
- [20] ČSN EN 13232-1. Železniční aplikace – Kolej – Výhybky a výhybkové konstrukce – Část 1: Definice. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [21] ČSN 73 6360-1 Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha. Část 1: Projektování. Český normalizační institut. Říjen 2008.
- [22] ČSN 73 6412. Geometrické uspořádání tramvajových tratí. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Březen 2017.
- [23] Dopravní a návěstní předpis pro tramvaje D1/2. Interní předpis. 3. novelizované vydání. Praha: Dopravní podnik hlavního města Prahy, 2012.
- [24] TNŽ 010101–1 pracovní verze novelizační normy TNŽ 010101 „Názvosloví Českých drah“, verze k 21.3.2020. Správa železnic.
- [25] Vyhláška č. 173/1995 Sb. Ministerstva dopravy. Srpen 1995, verze k 9.12.2018. Ministerstvo dopravy.
- [26] Vyhláška č. 177/1995 Sb. Ministerstva dopravy. Prosinec 1995, verze k 1.4.2018. Ministerstvo dopravy.



- [27] Hannoversche Verkehrsbetriebe Aktiengesellschaft. Quermaß – Tabelle. Srpen 1998, verze k březnu 2012.
- [28] Prezentace z 54. zasedání odborné skupiny Tramvaje při SDP ČR. Sdružení dopravních podniků ČR, Liberec, 19. – 20.10. 2016. Zpracováno: DIPRO s.r.o. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/12314172/> [Cit.: 10.5.2020]
- [29] Záznam z 39. zasedání odborné skupiny Tramvaje při SDP ČR. Sdružení dopravních podniků ČR, Ostrava, 28. – 29. 4. 2010. Dostupné z: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:cg-WZ7UFyb8J:www.sdp-cr.cz/WD_FileDownload.ashx%3Fwd_systemtypeid%3D34%26wd_pk%3DWzYyMCxbMzBdXQ%253D%253D+&cd=1&hl=cs&ct=clnk&gl=cz [Cit: 5.4.2020]
- [30] Pojednání o styku kola a kolejnice [online]. zelpage.cz. <https://www.zelpage.cz/clanky/pojednani-o-styku-kola-a-kolejnice?oddil=3&lang=cs> [Cit: 19.4.2020].
- [31] DT Výhybkárna a strojírna a.s.: Katalog výrobků 2018. Železniční výhybky, tramvajové výhybky, inteligentní technika. [online] Dostupné z: <https://www.dtv.s.cz/vyrobky> [Cit: 29.3.2020]
- [32] Výrobky a služby [online]. Pražská strojírna. [Cit: 10.4.2020]. Dostupné z: <https://pstroj.cz/vyrobky-a-sluzby/>
- [33] Výměny [online]. Pražská strojírna. [Cit: 10.4.2020]. Dostupné z: <https://pstroj.cz/vyrobky-a-sluzby/vymeny/>
- [34] Rychlostní výhybka [online]. Pražské tramvaje.cz. [Cit: 28.3.2020]. Dostupné z: <https://www.prazsketramvaje.cz/view.php?cisloclanku=2013041401>
- [35] Kolejnice [online]. Třinecké železářny. [Cit: 24.4.2020]. Dostupné z: <https://www.trz.cz/vyrobky/16/kolejnice>



9 Seznam obrázků

- Obr.1-Schéma železniční výhybky [Zdroj: Autor]
Obr.2-Jazyk a opornice železniční výhybky [Zdroj: Autor]
Obr.3-Schéma tramvajové výhybky [Zdroj: Autor]
Obr.4-Výhybka – vozovna Pankrác [Zdroj: Autor]
Obr.5-Přídržnice rychlostní tramvajové výhybky [Zdroj: Autor]
Obr.6-Čepový a pružný jazyk – upevnění [Zdroj: Autor]
Obr.7-Čepový a pružný jazyk – hrot [Zdroj: Autor]
Obr.8-Tramvajová srdcovka [Zdroj: Autor]
Obr.9-Ocelolitinové bloky pro výrobu srdcovek [Zdroj: Autor]
Obr.10-Bloky pro výrobu srdcovek dle úhlu křížení [7]
Obr.11-Nová tramvajová srdcovka [Zdroj: Autor]
Obr.12-Zúžené žlábký v tramvajové srdcovce [Zdroj: Autor]
Obr.13-Přejezd kola přes hrot srdcovky [Zdroj: Autor]
Obr.14-Výškový náběh žlábků [Zdroj: Autor]
Obr.15-Srdcovka s hlubokým žlábkem – U Harfy [Zdroj: Autor]
Obr.16-Nadvýšení křídlovky – hluboká srdcovka [Zdroj: Autor]
Obr.17-Jízdní obrys VM [Zdroj: Autor]
Obr.18-Jízdní obrys PR-1 [Zdroj: Autor]
Obr.19-jízdní obrys VM a PR-1 [Zdroj: Autor]
Obr.20-Opotřebení hlavy a příruby žlábkových kolejnic [22]
Obr.21-Autor čistící sledovanou srdcovku [Zdroj: Autor]
Obr.22-Měřicí přístroj Contour II [Zdroj: Autor]
Obr.23-Upevnění druhé rozjezdové výměny – panel VUIS a dřevěné pražce – Spojovací [Zdroj: Autor]
Obr.24-Upevnění srdcovky druhé rozjezdové výměny – Spojovací [Zdroj: Autor]
Obr.25-Křižovatka Výtoň – rekonstrukce [Zdroj: Autor]
Obr.26-Situace – Spojovací [Zdroj: Autor]
Obr.27-Situace – Výtoň [Zdroj: Autor]
Obr.28-Monitorované profily – „Spojovací č.2“ [Zdroj: Autor]
Obr.29-Monitorované profily – „Výtoň“ [Zdroj: Autor]
Obr.30-Sádrový odlitek [Zdroj: Autor]
Obr.31-Skenování sádrového odlitku [Zdroj: Autor, 3D sken na FS ČVUT]
Obr.32-Výsledný sken odlitku [Zdroj: Autor, 3D sken na FS ČVUT]
Obr.33-Porovnání – 3D sken x ContourIII-Eval [Zdroj: Autor]
Obr.34-Spojovací č.1 – počáteční stav [Zdroj: Autor]
Obr.35-Spojovací č.1 – srdcovka – stav na konci monitoringu [Zdroj: Autor]
Obr.36-Spojovací č.1 – rozjezdový hrot a náběh žlábků – konec monitoringu [Zdroj: Autor]
Obr.37-Autor měřící hloubku žlábků – konec monitoringu [Zdroj: Autor]
Obr.38-Spojovací č.2 – střed srdcovky – původní stav [Zdroj: Autor]



- Obr.39-Spojovací č.2 – srdcovka – stav na konci monitoringu [Zdroj: Autor]
Obr.40-Spojovací č.2 – detail středu srdcovky [Zdroj: Autor]
Obr.41-Výtoň – nivelace [Zdroj: Autor]
Obr.42-Autor spolu s vedoucím BP během nivelace [Zdroj: Autor]
Obr.43-Výtoň – uražený sjezdový hrot [Zdroj: Autor]
Obr.44-Výtoň – srdcovka na konci monitoringu [Zdroj: Autor]
Obr.45-Výtoň – ojetí rozjezdového hrotu [Zdroj: Autor]
Obr.46-Výtoň – detail středu srdcovky [Zdroj: Autor]
Obr.47-Dvojžlábek [Zdroj: Autor]
Obr.48-Dvojžlábek Výtoň x Spojovací č.2 [Zdroj: Autor]
Obr.49-Ojetí žlábků [Zdroj: Autor]
Obr.50-Převálcování materiálu [Zdroj: Autor]
Obr.51-Křížení dvojžlábků [Zdroj: Autor]
Obr.52-Křížení dvojžlábků a ojetého žlábků [Zdroj: Autor]
Obr.53-Ojetí hrotu srdcovky [Zdroj: Autor]
Obr.54-Ojetí hrotu srdcovky – Spojovací č.2 x Výtoň [Zdroj: Autor]
Obr.55-Ojetí hrotu srdcovky – uražení hrotu [Zdroj: Autor]
Obr.56-Ojetí křídlovky [Zdroj: Autor]
Obr.57-Ojetí křídlovky – porovnání Výtoň x Spojovací č.2 x Spojovací č.1 [Zdroj: Autor]

10 Seznam tabulek

- Tab.1-Zúžení žlábků – mělká srdcovka
Tab.2- Základní parametry tramvajových vozů T3, T3R.PLF, T6
Tab.3- Základní parametry tramvajových vozů KT8, 14T, 15T
Tab.4-Spojovací č.1 – týdenní zátěž
Tab.5-Spojovací č.2 – týdenní zátěž
Tab.6-Výtoň-týdenní zátěž
Tab.7-Porovnání – hloubka žlábků – sádrové odlitky x Contour II
Tab.8-Hodnoty – hloubka žlábků – Spojovací č.2
Tab.9-Hodnoty – hloubka žlábků – Výtoň

11 Seznam grafů

- Graf č.1-Spojovací č.2 – profil 1
Graf č.2-Spojovací č.2 – profil 2
Graf č.3-Spojovací č.2 – profil 3
Graf č.4-Výtoň – profil 1
Graf č.5-Výtoň – profil 2
Graf č.6-Výtoň – profil 3
Graf č.7-Hloubka žlábků – porovnání – Contour II x sádrové odlitky
Graf č.8-Hloubka žlábků – Spojovací č.2
Graf č.9-Hloubka žlábků – Výtoň