



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV ŽELEZNIČNÍCH KONSTRUKCÍ A STAVEB

INSTITUTE OF RAILWAY STRUCTURES AND CONSTRUCTIONS

**KOLMÁ KŘÍŽENÍ TRAMVAJOVÝCH TRATÍ
S VLEČKAMI**

PERPENDICULAR CROSSINGS TRAM TRACKS WITH RAILWAY SIDINGS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. David Omaník

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. OTTO PLÁŠEK, Ph.D.

BRNO 2018



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

| | |
|--------------------------------|---|
| Studijní program | N3607 Stavební inženýrství |
| Typ studijního programu | Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia |
| Studijní obor | 3607T009 Konstrukce a dopravní stavby |
| Pracoviště | Ústav železničních konstrukcí a staveb |

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

| | |
|------------------------|---|
| Student | Bc. David Omaník |
| Název | Kolmá křížení tramvajových tratí s vlečkami |
| Vedoucí práce | doc. Ing. Otto Plášek, Ph.D. |
| Datum zadání | 31. 3. 2017 |
| Datum odevzdání | 12. 1. 2018 |

V Brně dne 31. 3. 2017

doc. Ing. Otto Plášek, Ph.D.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Vyhláška Ministerstva dopravy č. 177/1995 Sb., kterou se vydává stavební a technický řád drah, ve znění vyhlášky č. 243/1996 Sb., vyhlášky č. 346/2000 Sb., vyhlášky č. 413/2001 Sb. a vyhlášky č. 577/2004 Sb.

ČSN 73 6405 Projektování tramvajových tratí

ČSN 73 6412 Geometrické uspořádání koleje tramvajových tratí

Směrnice T08 - Provozně technické podmínky tramvajových tratí na území města Brna a v jeho okolí

Technická a výrobní dokumentace Dopravního podniku města Brna, a.s.

Předpis SŽDC S3 Železniční svršek

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Kolmá křížení tramvajových tratí (TT) se železničními vlečkami jsou nejvýraznějším zdrojem hluku a rázů v kolejových objektech a zároveň negativně ovlivňují podvozek tramvají. Přitom počty průjezdů železničních vozidel těmito kříženími jsou k počtu průjezdu tramvají velmi nízké.

Základní osnova práce bude následující:

- přehled křížení tramvajových a železničních tratí v Brně
- přehled řešení křížení tramvajových a železničních tratí městech v ČR i v zahraničí
- legislativní rámec pro tato křížení (zákon o drahách, zákon o pozemních komunikacích, ČSN atp.)
- možnosti konstrukce křížení (pevné provedení, řešení s pohyblivou částí kolejnice apod.)
- ověření projednatelnosti a realizovatelnosti navrženého řešení

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).

2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

doc. Ing. Otto Plášek, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

POPISNÝ SOUBOR ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

| | |
|--|---|
| Vedoucí práce | doc. Ing. Otto Plášek, Ph.D. |
| Autor práce | Bc. David Omaník |
| Škola | Vysoké učení technické v Brně |
| Fakulta | Stavební |
| Ústav | Ústav železničních konstrukcí a staveb |
| Studijní obor | 3607T009 Konstrukce a dopravní stavby |
| Studijní program | N3607 Stavební inženýrství |
| Název práce | Kolmá křížení tramvajových tratí s vlečkami |
| Název práce v anglickém jazyce | Perpendicular crossings tram tracks with railway sidings |
| Typ práce | Diplomová práce |
| Přidělovaný titul | Ing. |
| Jazyk práce | Čeština |
| Datový formát elektronické verze | PDF |
| Abstrakt práce | Diplomová práce se zabývá kolmým křížení tramvajové tratě s železniční vlečkou. Jsou popsány konstrukce křížení, jak na území ČR, tak i ve světě. Cílem práce je nalézt doporučené konstrukční řešení křížení tramvajové a železniční dráhy s ohledem na legislativu a realizovatelnost. Po vzájemném porovnání stávajících konstrukcí je zvolena konstrukce, která vyhovuje podmínkám provedení. |
| Abstrakt práce v anglickém jazyce | The diploma thesis deals with the perpendicular crossing of tram track with railway siding. The structure of crossing is described both in the Czech Republic and in the world. The aim of the thesis is to find the recommended design solution for the crossing of tram and railway tracks with regard to legislation and feasibility. After a comparison of the existing structures is chosen which satisfies the conditions of feasibility. |
| Klíčová slova | Kolmé křížení, tramvajová dráha, železniční vlečka, kritérium vykolejení, točna, jízdní obrys |
| Klíčová slova v anglickém jazyce | Square crossing, tram track, industrial spur, derailment criteria, turntable, wheel profile |

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá kolmým křížením tramvajové tratě s železniční vlečkou. Jsou popsány konstrukce křížení, jak na území ČR, tak i ve světě. Cílem práce je nalézt doporučené konstrukční řešení křížení tramvajové a železniční dráhy s ohledem na legislativu a realizovatelnost. Po vzájemném porovnání stávajících konstrukcí je zvolena konstrukce, která vyhovuje podmínkám provedení.

KLÍČOVÁ SLOVA

Kolmé křížení, tramvajová dráha, železniční vlečka, kritérium vykolejení, točna, jízdní obrys

ABSTRACT

The diploma thesis deals with the perpendicular crossing of tram track with railway siding. The structure of crossing is described both in the Czech Republic and in the world. The aim of the thesis is to find the recommended design solution for the crossing of tram and railway tracks with regard to legislation and feasibility. After a comparison of the existing structures is chosen which satisfies the conditions of feasibility.

KEYWORDS

Square crossing, tram track, industrial spur, derailment criteria, turntable, wheel profile

Bibliografická citace VŠKP

Bc. David Omaník *Kolmá křížení tramvajových tratí s vlečkami*. Brno, 2018. 53 s., 10 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav železničních konstrukcí a staveb. Vedoucí práce doc. Ing. Otto Plášek, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 12. 1. 2018

Bc. David Omaník
autor práce

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

Prohlášení

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 12. 1. 2018

Bc. David Omaník
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat vedoucímu své diplomové práce doc. Ing. Ottu Pláškoví, PhD., který se mi věnoval mimo jiné i ve svém volném čase, za jeho rady a odborné vedení. S jeho velkou pomocí jsem mohl konzultovat a získat spoustu informací od mnoha odborníků po celém území ČR. Jsem nesmírně rád, že jsem měl tu možnost se hodně naučit danému problému a splnit tuhle práci.

Obsah

| | | |
|--------|---|----|
| 1. | Úvod..... | 12 |
| 1.1. | Svitavská pobřežní dráha | 12 |
| 1.2. | Svratecká vlečka | 14 |
| 2. | Současné poznatky | 15 |
| 2.1. | Kolejová křižovatka..... | 15 |
| 2.2. | Dvojkolí..... | 16 |
| 2.3. | Jízdní obrysy kol..... | 16 |
| 2.4. | Kritérium vykolejení | 16 |
| 3. | Cíle práce..... | 18 |
| 3.1. | Hlavní cíl práce..... | 18 |
| 3.2. | Dílčí cíle práce..... | 18 |
| 4. | Legislativa | 19 |
| 4.1. | Zákon č. 266/1994 Sb. o drahách | 19 |
| 4.2. | Zákon č. 13/1997 Sb. o pozemních komunikacích | 19 |
| 4.3. | Vyhláška č.177/1995 Sb., kterou se vydává stavební a technický řád drah | 20 |
| 4.4. | Směrnice T08 Provozně technické podmínky tramvajových tratí na území města Brna a v jeho okolí..... | 21 |
| 4.5. | S3 díl IX Železniční svršek – výhybky a výhybkové konstrukce | 22 |
| 4.6. | ČSN 73 6380 Železniční přejezdy a přechody | 23 |
| 4.7. | ČSN 28 0318 Průjezdne průřezy tramvajových tratí | 23 |
| 5. | Přehled vlastností současných křížení | 25 |
| 5.1. | Současný stav | 25 |
| 5.2. | Defekty křížení..... | 25 |
| 5.2.1. | Podélné skluzové vlny..... | 25 |
| 5.2.2. | Ojíždění hrotu srdcovky..... | 27 |
| 5.2.3. | Ojíždění žlábků kolejnic..... | 27 |
| 5.2.4. | Příčné rázy | 27 |
| 5.2.5. | Propadání krytu vozovky | 28 |
| 6. | Přehled křížení tramvajových a železničních tratí v Brně | 29 |
| 6.1. | Křížení s Posvitavskou vlečkou | 29 |
| 6.2. | Křížení s vlečkou Výstaviště (ul. Nové sady a ul. Poříčí) | 30 |
| 7. | Přehled křížení tramvajových a železničních tratí v ČR | 31 |
| 7.1. | Ostrava..... | 31 |

| | | |
|--------|---|----|
| 7.1.1. | Popis konstrukce křížení na ul. 1. Máje..... | 31 |
| 7.1.2. | Popis konstrukce na ul. Ruská | 31 |
| 7.2. | Olomouc | 32 |
| 7.3. | Praha | 34 |
| 7.4. | Křížení ve výrobních halách | 34 |
| 8. | Přehled křížení tramvajových a železničních tratí v zahraničí | 35 |
| 8.1. | Halberstadt | 35 |
| 8.2. | Melbourne | 35 |
| 8.3. | Dálkově ovládaný železniční křížení v Abendsternu, Německo | 36 |
| 8.4. | Austrálie, Queensland, jižně od Rockhamptonu (drawbridge)..... | 37 |
| 8.5. | Točna | 38 |
| 8.6. | Pennsylvania Railroad, křížení 60 – 90 stupňů z roku 1913..... | 39 |
| 8.7. | Křížení One Way Low Speed | 40 |
| 8.8. | San Francisco, točna..... | 41 |
| 9. | Hodnocení řešení..... | 42 |
| 9.1. | SWOT Analýza | 42 |
| 9.2. | Jízda tramvajového kola po temeni kolejnice železniční dráhy | 43 |
| 9.3. | Jízda železničního kola po okolku | 43 |
| 9.4. | Úprava pojížděné hrany kolejnice..... | 46 |
| 10. | Závěr | 49 |
| | Literatura | 50 |
| | Seznam symbolů, veličin a zkratk..... | 53 |
| | Příloha A (kontakt kolo-kolejnice)..... | 54 |
| | Příloha B (kontakt kolo-kolejnice)..... | 55 |
| | Příloha C (výkres točny)..... | 56 |
| | Příloha D (výkres točny)..... | 57 |
| | Příloha E (křížení Pensylvanie)..... | 58 |
| | Příloha F (SWOT Analýza) | 59 |
| | Příloha G (úprava pojížděné hrany kolejnice) | 63 |

1. Úvod

Už roku 1869 se město Brno se svou koněspřežnou dráhou stalo prvním městem s drážní dopravou pro veřejnost na území Česka. Postupem let, kdy se město rozvíjelo, byla koněspřežná dráha nahrazena parní dráhou (1884). V tu samou dobu byl ve městě na vzestupu průmysl. Bylo nutné vybudovat rozsáhlou vlečkovou síť do průmyslových závodů, kam byly po kolejích dováženy a následně vyváženy výrobní materiály. Řada vleček je již minulostí. Spousta z nich bylo nutno vést přes koleje městské tramvajové dráhy. Příkladem toho může být vlečka vojenského oděvního skladu Mundursdepot, začínající na královopolském nádraží a končící ve vojenském skladišti. Vlečka do skladu, která roku 1967 byla rozebrána, křížovala městskou dráhu, s kterou byly vzájemně propojeny kolejovou spojkou. Křížení těchto drah nebylo zcela kolmé. V současnosti lze na místě nalézt pouze zbytky dřevěných pražců, vysokých náspů či mostních kamenných opěr. Místem dnes projíždějí tramvaje DPMB č. 1 a 6. Mezi vlečky, které dodnes nepostihnul stejný osud, můžeme zařadit vlečky z Královo pole do tepláren, do strojírny nebo do DPMB, vlečku z Horních Heršpic do cihelny, vlečku ze Slatiny do spalovny SAKO, Posvitavskou pobřežní dráhu nebo vlečku Svrateckou vedoucí z Brněnského dolního nádraží na Výstaviště. A právě Posvitavské a Svratecké vlečky, které dodnes protínají tramvajové dráhy a jsou stále v provozu se budu věnovat v této diplomové práci [1].

1.1. Svitavská pobřežní dráha

Posvitavský vlečkový systém, je zaústěn na odbočce Brno – Židenice. Vlečka je ve správě SŽDC. Samotná dráha začíná odbočkou z Židenické železniční stanice, je svedena mostem přes řeku Svitavu a podél ní se táhne od Zábrdovic až po Komárov. V době své největší zatíženosti se napojovala na průmyslové podniky, kterými byly škrobárny, strojírny Šmeral, teplárna Mosilana, strojírna Alstom nebo vlečka do uhelných skladů. Dnes jsou do Posvitavské dráhy zaústěny už jen vlečky Škrobárna Reality, a.s., ŠMERAL BRNO, a.s., Teplárny Brno, a.s. – provoz Špitálka, Amulle, a.s., Mosilana a účelové kolejiště OŘ-PI [2]. Avšak dle vlastního šetření vlečku pravidelně využívají pouze společnosti Linde GAS, a.s. k převozu kapalného oxidu uhličitého a Škrobárna Reality, a.s.

V jednom místě je kolmo křížena pravidelně pojížděnou tramvajovou tratí, která je ve správě Dopravního podniku města Brna. Křížovatka těchto dvou drah je zřízena na ulici Křenova v těsné blízkosti mostu přes řeku Svitavu, kde projíždí tramvaje linek 8, 9 a 10.

Vlečka je zaústěna do celostátní dráhy v odbočce Brno-Židenice koncem výhybky č.2 v km 0,033 na koleji č. 905. Mezníkem vymezujícím obvodu drah je cestovní návěstidlo Sc905.

Do vlečky jsou zaústěny:

1. Vlečka Škrobárna Reality, a.s. v přímém pokračování koleje č. 992 v km 1,360.
2. Vlečka Teplárny Brno, a.s., - provoz Špitálka výhybkou č. Te1 v km 0,507.

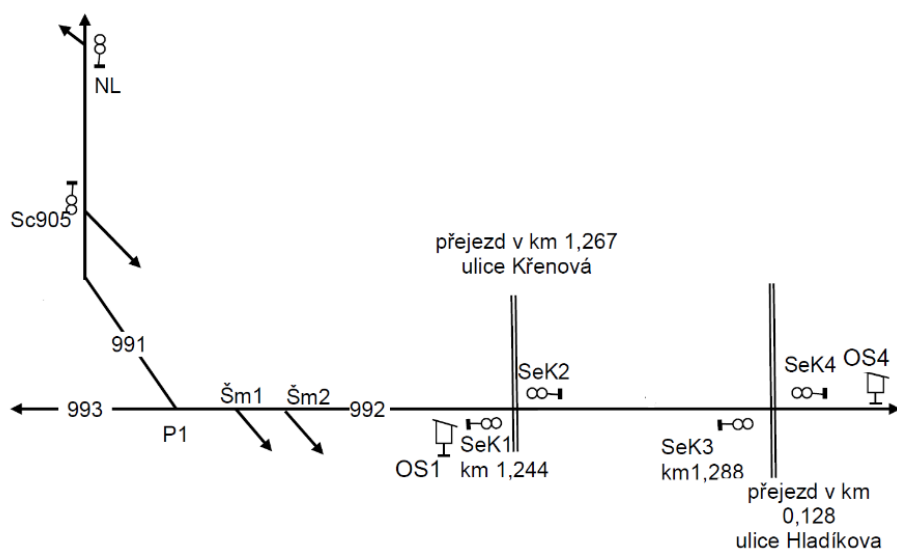
3. Vlečka Šmeral Brno, a.s., výhybkou č. Šm1 v km 0,917 a výhybkou č. Šm2 v km 0,938.
4. Vlečka Amulle, a.s., výhybkou č. Žn1 v km 0,564.
5. Vlečka Mosilana výhybkou č. M1 v km 0,564. Vlečka není provozována, je zde zákaz jízdy drážních vozidel.
6. Účelové kolejiště OŘ-PI koncem odbočné větve výhybky č. 1XA v km 1,177.

Způsob pojíždění vlečky drážními vozidly je posunem. Místo pro vzájemnou předávku drážních vozidel z hlediska provozování dráhy je na koleji č. 905 odbočky Brno-Židenice. Dopravci provozující drážní dopravu na této vlečce jsou ČD Cargo, a.s., MBM rail s.r.o. a SEŽEV-REKO, a.s. [3].

Vlastním šetřením byly zjištěny průjezdy motorové lokomotivy řady 731 čtyřnápravové používající se výhradně pro posun. Hmotnost lokomotivy je 68 t, průměr kola dvojkolí 1 000 mm. Sunuty byly cisternové vozy Zagkks, čtyřnápravové se speciálním ocelovým vysokotlakým kotlem s tepelnou izolací na hluboce zchlazený kapalný oxid uhličitý. Tento pohyb proběhl nanejvýš 1 x týdně.

Podmínky pro jízdu drážních vozidel na Posvitavském vlečkovém systému:

1. Dovolena hmotnost na nápravu 17,5 tun
2. Přechodnost hnacích vozidel a traťová třída vlečky je B2 (17,5 t na nápravu a 6,4 t/m délky).
3. Přechodnost vozů je bez omezení
4. Nejvyšší dovolená rychlost na vlečce je 30 km/hod, přes kolejové křížení s tramvajovou dráhou na přejezdu P6837 v km 1,267 je dovolená rychlost 10 km/hod.
5. Vlečka je částečně vybavena osvětlením.
6. Není vybavena trakčním vedením.
7. Nejmenší poloměr směrového oblouku je $R=190$ m.



Obr. 1.1: Schéma Svitavské pobřežní dráhy [3]

1.2. Svratecká vlečka

Svratecká vlečka též nazývána jako vlečka Poříčí, která původně sloužila k dopravě řepy do Bauerova cukrovaru, byla vybudována na přelomu 19. a 20. století. Vlečka odbočuje z Brna – Dolního nádraží, vede podél řeky Svatky, kde je součástí vozovky na ulici Poříčí, přes cukrovar a končí na Brněnském výstavišti, kam byla prodloužena až v padesátých letech. Od roku 1954 je ve vlastnictví Brněnského výstaviště, které ji odkoupilo od továrníka Viktora Bauera a prodloužila trať až do dnešní podoby. V současnosti už je vlečka využívána jen příležitostně. Například z důvodů předvádění nových vozidel na Mezinárodním strojírenském veletrhu nebo na vyhlídkové jízdy historických vlaků. Taky se využívá k přesunu vzácných exponátů z Technického muzea v Brně, kde v místě křížení na ulici Křížová přejíždí po spojně z tramvajové dráhy na kolej vlečky. Svratecká vlečka, o délce 1,4 km, je vedena středem čtyřproudé komunikace, kde v křižovatkovém prostoru je přímo na ní odbočovací jízdní pruh. Neobvyklostí vlečky je kolmé křížení s tramvajovou tratí pojižděné intenzivně v pravidelných intervalech, a to hned ve dvou místech trati. Křížující tramvajová trať je ve správě Dopravního podniku města Brna. První z nich je na křižovatce Poříčí – Nové sady, kde křížení projíždějí tramvaje číslo 8 a 10. Druhé křížení na křižovatce ulic Poříčí – Křížová je pojižděno tramvajemi číslo 2, 5 a 6. Trať u druhého křížení jsou vzájemně propojeny kolejovou spojkou. Ta dříve sloužila pro dovoz materiálu až do Brněnského pivovaru na Mendlově náměstí [4].

Vlečka č. 5012, jejichž provozovatelem jsou Brněnské veletrhy a výstavy, a.s. je zaústěna do účelového kolejiště SŽDC z koleje č. 145, výhybkou č. VS1 v km 2,174 = km 0,083 vlečky. Obvodem styku drah se rozumí samotná odbočná výhybka č. VS1. Mezník rozdělující obvody odpovědnosti za obsluhu součástí dráhy při jízdě mezi drahami je v úrovni hrotů jazyků výhybky č. VS1. Hraničník je umístěn v úrovni konce odbočné větve výhybky č. VS1. Jízda drážních vozidel mezi drahami na místě jejich styku je prováděna jako jízda posunového dílu a při obsluze vlečky je dovoleno drážní vozidlo sunout i táhnout [5].

Dle vlastního šetření byl zaznamenán průjezd vlečkou přibližně 2 x ročně.

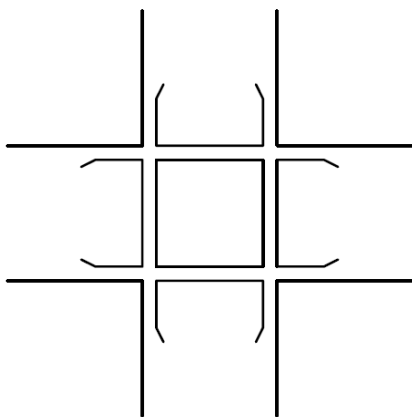


Obr. 1.2: Schéma Svratecké vlečky

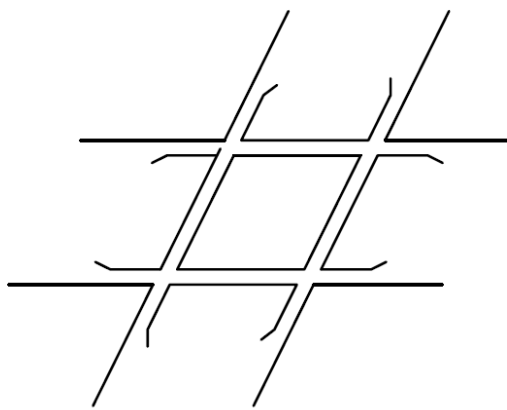
2. Současné poznatky

2.1. Kolejová křižovatka

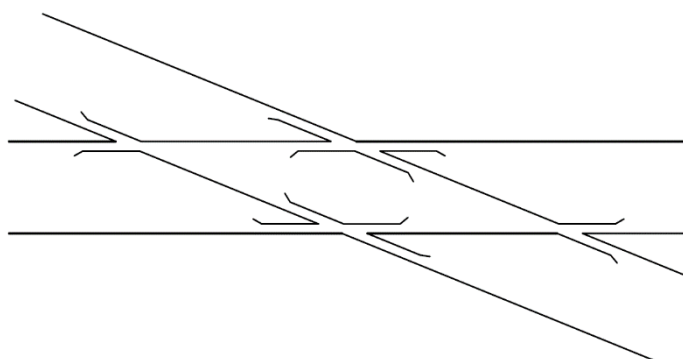
Kolejová křižovatka, je místo křížení dvou kolejí v úrovni bez možnosti přechodu kolejových vozidel z jedné koleje na druhou. Slangový výraz „diamant“ vyplývá z tvaru křížení, který jej při menších úhlech křížení připomíná. Kolejová křižovatka je považována za běžnou, jestliže úhel protínajících se os kolejí je srovnatelný s úhlem jednoduchých výhybek. Skládá se ze dvou jednoduchých srdcovek (ostré úhly) a ze dvou dvojitých srdcovek, které mají dva hroty (tupé úhly). Oblouková křižovatka je průnik přímé koleje a koleje v oblouku nebo obou kolejí v oblouku. Úhel křížení je na obou koncích různý. Pravoúhlá křížení jsou složena ze čtyř stejných srdcovek. Přejížděním kolejových vozidel přes toto křížení jsou namáhány výhradně spoje konstrukce. V případě šikmého křížení není namáhání dopravou o moc menší [6].



Obr. 2.1. Kolmé křížení [6]



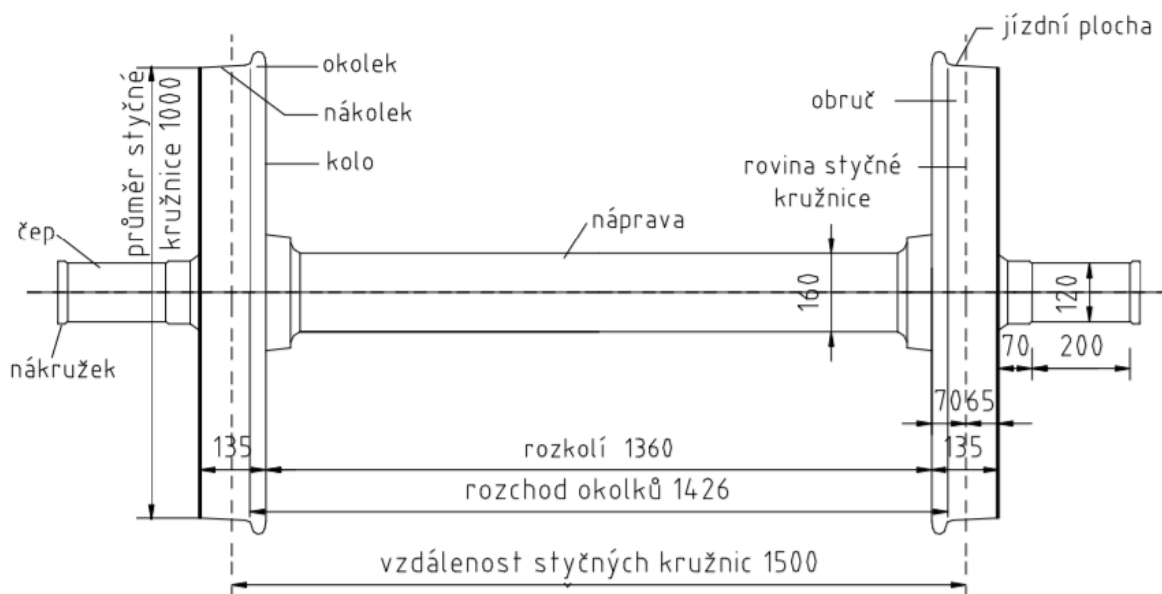
Obr. 2.2. Úhel křížení větší než 45° [6]



Obr. 2.3. Úhel křížení menší než 45° [6]

2.2. Dvojkolí

Dvojkolí kolejových vozidel zajišťuje výškové a směrové vedení kolejového vozidla v koleji. Je složena ze dvou kol a nápravy. Dvojkolí v koleji je neseno a vedeno jízdním obrysem, jehož součástmi jsou okolek a jízdní plocha. Vzdálenost obvodů kol je dána vzdáleností styčných kružnic 1500 mm. Průměr kola je měřen v místě styčné kružnice. Mezinárodní hodnoty průměrů jsou 920 mm pro podvozkové vozy a 1000 mm pro dvounápravové vozy [7]. Průměr styčné kružnice kola tramvajového dvojkolí je 600 mm.



Obr. 2.4. Schéma dvojkolí [7]

2.3. Jízdní obrysy kol

Způsob jízdy dvojkolí v koleji je ovlivněn jak tvarem kolejnice, tak jízdním obrysem kola [7]. Jízdní obrys je složen z několika oblastí. Z okolků a jízdní plochy, které jsou vzájemně propojeny přechodovou oblastí. Přechodová oblast je u každého jízdního obrysu specifická a nejvíc ovlivňuje jízdní vlastnosti. Poslední oblastí je zkosená hrana, která upravuje jízdní obrys v místě vnějšího čela kola [8].

2.4. Kritérium vykolejení

Za běžných okolností je svislá kolová síla Q nesena oběžnou jízdní plochou kola dvojkolí po koleji a příčná vodící síla Y vedena okolkem kola v koleji. Kritérium pro mez vykolejení je dán poměrem příčné a svislé kolové síly Y/Q . Poměr Y/Q hodnotí schopnost kola vyšplhat okolkem na temeno kolejnice a vykolejit. Limitní hodnota tohoto poměru je 0,8. Nejnebezpečnější případ nastává při kombinaci součinitele tření $f = 0,35$ a úhlu okolků 50° , kdy poměr $Y/Q = 0,6$ [7], [9].

V případě jízdy po okolkách v místě kolmého křížení se nejedná o průjezd obloukem, ale o jízdu okolků po dně žlábkové kolejnice. Dochází ke dvoubodovému styku kola s kolejnicí. Jeden styk je netradičně umístěn ve vrcholu okolků. Působení

svislé a vodorovné síly se roznáší do dvou kontaktních bodů. Poloha kola je staticky neurčitá. Vykolejení je bráněno úhlem jízdního obrysu, který nesmí být v místě kontaktu s pojížděnou hranou kolejnice menší než 70°. Tato podmínka je nesplněna při vedení dvojkolí pouze po okolcích [10].

Tečná síla T je dána vztahem:

$$T = N \cdot f ,$$

nebo

$$T = |Q \sin \gamma - Y \cos \gamma| ,$$

kde N je normálová síla, f koeficient tření a γ je úhel okolku.

Normálová síla N je dána vztahem:

$$N = Q \cos \gamma + Y \sin \gamma$$

Po dosazení normálové síly a tečné síly, získáme kritérium pro mez vykolejení příslušící kvazistatickému nadzvedávání kola:

$$\frac{Y}{Q} = \frac{\operatorname{tg} \gamma - f}{1 + f \cdot \tan \gamma} ,$$

nebo příslušící dynamickému příčnému rázu kola:

$$\frac{Y}{Q} = \frac{\operatorname{tg} \gamma + f}{1 - f \cdot \tan \gamma}$$

Aby nedocházelo k nadzvedávání kola (tj. šplhání okolku), je vhodné upravit pojížděnou hranu kolejnice. A to tak, aby v místě kontaktu byla hrana ve sklonu 70°. Dvoubodový kontakt okolku a kola, při jízdě po okolcích včetně působících normálových a tečných sil, je znázorněn (viz přílohy A a B).

3. Cíle práce

3.1. Hlavní cíl práce

Cílem práce je nalézt vhodné konstrukční řešení kolmých křížení tramvajových tratí s železničními dráhami.

Pro porovnání a posouzení těchto konstrukcí je popsáno v této práci několik konstrukcí křížení v:

- v městě Brně
- v jiných městech České republiky
- v zahraničí

K nalezení nejvhodnějšího řešení bylo zkontrolováno legislativní ošetření kolmého křížení tramvajové a železniční trati. Jedná se o zákony, normy, vyhlášky či směrnice využívané v České republice. K jednotlivým listinám je přiložena připomínka k vhodnému doplnění legislativ. Na jejich základě byla také ověřena projednatelnost a realizovatelnost.

Diplomová práce se dále zabývá popisem dalších mnoha řešeních po celém světě, které jsou vzájemně porovnány. Jsou vysvětleny jejich principy, výhody, nevýhody a vhodnost použití pro konkrétní situaci v městě Brně. Mezi kříženími je ukázáno i několik kuriózních příkladů, které jsou uvedeny a znázorněny i obrázkem.

3.2. Dílčí cíle práce

Na základě domluvy s vedoucím práce bylo vybráno několik konstrukcí, které byly vzájemně posouzeny SWOT analýzou.

4. Legislativa

V předpisech, normách, vyhláškách či jiných legislativách není zaznamenáno téměř nic o zásadách křížení tramvajových a železničních drah. Z toho důvodu jsou vypsány ty, které se alespoň částečně přibližují nebo věnují tomuto problému. Na situaci bylo pohlíženo jak z drážního úhlu, tak i ze silničního, jehož součástí je i tramvajová dráha. U každé legislativy je připomínka k vhodným doplněním nebo změnám, a to jak z pohledu drážní legislativy, tak z pohledu legislativy pozemních komunikací.

4.1. Zákon č. 266/1994 Sb. o drahách

Tento zákon zpracovává příslušné předpisy Evropské unie a upravuje a) podmínky pro stavbu drah železničních, tramvajových, trolejbusových a lanových a stavby na těchto drahách, b) podmínky pro provozování drah, pro provozování drážní dopravy na těchto drahách.

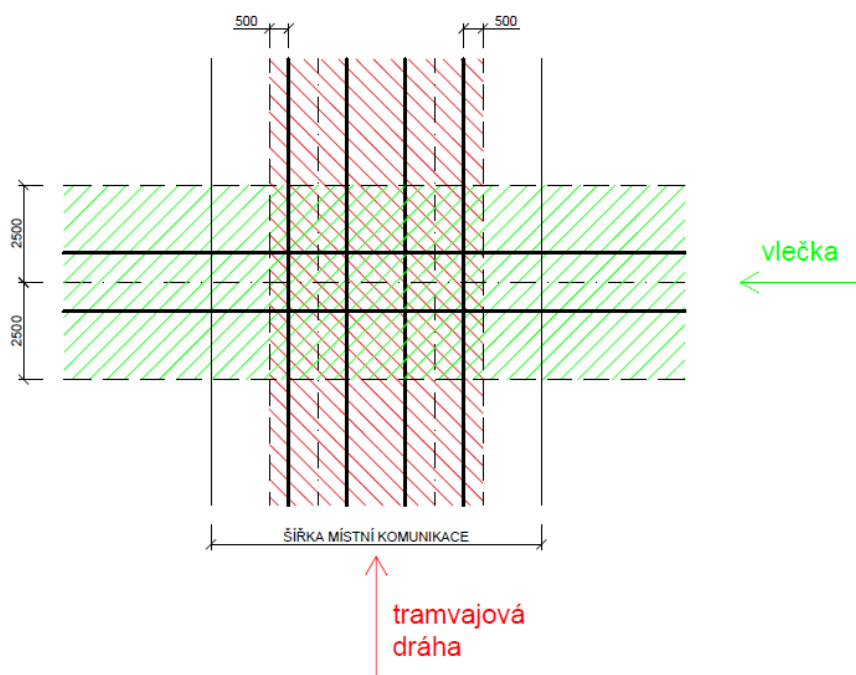
§4 Pokud dopravní cesta je vedena po pozemní komunikaci nevztahuje se na ni obvod dráhy. Přesnou ukázkou toho je vlečka na Výstaviště, která je vedena po pozemní komunikaci. Navíc je v ní veden odbočovací pruh křižovatky. §4a Všechna místa na dráze a v obvodu dráhy jsou veřejnosti nepřístupná s výjimkou a) dráhy a jejího obvodu, pokud je dráha vedena po pozemní komunikaci, b) dráhy a jejího obvodu v místě křížení dráhy s pozemní komunikací. §6 Křížení dráhy je popisováno jako přejezd, musí být označen a zabezpečen. Železniční soupravy jedoucí po vlečce Výstaviště jsou doprovázeny Policií ČR. Drážní doprava má přednost před provozem na pozemní komunikaci. Tramvajová dráha je dle Zákonu č. 13/1997 Sb. o pozemních komunikacích součástí komunikace, tudíž dle této normy křížení tramvajové dráhy s dráhou vlečky ve vozovce považuje také za přejezd. §8 Ochranné pásmo se nezřizuje pro dráhu vedenou po pozemní komunikaci a vlečku vedenou v uzavřeném prostoru provozovny. §20 Vlastník dráhy je povinen umožnit styk s jinými drahami. Technické podmínky styku drah stanoví prováděcí předpis [11].

Doporučení: Při průjezdu vlakových souprav po koleji vlečky vedené v pozemní komunikaci je nutno organizovat dopravu příslušníky Policie ČR. Procentuálně určit hrazení nákladů jednotlivých správců křížících se drah na zřízení nebo rekonstrukci kolejové křižovatky. Zařazení stanoviště pro bezpečnost proti vykolejení při jízdě po okolcích. V ojedinělých případech umožnit jízdu po okolcích v souladu s počtem průjezdů.

4.2. Zákon č. 13/1997 Sb. o pozemních komunikacích

Zákon zpracovává příslušné předpisy Evropské unie a upravuje a) kategorizaci pozemních komunikací, jejich stavbu, podmínky užívání a jejich ochranu, b) práva a povinnosti vlastníků pozemních komunikací a jejich uživatelů.

§ 14 Součástí ani příslušenstvím místních komunikací nejsou úroňové přejezdy drah bez závor do vzdálenosti 2,5 m od osy krajní koleje, úroňové přejezdy drah se závorami ve vzdálenosti mezi závorami, zařízení k zabezpečení přejezdů drah a kolejový svršek tramvajové a železniční dopravy v úrovni vozovky do vzdálenosti 0,5 m od vnější hrany kolejnice. § 37 Úroňové křížení je možné zřídit na tramvajové a trolejbusové dráze a vlečce. Povolení ke zřízení úroňového křížení lze vydat pouze pokud je zajištěna bezpečnost provozu na dráze a bezpečnost a plynulost provozu na pozemní komunikaci. Zabezpečovací zařízení na přejezdu s dráhou umísťuje a udržuje vlastník dráhy. Vlastník dráhy je povinen udržovat v řádném stavu pozemní komunikaci na přejezdu bez závor do vzdálenosti 2,5 m od osy krajní koleje v celé šíři tělesa pozemní komunikace. Je-li to z technických důvodů nutné nebo žádá-li to veřejný zájem, může být kromě tramvajové a trolejbusové dráhy vedena po pozemní komunikaci i jiná dráha, a to způsobem přiměřeným místním poměrům tak, aby byly co nejméně dotčeny zájmy zúčastněných vlastníků i provozovatelů a aby nebyl vzájemně ohrožován jejich provoz [12].



Obr. 4.1. Správci křížících se drah

Doporučení: Doplnit, že nelze vytvořit nové úroňové křížení mezi tramvajovou a železniční dráhou. Místo křížení dvou drah, pokud možno, zabezpečit nejen světelnou signalizací, ale i závorami. Při styku s dráhami nebo vedením tramvajové dráhy po pozemní komunikaci není stanovena výšková tolerance krytu vozovky vůči spojnici temen kolejnicových pásů.

4.3. Vyhláška č.177/1995 Sb., kterou se vydává stavební a technický řád drah

Obsahem vyhlášky jsou technické podmínky drah, označení a zabezpečení křížení, podmínky technickobezpečnostních zkoušek, podmínky styku drah,

požadavky pro stavbu drah a stavby na dráze nebo podmínky provozuschopnosti dráhy.

Vyhláška v plném znění uvádí v § 9 odst. c) jako součást dráhy „železniční přejezd“ úroňový. Tím se má na mysli konstrukce přejezdu. Je-li tato konstrukce současně i křížením pro tramvajovou trať, lze plně uplatnit § 50 odst. b) kde je uváděn jako součást tratě tramvajové železniční svršek tvořen „zvláštní konstrukcí“. Lze aplikovat, že touto zvláštní konstrukcí je právě konstrukce kolejového křížení. Z uvedeného vyplývá, že v tomto případě je vlastníkem části přejezdu nejen vlastník dráhy vlečky, ale také vlastník tramvajové tratě. Je proto vždy nezbytné provádět opravy těchto přejezdů za účasti obou vlastníků. §56 *Výšková tolerance krytu tramvajové tratě k úrovni temene kolejnic může být +30 mm nebo -30 mm. Konstrukce kolejových křížovatek a jejich vybavení musí zajišťovat plynulou a bezpečnou jízdu drážního vozidla stanovenou rychlostí.* §64 *Pro zajištění provozuschopnosti dráhy a bezpečnosti drážní dopravy se provádějí pravidelné prohlídky.* Dle přílohy č. 1 této vyhlášky se prohlídky a měření přejezdů a přechodů na vlečce provádějí v časovém intervalu 12 měsíců. Na dráze tramvajové se měření geometrického uspořádání koleje provádí v časovém intervalu 12 měsíců [13].

Doporučení: Zvolit vhodný časový interval prohlídek zvláštních konstrukcí jako jsou křížení dvou drah. Především jejich opotřebením a měření geometrického uspořádání. Při použitém pojmu „zvláštní konstrukce“ doplnit seznam několika typů těchto konstrukcí, mezi která spadají i kolmá křížení dvou drah. Zařazení stanoviska pro bezpečnost proti vykolejení při jízdě po okolcích. V ojedinělých případech umožnit jízdu po okolcích v souladu s počtem průjezdů. Mezní hodnoty ojetí při použití návaru upravujícího pojížděnou hranu kolejnice.

4.4. Směrnice T08 Provozně technické podmínky tramvajových tratí na území města Brna a v jeho okolí

Tato organizační směrnice slouží pro projektování, údržbu, prohlídku tramvajových tratí a přejímku dokončených stavebních prací. Vychází z platných právních předpisů a technických norem, jejichž ustanovení jsou závažná a které podléhají státnímu dozoru podle zákona č. 266/1994 Sb., o drahách. Dále vychází z praktických zkušeností DPMB.

2.6 Mezní hodnoty dovoleného opotřebením kolejnic všech typů a) boční 18 mm, b) výškové 14 mm, c) úhel ojetí 55°. 5.09 Přípustná provozní odchylka lokálního poklesu kolejnicového pásu proti srovnatelné niveletě je 10 mm. 14.20 Každý návrh nového konstrukčního řešení je předmětem projektové dokumentace stavby a podléhá schválení v rámci stavebního řízení. Vychází se z údajů výrobce, který musí stanovit funkční vlastnosti křížení, podmínky užití a obsluhy včetně udání příslušných hodnot opotřebením jednotlivých částí z hlediska bezpečného provozování tramvajové dráhy. Schválení v rámci stavebního řízení podléhá i křížení tramvajových a železničních drah. 14.21. Kolejové žlábků se u srdcovek zásadně vyvažují na hloubku 16 mm pod TK. Pokud je matematický úhel křížení větší než 20° je nutno provést navaření dna žlábků.

11.7 Komplexní technická prohlídka kolejových křížení se provádí 1 x za šest měsíců. Kontroluje se výškové a boční ojetí kolejnic, stav srdcovek, vzájemná poloha kolejnicových pásů stav svarů, směrové a výškové poměry. V provozu nesmí být ponecháno křížení s lomem srdcovky. Technický stav kolejových křížení se posuzuje podle mezních hodnot tohoto předpisu. Prohlídky přejezdů dle vyhlášky 177/199 Sb. se u tramvajových tratí provádějí pouze jednou za 12 měsíců. 16.01 Směrnice T03 se krátce věnuje i problému křížení drah. Důkladně upozorňuje na to, aby se zamezilo zřizování nových úrovnových křižovatek tramvajových drah s dráhami celostátními či městskou rychlodrahou. Povinností je projektovat případné vzniklé křížení mimoúrovňově a vyhnout se určitým konstrukčním problémům. 16.02 U původního nebo rekonstruovaného křížení drah musí být kolejový svršek uspořádán tak, aby byla zajištěna dostatečná bezpečnost proti vyšnutí a aby nárazy při přejíždění byly omezeny na nejmenší míru. Konstrukce křižovatky podléhá schválení příslušnému majiteli dráhy. 16.03 Ve větvi křížení provozované železničními vozy neplatí tolerance rozchodu při přejímce ani mezní provozní odchylky těchto PTP. Rovněž ověřování stavu křížení nezahrnuje pravidelnou kontrolu příslušného traťmistra ČD (dnes traťmistra SŽDC).

V této směrnici je dále dle odstavce 6.3. řečeno, že v převýšení v kolejových kříženích nesmějí vytvářet zborcené plochy tak, aby nepřekročily maximální hodnotu strmosti koleje 1:140 při rychlosti do 20 km/h. Zároveň v odstavci 14.25. je také poznamenáno, že vyvaření kolejnicové žlábkové je nutné provést tak, aby náběhy návaru měly maximální strmost 1:30. Strmost dna žlábkové kolejnice musí být započítána do celkové strmosti koleje, aby nebyla překročena celková strmost 1:140. Z toho vyplývá, že hodnota strmosti koleje v místě křížení, kde je uvažováno s náběhem, nesmí překročit poměr 1:110 [14].

Doporučení: U kolejových křižovatek musí být začátek i konec náběhů vyvařeného žlábkové ve stejném místě příčného řezu koleje. Zvýšení intervalu kontrol a prohlídek kolejových křižovatek. Kvůli vzniku skluzných vln snížit sklony náběhů ve žlábkách, které jsou dle této směrnice 1:30. Mezní ojetí při použití návaru upravujícího pojížděnou hranu kolejnice. Určení hrazení nákladů správců obou křižících se drah.

4.5. S3 díl IX Železniční svršek – výhybky a výhybkové konstrukce

Jedná se o vnitřní předpis, podle něhož SŽDC jedná a rozhoduje. Zaobírá se konstrukčním uspořádáním výhybkových konstrukcí, značením konstrukcí, ovládním nebo opotřebením výhybkových součástí.

14. Kolejové křižovatky jsou konstrukce umožňující křížení dvou kolejí. Standardní konstrukce jsou poměrové nebo stupňové a mají obě větve přímé. 16. Za atypické konstrukce se považují výhybkové konstrukce, pro které není zpracována platná typizovaná dokumentace. Jde zejména o kolejové křižovatky koleje normálního rozchodu s kolejí dráhy tramvajové. Atypické konstrukce lze navrhovat jen se souhlasem SŽDC OTH a na základě jím odsouhlasené konstrukce. Spadá sem i křížení železniční a tramvajové dráhy. 25. Přímé kolejové křižovatky jsou charakterizovány úhlem křížení a použitou soustavou. 54. Kolenová kolejnice

a přídržnice dvojitých srdcovek jsou konstruovány tak, že teoretická šířka žlábků v hrdle je 41 mm. Šířka žlábků na konci výběhu přídržnice musí mít hodnotu nejméně 75 mm. 56. Šířka žlábků mezi přídržnicí a pojížděnou kolejnicí není hodnota rozhodující. Jako pomocná hodnota je stanovena na 40 ± 1 mm. V provozu nesmí být šířka žlábků u přídržnice menší než 38 mm a větší než 48 mm [15].

Doporučení: Sestavit příklady atypických konstrukcí, mezi které zařadit i kolmá křížení dvou drah. Možnost upravit profil kolejnice v místě křížení dvou různých drah tak, aby bylo dodrženo bezpečnostní kritérium proti vyšínutí vlivem šplhání okolku na temeno kolejnice.

4.6. ČSN 73 6380 Železniční přejezdy a přechody

Ve smyslu této normy se za přejezdy nepovažují úroňová křížení pozemní komunikace s tramvajovými drahami umístěnými na pozemní komunikaci, na kterých se jízda tramvajových vlaků řídí pravidly silničního provozu. Vlečka Výstaviště je sice součástí pozemní komunikace, ale dle normy se vlečka křížící s pozemní komunikací považuje za přejezd. Délka přejezdu se měří v ose komunikace. U přejezdů bez závor je to vzdálenost průsečíků této osy s konci nebezpečného pásma. Šířka přejezdu se měří v ose koleje a rovná se vzdálenosti průsečíku této osy s ohraničením volné šířky komunikace. Není dovoleno křížení pozemních komunikací na přejezdu nebo v jeho bezprostřední blízkosti. Stavební úprava povrchu přejezdu musí být provedena tak, aby odpovídala zatížení silničním provozem a zajišťovala bezpečnost provozování drážní dopravy a silničního provozu. Konstrukce vozovky musí být rozebíratelná pouze na dráze celostátní a regionální. Srážková voda z pozemní komunikace nesmí být svedena do přejezdu. Toto je možno zajistit vhodnou kombinací výškového řešení a příčného sklonu vozovky v blízkosti přejezdu. Zabezpečení přejezdu pouze výstražným křížem lze zřídit, pokud je dopravní moment přejezdu menší než 10 000 [16].

Doporučení: Začlenit mezi přejezdy úroňová křížení železniční dráhy s tramvajovou dráhou, která je součástí pozemní komunikace. Zařazení stanoviska pro bezpečnost proti vykolejení při jízdě po okolcích.

4.7. ČSN 28 0318 Průjezdny průřezy tramvajových tratí

Spodní vymezení obrysu pro kolejová vozidla (obr 4.2.) se určuje odstupem od spojnice temen kolejnic při maximálním ojetí obručí kol. Tento obrys nesmí být překročen při nejnepříznivější kombinaci zatížení a opotřebenými obručemi, zejména jejich okolky a čepy. Spodní vymezení průjezdného průřezu má být proveden tak, aby povrch krytu tramvajové tratě tvořil přímou spojnici temen kolejnic nebo případně přírub (tzn. nikoliv se střechovitým sklonem v příčném řezu. Za provozu smí povrch krytu vystupovat nad spojnici temen kolejnic maximálně o 30 mm. Při použití širokopatných kolejnic smí do spodního vymezení průjezdného průřezu zasahovat pouze přídržnice. V případě žlábkových kolejnic je spodní vymezení průjezdného

5. Přehled vlastností současných křížení

5.1. Současný stav

Všechna kolmá křížení DPMB jsou umístěna v pozemní komunikaci s tramvajovou tratí v úrovni vozovky. Mimo křížení na Posvitavské vlečce jsou navíc křížení umístěna v křižovatce, kde jsou kolejnicové pásy namáhány automobilovou dopravou všemi směry. Z důvodů vysokého namáhání vozidly je tramvajový kryt asfaltový, který se považuje za rozebíratelný.

Pro kolmá křížení se v této práci často používá výraz přejezd, který není zcela vyhovující, ale pro použití některých norem je užíván.

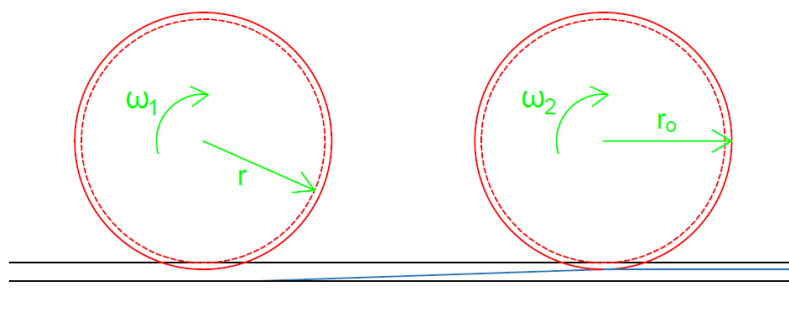
Dle zákona o provozu na pozemních komunikacích je železniční přejezd místo, kde se úrovně kříží pozemní komunikace se železnicí, popřípadě s jinou dráhou ležící na samostatném tělese, a označené příslušnou dopravní značkou.

Nevýhodou těchto přejezdů jsou tramvajové tratě, které jsou součástí vozovky a kolmo protínají koleje železničních vleček. Tramvaje DPMB najíždějí na křížení v pravidelných intervalech a způsobují dynamické rázy a otřesy celé konstrukce. Tohle způsobuje nadměrné opotřebení jízdních obrysů kolejových vozidel obou křížících se drah.

5.2. Defekty křížení

5.2.1. Podélné skluzové vlny

Častými vadami křížení jsou okem rozpoznatelné podélné skluzové vlny na temenech kolejnic. Skluzové vlny vznikají v místě vyvařených náběhů kolejnicových žlábků. Na vině je změna kontaktu kola a kolejnice. Kolo dvojkolí přechází z pojížděné plochy na samotný okolek. Průměr kola při běžném pohybu v koleji je v místě pojížděné plochy menší než průměr kola při jízdě po okolcích, který je větší. To způsobuje náhlou změnu úhlové rychlosti. Rychlost po kružnici lze získat následujícími vztahy.



Obr. 5.1. Schéma změny úhlové rychlosti

Vztah mezi úhlovou dráhou φ a obvodovou dráhou s :

$$\varphi = \frac{s}{r} ,$$

kde r je poloměr kola.

Vztah mezi úhlovou dráhou φ a úhlovou rychlostí ω :

$$\omega = \frac{\varphi}{t} ,$$

kde t je čas.

Vztah mezi obvodovou rychlostí v a obvodovou dráhou s :

$$v = \frac{s}{t} .$$

Vztah mezi úhlovou rychlostí ω a obvodovou rychlostí v :

$$\omega = \frac{v}{r} .$$

Po dosazení parametrů od změny jízdy po jízdni ploše a po okolku získáme 2 rovnice:

$$v_k = \omega_k r_k ,$$

kde r_k je poloměr kola v místě pojížděné plochy.

$$v_o = \omega_o r_o ,$$

kde r_o je poloměr kola v místě okolku.

Při konstantní obvodové rychlosti a změně poloměru přenesením zatížení z pojížděné plochy na okolek (tzn. zvětšení poloměru) se úhlová rychlost vždy zmenší.



Obr. 5.2. Skluzové vlny vlivem změny úhlové rychlosti

5.2.2. Ojíždění hrotu srdcovky

Hroty srdcovek a přídržnic pojížděných hran kolejnic jsou namáhány především při dopadech kola po přeskočení mezery v pojížděné hraně kolejnice. Velikost namáhání je závislé na nápravovém zatížení, průměr kola dvojkolí (lokomotiva 1250 mm, tramvaj 600 mm), četnosti projetí, rychlosti a šířky mezery v pojížděné hraně kolejnice. Nejnepříznivější kombinace je malý průměr tramvajového kola, vysoké nápravové zatížení a vysoká rychlost. Tomuto defektu lze zamezit vložením vyvýšeného návaru, který umožní jízdu po okolku. Ten se však po určitém zatížení vyjíždí a problém s ojížděním srdcovky se opakuje.

5.2.3. Ojíždění žlábků kolejnic

Jízdu dvoukolí po okolcích sice zamezíme dynamickým rázům ale pouze do určitého ojetí návaru žlábků. Ten má zpravidla omezený počet opravných vyvaření. Při vyšším vyjetí drážky v návaru dochází opět ke kontaktu pojízdné plochy kol s pojížděnou hranou kolejnic. Ojíždění návaru je závislé na typu okolku, nápravovém zatížení nebo směrovém řešení. Pro minimalizaci ojíždění je vhodné upravit okolek tak, aby měl co možná nejširší kontaktní plochu. U křížení, na kterém je směrové řešení v oblouku vznikají při jízdě po okolcích drážky dvě. Důvodem jsou podvozky o dvou nápravách, u kterých dochází v oblouku ke vzpříčení.



Obr. 5.3. Rýha na temeni kolejnice

5.2.4. Příčné rázy

Tohle namáhání kolejnic je zapříčiněno náhlou změnou převýšení vzniklou navařeným náběhem vyvařeného žlábků se sklonem 1:30 (dle směrnice T8). Nutností pro zamezení vzniku převýšení a tím i příčných rázů, je navrhování náběhů v jednom místě příčného řezu kolmého na osu koleje. Náběh musí být navržen lineárně. Dle ČSN 73 6360-1 má na železniční dráze lineární vzestupnice v celé své délce kromě zaoblení začátku a konce stejný sklon. Je určen poměrem 1: n . Součinitel sklonu n nesmí být však menší než 400 (tzn. 2,5 mm/m) [18]. To v tomto případě však neplatí. Příčné rázy mohou nastat i při jízdě po okolcích v celé délce křížení s navařeným žlábkem, pokud je osa koleje ve směrovém oblouku.

5.2.5. Propadání krytu vozovky

Deformace vozovky v těsném kontaktu s kolejnicí je způsobena nejen dynamickými rázy od kolejových vozidel ale taky silniční dopravou. Napomáhá tomu i obtížné podbíjení v blízkostí kolejnic. Řešením mohou být nalepené pryžové bokovnice, které vyplní z obou stran kolejnicové kapsy. Bokovnice navíc zamezují opotřebení jízdního obrysu asfaltovým krytem vozovky, který často zasahuje výš než temena kolejnic.

6. Přehled křížení tramvajových a železničních tratí v Brně

6.1. Křížení s Posvitavskou vlečkou

Je umístěno na konci ulice Křenová před mostem přes řeku Svitavu. Z drážního pohledu se křížení dvou drah na ulici Křenová považuje za přejezd. Na tomhle přejezdu číslo P6837, který je na km 1,267 Posvitavské vlečky, je z důvodu opatření proti vyšínutí dovolená rychlost na vlečce omezena na 30 km/h. Dle vlastního šetření je však rychlost nižší. Tramvaje na linkách č. 8, 9 a 10 Dopravního podniku města Brna musí jet v místě křížení po hrotech okolků.

Místní komunikace, jejíž součástí je tramvajová trať, se dle ČSN 73 6110 – Projektování místních komunikací [19], řadí mezi místní komunikace s funkční skupinou B, kterou je dopravně významná sběrná komunikace s omezením přímého připojení sousedních nemovitostí. Sběrná komunikace na ulici Křenové přivádí dopravu z jižní části centra Brno na ulici Olomoucká a v budoucnu na velký brněnský okruh. Přejezd přes silnici je z důvodu špatných rozhledů a špatných místních podmínek zabezpečen světelným signalizačním zařízením bez závor.

Jedná se o kolejovou křižovatku dvoukolejně tramvajové dráhy a jednokolejně Posvitavské vlečky. Z hlediska směrových poměrů se jedná o přímé úseky jednotlivých os kolejí. Kolej vlečky je v oblasti křižovatky ve vodorovném sklonu. Kolej tramvajové dráhy stoupá v podélném sklonu cca 14 promile směrem od centra města k mostu přes Svitavu. Tím vzniká i výškový rozdíl obou kolejnicových pásů vlečky 20 mm.

Křížení je zhotoveno jako svařenec jakosti R260 a kolejnic. V trati vlečky jsou použity svařence délky 7 850 mm jakosti R260, ke kterým jsou přivařeny na obou koncích kolejnice Ph37. Svařence jsou ofrézovány a je v nich obroben žlábek a hlava tvaru kolejnice. Žlábek pro drážní vozidla má hloubku 40 mm a šířku 41 mm.

V tramvajové trati jsou použity náběžné kolejnice NT, které jsou přivařeny ke svařenci použité pro pohyb drážních vozidel. Tímto svařením náběžných kolejnic NT a obou svařenců s přivařenými kolejnicemi PH37 vzniká svařenec délky 12 875 mm a šířky 2 365 mm. Na místě stavby jsou ke svařenci přivařeny kolejnice NT1 ve směru tramvajové dráhy k městu a přechodové kolejnice NT1-B1 ve druhém směru tramvajové dráhy. Žlábek tramvajové dráhy má hloubku 16 mm a šířku 33 mm.

Křížení je připevněno na ocelové plechy tloušťky 15 mm, a to za použití tuhého upevnění typu K se svěrkou ŽS 4 a za použití pryžových elementů. Plechy budou upevněny k panelům DZP pomocí svěrek T5/T6.

Kolejnice obou drah jsou v místě křížení uloženy na panely DZP s podsypanými štěrkovými vrstvami. Kryt vozovky je živičný a je odvodněný podélným sklonem směrem k městu. Dále je kryt střežovitý. Odvodnění uvnitř konstrukce je řešeno vsakem do podkladních vrstev [20].

Konstrukce kolejí:

- kolejnice: tramvaj: NT1
vlečka: Ph37
- panel DZP osmidrážkový 200 mm
- kamenná drť: fr. 4-8 50 mm
- geotextilie
- štěrkové lože fr. 32-63 150 mm
- geotextilie
- štěrkoдрť 300 mm
- celkem 900 mm pod patou kolejnice

Konstrukce živičného krytu:

- asfaltový beton ACO11+ 50 mm
- spojovací postřík PS-EK
- asfaltový beton ACO11+ 50 mm
- spojovací postřík PS-EK
- asfaltový beton ACP16+ 100 mm
- celkem 200 mm

6.2. Křížení s vlečkou Výstaviště (ul. Nové sady a ul. Poříčí)

Podklady konstrukce křížení na vlečce Výstaviště nebyly dohledány a poskytnuty provozovatelem vlečky ani DPMB. Provozovatelem vlečky je společnost BVV Brno.

7. Přehled křížení tramvajových a železničních tratí v ČR

7.1. Ostrava

V městě Ostrava při budování Vítkovických železáren bylo zřízeno několik nových vleček sloužící pro převoz materiálů mezi jednotlivými bloky areálu. Při tom vznikla i spousta nevyhnutelných kolejových křížení, která se nacházejí nejen uvnitř areálu, ale i v úsecích mezi jednotlivými areály, kde se kříží s místní tramvajovou dráhou. Na ulici 1. Máje v městské části Vítkovice, je tramvajová dráha Dopravního podniku Ostrava, a.s., celkem na pěti místech křížena vlečkou Vítkovic, a.s. Z toho tři křížení K1, K2 a K3 tramvajové dráhy s vlečkou jsou téměř kolmá.

Další téměř kolmé křížení je na ulici Šenovská, kde je tramvajová dráha křížena vlečkou, která je součástí vlečkové sítě OKD. Křížení je pojížděno tramvajemi linky číslo 4 po 40. minutových intervalech.

Poslední křížení je na ulici Ruská, kde vlaky přejíždějí přes tramvajovou dráhu opět mezi jednotlivými bloky Vítkovického areálu. Křížení není kolmé, za to železniční trať je dvoukolejná. Jedná se o 2 kusy dvojitých kolejových křižovatek kolejí DPO s kolejemi vlečky Vítkovic.

U všech konstrukcí je upřednostněna jízda po okolcích vozidel obou drah. Přispívá tomu i navržený jízdní obrys tramvajového kola DPO, který má širší vrchol okolku. Proto nedochází k tak vysokému opotřebení dna žlábků ani hrotu okolku.

7.1.1. Popis konstrukce křížení na ul. 1. Máje

Svršek všech čtyř křížení na ulici 1. Máje je z kolejnic tvaru T. Ze všech směrů jsou vloženy přechodové kolejnice. V případě vlečky se přechází z kolejnic 49 E1 na tvar T. U tramvajové dráhy z tvaru NP4 na T. Žlábek v konstrukci vozovky je vytvořen vloženou kolejnicí stejného tvaru nahrazující přídržnici. Šířka žlábků je 45 mm. Náběhy jsou v délce 310 mm, tedy při změně hloubky o 20 mm vychází poměr 1:15,5. Konec a začátek vyvýšeného žlábků je cca 1250 mm od osy krajní koleje. Na sebe dosedající kolejnice jsou vzájemně svařeny a spojeny úhlovými spojkami sepnuty skrze kolejnice nýtovanými spoji. Kolejnice jsou uloženy na dřevěných pražci s atypickými podkladnicemi. V místě křížení jsou podkladní plechy většího formátu. Upevnění kolejnic je tuhé typu K se svěrkami ŽS 4. Kryt vozovky je živičný. Zabezpečení přejezdů je světelnou signalizací bez závor.

7.1.2. Popis konstrukce na ul. Ruská

Svršek tohoto křížení je ze žlábkových kolejnic jak ve směru dráhy tramvajové, tak železniční dráhy. Přechodové kolejnice jsou použity na dráze železniční, kde kolejnice tvaru 49 E1 přechází na tvar NP4. Žlábek je vyvařen na hloubku 20 mm a na šířku 42 mm (měřeno 8 mm pod TK). Náběh i zúžení žlábků v délce 1000 mm poměrem 1:40. V průběžných žlábkových kolejnicích jsou vyřezány mezery, do kterých se vloží žlábkové kolejnice vlečky. Vzájemně se sešroubují spojkami. Konstrukce

křížení je uložena na dřevěných pražcích. Podkladní plechy pod styky kolejnic jsou většího formátu. Upevnění kolejnic typu K.

V říjnu 2002 byla provedena na náklady VÍTKOVICE Doprava, a.s. generální oprava tohoto křížení drah. Rekonstrukcí byla povinná VÍTKOVICE Doprava, a.s., a to dle Zákona č.266/1994 Sb. O drahách a navazující Vyhlášky Ministerstva dopravy a spojů a dle vyhláškou č.177/1995 Sb., kterou se vydává stavební a technický řád drah. Původní stávající dvoukolejnou tramvajovou dráhu bylo nutno pro potřebu VÍTKOVICE doprava, a.s. křížit železniční vlečkou Významný vliv na poškozování vzájemného křížení má i tramvajová doprava Dopravní podniku Ostrava a.s. V celkové výši finančních nákladů uhrazenými Vítkovicemi byly zahrnuty jak vlastní křížení, tak i náklady vzniklé výlukou tramvajové dopravy i vlečky. Obě strany se následně dohodly na vyrovnání, při kterém DPO doplatí Vítkovicím 50 % z celkové hodnoty [21].

Generální oprava křížení sestávala z následujících etap:

- Snesení konstrukce vozovky
- Vyjmutí křížení, jeho demontáž a likvidace
- Výkop starého a zřízení nového kolejového lože
- Vložení nového kolejového křížení
- Propojení s kolejemi DPO a Vítkovice doprava a.s.
- Zajištění GPK a podbití strojní podbíječkou
- Svaření kolejnicových styků
- Zřízení nové konstrukce vozovky

7.2. Olomouc

Městem Olomouc se protíná několik regionálních drah a vleček s tramvajovou dráhou. Všechna křížení jsou pravidelně přejížděna železniční dopravou. I zde má železniční dráha ve všech kříženích přednost před tramvajovou dráhou. Tramvaje, však musí jet okolky po temenech kolejnic železniční dráhy.

Nejfrekventovanější křížení, co se týká železniční dráhy, je v blízkosti galerie Šantovka na ulici Švýcarské nábřeží. Projíždějí zde jak nákladní vlaky, tak i vlaky s cestujícími. Křížení je mezi stanicemi Olomouc hlavní nádraží a Olomouc – Nová Ulice na traťovém úseku číslo 275. Dle jízdních řádů zde denně projede nejméně 32 souprav. Křížení nejvíce trpí přejížděním tramvají. Musí odolávat velkým nárazům tramvají přeskakujících přes temena kolejnic. V denní špičku je pojížděna, alespoň jedna kolej tramvajové dráhy, i po pěti minutových intervalech tramvajemi číslo 3 a 5. Křížení se nenachází v konstrukci vozovky, ale na svém vlastním tělese. Od silničních pásů je tramvajová dráha oddělena vyvýšenými obrubníky. Úhel mezi oběma dráhami není kolmý, proto nevzniká riziko vyšinutí. Přejezd vozovkou a tramvajovou dráhou je zabezpečen světelnou signalizací. Vozovka je navíc zabezpečena závorami.

Křížení na ulici Wolkerova je se zatížením kolejovou dopravou na tom obdobně jako křížení u galerie Šantovka. Traťový úsek číslo 275 vedoucí ze Senice na Hané do Olomouce hlavní nádraží protíná i tohle křížení. Tramvaje číslo 1, 3, 4 a 6 projíždí tímto

místem téměř každých 5 minut. Zabezpečení přejezdu je světelnou signalizací bez závor.

Tramvajovou dráhu na ulici Palackého, trasy linek 7 a 2, opět kříží železniční trať číslo 275. Přejezd v blízkosti komplikované křižovatky je zabezpečen pouze světelnou signalizací bez závor.

Další trať číslo 310, z Opavy – Východ do Olomouce hlavního nádraží, je těsně před konečnou stanicí křížena tramvajovou tratí linky číslo 4. Silnice číslo 46 je zatížena tramvajovou dopravou, oproti předchozím křížením, pouze v intervalu 15 minut. Zabezpečení přejezdu je světelnou signalizací bez závor.

Všechna křížení Olomouckého dopravního podniku jsou obdobná. Byla projektována podle maďarského vzoru. Vlak jede po železniční trati po souvislých, nepřerušovaných kolejnicových pásech tvaru R 65. Dvě sružené kolejnice R 65, mezi kterými je ocelová vložka tvoří společně žlábek pro okolek vlaku. Protože pojížděná hrana kolejnice je nepřerušovaná musí tramvaje přesakovat přes temena kolejnic po okolcích. Kvůli dynamickým účinkům jsou těsně před křížením ke kolejnicím NT1 navařeny kolejnice 105C1. Kolejnice 105C1, u které se upraví temeno a žlábek podle kolejnice NT1, má větší průřezovou plochu. Tím vzniká větší kontaktní plocha s čelní deskou tlustou 15 mm. Čelní desky, které jsou ke kolejnicím 105C1 navařeny koutovým svarem, jsou uloženy z obou stran sružených kolejnic R 65. Po uložení se do předem vyvrtaných otvorů v čelních deskách a v sružených kolejnicích prostrčí a následně utáhne spojkový šroub M24L-5.6. Opatří se podložkou č.24, dvojitým pružným kroužkem Fe6 a utáhne se šestihrannou maticí M24-5. Kolejnicové pásy tramvajových tratí 105C1 jsou v místě křížení nadvýšeny podložkami o 14 mm nad temenem kolejnicových pásů železniční tratě. Nadvýšení kolejnice částečně zajišťuje vedení tramvajového dvojkolí. Tím je umožněno při vyvaření žlábků, překonat temeno kolejnicového pásu železniční tratě. Na kolejnicích, které slouží pouze jako přídržnice pro vedení železničního dvojkolí, a společně s vložkou a pojížděnými kolejnicemi tvoří žlábků pro okolky vlaku, jsou vyvařeny tvrdonávary. Ten smí být vyvařován při údržbách zpravidla maximálně šestkrát během své životnosti. Pak by mělo dojít k výměně celé konstrukce. Mezera mezi náběhy nadvyšujícími kolejnicové pásy tramvajových tratí 180 mm nezpůsobuje vyšinití. Tomu je zabráněno úhlem křížení, který není kolmý. Nevýhodou konstrukčního řešení je nejen ojíždění okolku na dvoukolí tramvaj, ale i ojetí temen kolejnic při vystoupení okolku na temeno kolejnice. Na kolejnicích vznikají po okolcích drážky, které se s počtem přejetí úměrně prohlubují. Pokud je v křížení zrovna oblouk tramvajové trati, vzniká z důvodu podvozku o dvou nápravách ojetí temene jako dvě drážky těsně u sebe. Vzniklé drážky způsobené okolky tramvaj způsobují dynamické rázy železničních vozů.

Pod konstrukcí křížení je na původní podkladní vrstvě vybetonována železobetonová deska s výškovou přesností plus/minus 5 mm o tloušťce 200 mm. K ní se šrouby připevní podkladnice o tloušťce 15 mm. Pod kolejnice uložené na podkladnicových ocelových plechách jsou podstrčeny pryžové podložky, které vyrovnávají nepřesnost železobetonové desky. Kolejnicové upevnění je tuhé typu K se svérkovým kompletem ŽS 4 [22].

7.3. Praha

Celkem 3 kolmá křížení tramvajové tratě s železniční dráhou byla vložena donedávna v Praze Smíchov. Vlečka závodu ČKD Tatra vedla ze stanice Praha - Smíchovské nádraží, podél Stroupežnického ulice. Protínala tramvajovou trať v ulici Plzeňská, v ulici Radlická a na ulici Za ženskými domky. Při výstavbě stanice metra Anděl a autobusového nádraží Na Knížecí, musela být vlečka, za současného provozu původní vlečky, přeložena o pár metru na východ k budoucí stanici metra Anděl. V roce 1980 proběhlo zdvoukolejnění tramvajové tratě v ulici Za Ženskými domovy. Kromě provozovaného křížení bylo při této příležitosti do tramvajové trati v předstihu vloženo i křížení s novou polohou vlečky. Součástí křížení byla oblouková spojka, umožňující předávání tramvají z ČKD Tatra na tramvajovou trať. Po přestěhování závodu ČKD Tatra ze Smíchova do Zličína v první polovině 90. let minulého století, se vlečka stala nepotřebnou. Přestože křížení v ulici Plzeňské a Radlické byla odstraněna a kolejiště za bránou areálu ČKD Tatra bylo zrušeno, křížení vlečky na ulici Za Ženskými domovy lze dodnes vidět na původním místě. Po vlečce zbyly v konstrukci vozovky už jen zbytky kolejí. V místě křížení jsou koleje vlečky odříznuty, aby nebránily volnému průjezdu tramvají [23].

7.4. Křížení ve výrobních halách

Také v mnoha výrobních závodech, které využívají kolejovou dopravu pro snadnou manipulaci s těžkými břemeny, je často posun souprav ve dvou na sebe kolmých směrech. Soupravy jsou posunem natlačeny do hal. Pro manipulaci v příčném směru haly slouží manipulační vozíky, které byly sunuty ručně. Od běžných železničních vozů se manipulační vozíky liší malým poloměrem kol a válcovým nebo kuželovým obrysem kol.

Křížení jsou uzpůsobena jízdě železničních vozů i manipulačních vozíků po okolcích, tedy s vyvařenými žlábkami. Rychlost posunu železničních vozů je omezena na tolik, že nedochází k dynamickým rázům při překonávání žlábků pro okolek manipulačních vozíků. Posun manipulačních vozíků je ruční. V halách dochází pravidelně k vyšínutí manipulačních vozíků z kolejí. Proto se pojižděný kryt obvykle dělá dřevný. Tím se zamezuje poškozování okolců.



Obr. 7.1. Výhybkárna DT Prostějov

8. Přehled křížení tramvajových a železničních tratí v zahraničí

8.1. Halberstadt

Tramvajová dráha linky č. 2 kříží na dvou místech železniční trať. Před železničním přejezdem se tramvajová dráha sjednokolejní. Tím je sníženo počet křížení a množství přerušení pojížděných hran kolejnic. Jedno z křížení je pod úhlem 90°. Je použit obdobný systém konstrukce jako je v případě DPMO. Kolo vlaku má nepřerušenu pojížděnou hranu. Přídržnici je tvořena zvláštním profilem. Kdežto tramvaje musí na několika centimetrech opustit vedení kola. U kolmému křížení dochází k přerušení směrového vedení celého tramvajového dvojkolí. Tramvaje jsou vedeny pouze svou setrvačností [24], [25].



Obr. 8.1. Halberstadtské kolmé křížení [24]



Obr. 8.2. Halberstadtské šikmé křížení [25]

8.2. Melbourne

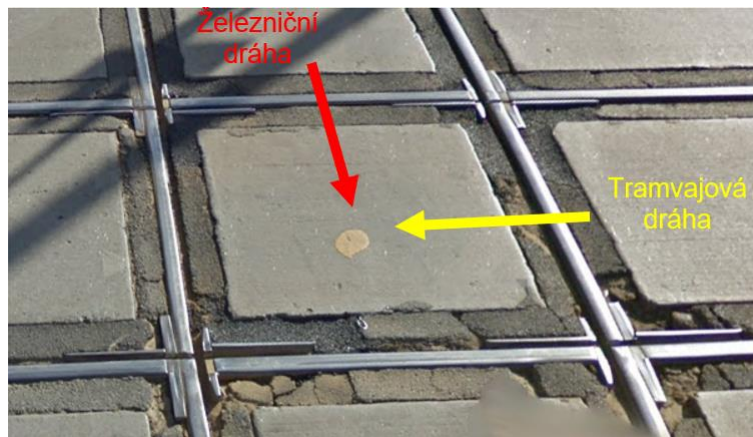
V australském hlavním městě, je kolmých křížení tramvajových drah s železničními drahami několik. Všechny však mají přerušenu pojížděnou hranu v obou směrech. Pojížděná hrana kolejnice železniční dráhy je přerušena pouze úzkou drážkou, tak aby se do ní vlezl na těsně okolo tramvaje. Oproti dřívějším konstrukcím nejsou dnes žlábkové vymezeny přídržnicí, ale pouze asfaltovým krytem. Kryt je tvořen kombinací prefabrikované desky, kolem které je asfaltová část krytu. Pouze v těsné blízkosti styku kolejnic je žlábkové vymezen tenkým úhelníkem, který zabraňuje protlačování asfaltové části krytu k pojížděné hraně. Tyto typy křížení se nacházejí u zastávek Riverslide Station a Glenhuntly Station, nebo Kooyong station [26], [27], [28].



Obr. 8.3. Melbournský starší typ křížení



Obr. 8.4. Křížení u zastávky Riverslade Station [27]



Obr. 8.5. Křížení u zastávky Kooyong Station [28]

8.3. Dálkově ovládaný železniční křížení v Abendsternu, Německo

Netradiční řešení, zvolili na trati z Biebertal do Giessen, vybudované v roce 1898, kde jednokolejná trať o rozchodu 1 000 mm kříží dvoukolejnou dráhu normálního rozchodu. Jednokolejná trať délky 9,5 km byla postavena z města Giessenu do obce Biebertal. Vedla podél řeky Bieber a sloužila pro převoz vápence a železné rudy. Východně od Giessenu se v úrovni protínala s tratí Lollar – Wetzlar.

Jde poměrně o složitou konstrukci. Na obrázku je možné vidět systém, kde pohyblivé části jsou vzájemně propojeny a kde otáčení je umožněno společnou vazbou. Hlavním prvkem mechanismu je dlouhá tyč ve směru jednokolejné trati. Tyč je navíc upevněna pod kolejnicemi dvoukolejné trati. Několika násobnou kloubovou vazbou je tyč spojena s pojížděnými částmi, které jsou při pohybu tyče přitlačeny k průběžným kolejnicím. Nevýhodami konstrukce je citlivost pojížděných prvků na nadměrné zatížení od pojíždějících vlaků a komplikované řešení mechanismu náchylné na opotřebení. Toto řešení nelze provést ve vozovce s pojížděným tramvajových krytem.



Obr. 8.6. Abendsternské křížení

8.4. Austrálie, Queensland, jižně od Rockhamptonu (drawbridge)

Další netradičně vyřešená křížení jsou zkonstruována v Australském Queenslandu, jižně od města Rockhampton ležícího na východním pobřeží kontinentu. Trasy vlaků vezoucích cukrovou třtinu do stále provozovaných cukrovarů musely celkem na 15 místech protnout vysokorychlostní, elektrifikovanou trať. Provozovatel Queensland Rail obsluhuje Severní, pobřežní Australskou dráhu elektrickými vlaky s naklápěcími skříněmi o maximální rychlosti 160 km/h. Z 15 míst bylo na třech místech křížení původně řešeno běžným způsobem. Temena kolejnic byla ve stejné úrovni. Při výstavbě australské vysokorychlostní tratě, z důvodu omezení rychlosti, které křížení způsobuje, byly zkonstruovány pohyblivé kolejové segmenty s různými výškami temen kolejnic.



Obr. 8.7. Volná hlavní trať [29]



Obr. 8.8. Volná železniční vlečka [29]

Zvedací most je vždy ve vzpřímení poloze, což umožňuje vlakům Queensland Rail volný průjezd. Když se vlak vezoucí cukrovou třtinu přibližuje ke křížení, strojvedoucí aktivuje padací most pomocí dálkového ovládní uvnitř kabiny lokomotivy. Na hlavní trati se aktivuje návěst stůj zakazující strojvedoucímu jízdu vlaku. Jakmile je most ve vodorovné poloze, vlak po něm jedoucí může překročit železniční trať Queensland. Po přejetí se most automaticky zvedne, aby uvolnil hlavní trať a přeplnul návěst na signál volno. Pokud se železniční vlak na hlavní trati blíží k padacímu mostu, most se nebude pohybovat, ani když se o to pokusí řidič jedoucího vlaku po vlečce. Pokud se vlak na železniční vlečce nezastaví na signál stůj, dojde k jeho vykolejení v záchytném bodě. Ten je umístěn v dostatečném předstihu, aby nedošlo ke kolizi s vlaky Queensland rail [29].

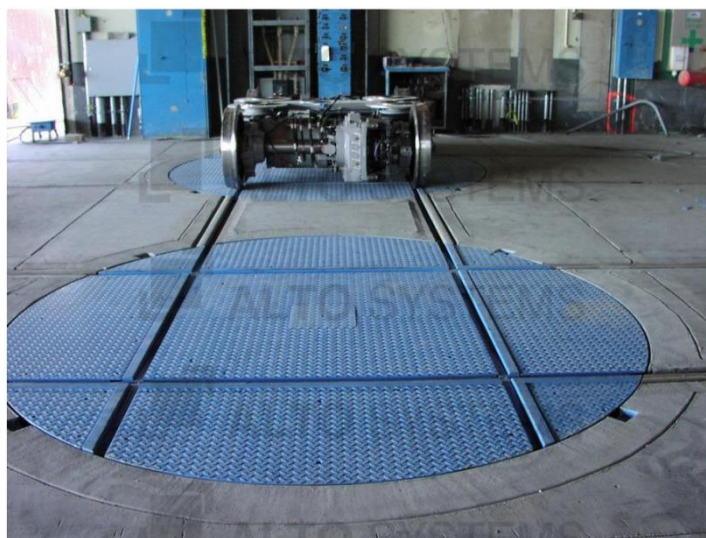


Obr. 8.9. Zabezpečovací a dilatační zařízení [29]

8.5. Točna

K účelům s manipulací s těžkými břemeny lze využít systém točny. Ty jsou určeny k otáčení podvozků, a jednotlivých sad kol kolejových vozidel. Jsou vhodné všude tam, kde je nutné měnit směr jízdy podvozků, například na jinou kolej. Točna je vyrobena z dostatečně dimenzované konstrukce. Kroví deska točny je ze slzičkového plechu. Jejich nosnost je přizpůsobena na přejezd jakéhokoliv kolejového nebo kolového vozidla dle požadavků. Společnost ALTO SYSTEMS s.r.o má mezi svými produkty, jak točny s mechanickým otáčením, tak i s elektrickým otáčením. Lze si zvolit točnu s jednou kolejí nebo s dvěma koleji na sebe kolmými. Nevýhodou této konstrukce je možné zanášení nečistotami. Tento stavební objekt je složen ze dvou samostatně realizovaných částí. Z železobetonové vany kruhového průřezu a pojižděné svařované konstrukce. Kovová část je kloubově uložena čepem ve středu desky k vaně. Po obvodu je podpírána ložisky. Železobetonovou vanu o vnitřním průměru 2,9 m a hloubce až 1 m lze monoliticky vybetonovat na vyrovnanou podkladní vrstvu ze štěrkopísku tl. 100 mm. Tloušťka stěn a spodní desky je závislá na velikosti namáhání. Tvar dna se přizpůsobuje místním podmínkám pro nejvhodnější odvodnění. Dno se odvodňuje žlábkem o sklonu min 2 % a vpustí. Při betonáži je nutné vložit ocelové kotvy pro následující instalace technologií. Nejnamáhánějším místem vany je její

vnitřní kruhová hrana. Hrana je vynechána v tloušťce 150 mm. Do vzniklého úžlabí se navaří na předem zabetonované kotvy kovové profily. Zbytek volného prostoru se vyplní betonovou zálivkou. Tento způsob provedení zamezuje odlomení hrany. Na předem zabetonované kotvy vystupující ze dna vany se navařují stoličky zabraňující možnému vniku vody do technologických částí konstrukce. Stoličky se opatří hlavním středovým čepem a bezúdržbovými ložisky. Stoličky s ložisky jsou umístěny tak, aby podíraly točnu po celém obvodu nejčastěji na osmi místech. Ze širé tratě se kolejnice uloží s přesahem přes hranu vany. Všechny kolejnice se při instalaci svrchní části konstrukce upraví a zbrousí dle potřeby. Kovová konstrukce použitelná na jakémkoliv zatížení a nosnost se dimenzuje na tři zatěžovací stavy, a) nosnost pro otáčení kolejových vozidel, b) nosnost pro přejezd kolejových vozidel, c) nosnost pro přejezd kolových vozidel. V případě Dopravního podniku města Brna se neuvažuje s otáčením kolejových vozidel ani jejich částmi. Kolejnici lze vložit typovou dle zbytku tratě nebo zbrousit dle potřeby. Snahou je dimenzovat a uspořádat výztuhy svrchní kovové části konstrukce tak, aby bylo možno vložit do slznicového plechu otvor s poklopem pro provádění periodických prohlídek a čištění. Kovová konstrukce je průměrem o 100 mm menší než železobetonová vana z důvodu možných výchylek a snadnější manipulaci. Celá svrchní kovová část je zvedána a umístěna do vany autojeřábem. Pro eliminaci zanášení se mezera mezi oběma průměry opatřuje ochranným kartáčem. Doba instalace bez betonování vany je přibližně 3-5 dní. Cena kovové části je odhadována na 900 000 Kč (viz příloha C a D) [30].



Obr. 8.10. Točna společnosti ALTOSystem [30]

8.6. Pennsylvania Railroad, křížení 60 – 90 stupňů z roku 1913

Pro výstavbu Pennsylvania Railroad měli projektanti své vlastní vzory plánů konstrukcí s parametry a specifikacemi, P.R.R. Standard plans. V celkovém množství atypických konstrukcí je podrobně popsáno i křížení kolejí v rozsahu úhlu od 60° do 90°.

Tento typ křížení z ocelové slitiny podle P.R.R. byl používán od roku 1913. Křížení je dále rozděleno do dvou intervalů. Pro úhel $60^\circ - 75^\circ$ musí být konstrukce sestavena ze čtyř samostatných dílů. Pro úhel $75^\circ - 90^\circ$ musí být z důvodu kompaktnosti a omezení počtu spojů vyrobeny pouze dvěma díly. Spoje těchto dvou dílů musí být umístěny v koleji s menší vytižeností. To obnáší důkladnou studii zvyšujícího se provozu pro zjištění vytiženosti obou protínajících se tratí. Pokud jedna nebo obě koleje křížení jsou umístěny v oblouku, musí být plán doprovázen náčrtem ukazujícím stupeň zakřivení a úhel mezi sečnami v průsečniku os křížení. Spoj srdcovkových kolejnic s kolejnicemi v širé trati je vyřešen spojkou z vnitřní strany koleje a přiloženou kolejnicí z vnější strany s temenem hlavy o 9,5 mm pod temene pojížděné kolejnice. Vložka mezi kolejnicemi je pouze po styk kolejnic. Stojina kolejnice křížení je od spoje s širou tratí rozšířena a nahrazuje vložku. Celek je sešroubovaný skrze otvory čtyřmi šrouby. Minimální vzdálenost spoje musí být 1220 mm od hrotu srdcovky. 500 mm od spoje kolejnic se kolejnice plynule mění na kolejnici můstkovou se žlábkem širokým 45 mm. Žlábek je před křížení rozšířený a nahrazuje křídlovou kolejnici, která umožňuje bezpečné vjetí a vyjetí dvoukolí. V případě křížení blízkému pravému úhlu je celá konstrukce složena ze dvou odlitých bloků. Ke spojům těchto dvou bloků se z obou stran přiloží kolejnice, které se utáhnou šesti šrouby skrze celý spoj. Můstková kolejnice je navíc v místě šroubů v plné šířce. Slitina použita na výrobu křížení musela být buď z mansardové oceli, manganové oceli nebo dalších schválených slitin. Při použití jiného typu kolejnic, než je v širé tratí, musí být změna kolejnice provedena přechodovou kolejnicí (viz příloha E).

8.7. Křížení One Way Low Speed

Toto křížení je nainstalováno v Union Pacificu v Chicagu. Hlavní trať je přizpůsobena pro vysokorychlostní osobní dopravu. Konstrukce odstraňuje mezery v pojížděné hraně kolejnic hlavní tratě. Přes temena kolejnic přejíždějí soupravy vlečky. Křížení je složeno ze dvou hlavní segmentů se stykem v koleji menšího významu.

Podobně jsou řešena olomoucká křížení.



Obr. 8.11. křížení v Union Pacificu, Chicago

8.8. San Francisco, točna

Město na západním pobřeží Spojených států Amerických proslulo svou historickou ozubnicovou tramvajovou dráhou. Trasy Powell a Mason jsou obsluhovány vozy s řídicí jednotkou pouze na jedné straně vozu. Proto je na celkem třech místech využíváno otáčení vozů točnami. Strojvedoucí musí najet na točnu a ručně opřením, vůz otočit. Točna je sestavena z talíře, pokrytého dřevěnými prkny, který se otáčí v betonovém základu kruhového tvaru. Talíř se pohybuje po ocelových válečcích. Uvnitř celého tělesa je lanový mechanismus zabezpečující kolejové vozy na kolejích s velkým podélným sklonem [31].

9. Hodnocení řešení

9.1. SWOT Analýza

Ke vzájemnému porovnání bylo vybráno několik konstrukcí křížení zřízených dopravními podniky nebo použity ve výrobních halách. Na jejich vlastnostech byla sestavena SWOT Analýza, která ukazuje nejen silné a slabé stránky ale i příležitosti nebo hrozby při jejich použití (viz příloha F).

Konstrukce DPMB je přizpůsobena volnému průjezdu okolku jízdního obrysu železničního kola a tím nedochází k jeho ojetí. Avšak i v tomto případě musí jet vlak přes přerušenu pojížděnou hranu kolejnice, z čehož vznikají dynamické rázy při dopadu na srdcovku. Řešení se jeví jako odzkoušené s možnou rychlou instalací, či s nízkými náklady na údržbu.

DPMO s řešením umožňujícím jízdu vlaku po nepřerušené hraně kolejnice je z pohledu železniční dráhy nejlepším řešením. Okolek železničního kola se neojíždí, je možný rychlejší průjezd křížením. To však pouze do chvíle, než se na temeni kolejnice vytvoří drážka vzniklá přejížděním kola tramvaje po okolcích. Mimo deformace temene kolejnice železniční vlečky, se protlačují i dna žlábků tramvajové dráhy. Nebezpečím je i riziko vyšínutí, kdy v určitém místě není dvojkolí směrově řešeno.

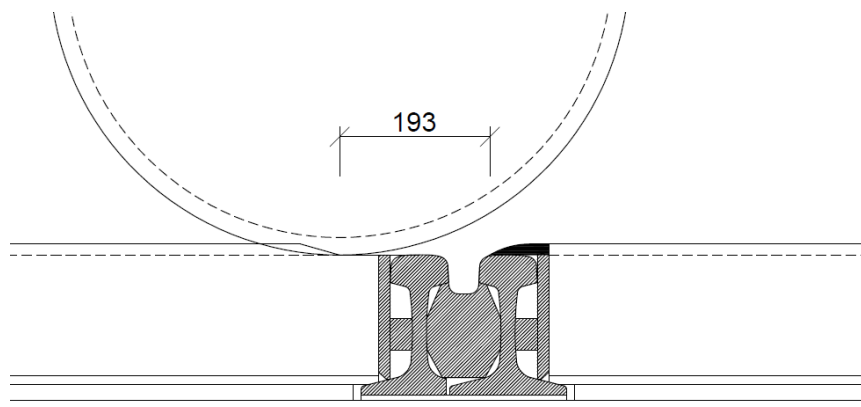
Vhodným řešením se zdá být jízda po okolcích obou protínajících se drah. Křížení DPO je se svou nízkou hlučností výhodná pouze do chvíle, než dojde ke značnému protlačení dna žlábků. Ojíždějí se okolky vozidel i žlábků kolejnic obou drah. Po vytvoření se drážky ve žlábků kolejnice, začne jízdní plocha narážet na pojížděnou hranu kolejnice.

Při pohybu kolejových vozidel výhradně po jedné trati, s výjimečným průjezdem kolejových vozidel v druhém směru lze uplatnit i konstrukci křížení jako točnu. Točna, jejichž mezera v pojížděné hraně kolejnice je mnohem menší způsobuje tak časté zanášení. Proto je točna vhodná spíše do vnitřního prostředí, kde nemusí odolávat tak náročným silničním a klimatickým podmínkám. Výluka při zřízení točny se odhaduje na 5 dní, a to kvůli samotné instalaci vany pro mechanizaci a pojížděné ocelové konstrukce.

Žádná z těchto konstrukcí se však nedá označit jako nejvýhodnější. Vždy docházelo ke zkoušení návrhů a k pozdějším posouzením. Výhodná se může jevit jejich vzájemná kombinace. Pro lepší stabilitu konstrukce je vhodné použít železobetonovou desku pod konstrukci křížení, stejně jako DPMO. Proti dynamickým rázům od obou drah, je při pravidelné údržbě akceptovatelná konstrukce DPO, tedy jízda po okolcích v obou směrech. Avšak v případě použití jízdního obrysu DPMB 004, jehož hrot okolku je mnohem užší, může docházet k vyššímu vyjždění žlábků.

9.2. Jízda tramvajového kola po temeni kolejnice železniční dráhy

Využití křížení maďarského typu použitého Dopravním podnikem města Olomouc je možné pouze při úhlu menším než 86° (za průměru tramvajového kola $R=600$ mm). Mezera mezi tvrdonávarem a náběhem sklonu 1:50 je na kolejnicích R 65. Délka přejíždění pojižděné hrany, kterou musí kolo dvojkolí překonat, aniž by bylo vedeno, je 193 mm. Přičemž při použití dokonale kolmého křížení není ani jedno kolo přidržováno v příčném směru. V tomto případě nedojde k vykolejení vozu pouze z důvodu jeho setrvačnosti a stavu konstrukce styku kolejnice s okolkem.



Obr. 9.1. Jízda okolku tramvajového kola po temenech kolejnic [22]

9.3. Jízda železničního kola po okolku

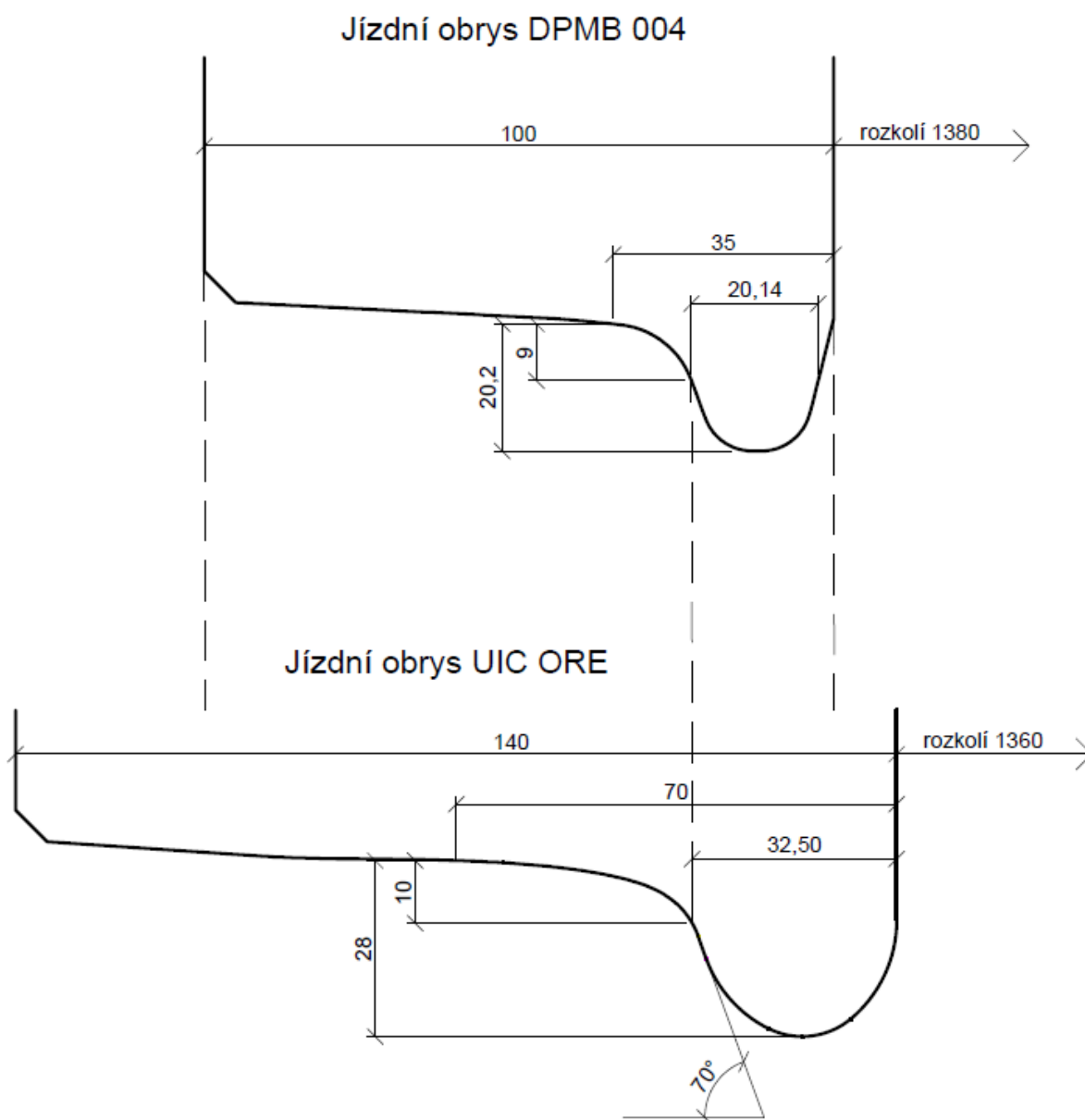
Nejpoužívanějším obrysem kola Dopravního podniku města Brna je obrys DPMB 004. Vznikl jako jedna z mnoha variant ztenčením jízdního obrysu UIC-ORE. Mezi další ztenčené obrysy patří KUŽEL-2A pro pražské metro a nově i PR-1 pro pražské tramvaje. Nevýhodou těchto okolků je jejich opotřebení, z důvodu přejíždění po srdcovkách. Dopravní podnik v Ostravě využívá jízdní obrys DPO, který má širší kontaktní plochu na hrotu okolku přizpůsobený jízdě po okolku. V Brně byl problém sjíždění okolků řešen zvýšením pevností obručí kol. Nicméně deformace okolku se přenesla na žlábký kolejnic. Žlábek je vyvařený náběhem s maximálním sklonem 1:30 do potřebného nadvýšení. Po přejetí náběhu přenáší veškeré zatížení od kolejového vozu samotné okolky kol.



Obr. 9.2. Vyvaření obou na sebe kolmých žlábků

SŽDC ve svých předpisech nedovoluje jízdu po okolcích, přitom okolek UIC ORE s mnohem širším hrotem okolku by nepodléhal tak velkému opotřebení jako okolky dopravních podniků. V žádném z předpisů však není uvedeno, za jakých podmínek se již při jízdě po hrotech okolků jedná o vykolejení. Městská kolejová dráha, tím pádem musí strpět jízdu po okolcích svých kolejových vozů. Optimálním řešením při rozdílných obrysech kol je jízda po okolcích na obou dráhách. U tramvajové dráhy se hloubka žlábků upraví podle výšky okolku s maximálním dovoleným ojetím tramvajového kola. Hloubka žlábků kolejnic vlečky se upraví vložkou na stejnou hloubku jako má žlábek kolejnic tramvajové dráhy při jeho maximálně dovoleném ojetí.

- Výška okolku nového kola DPMB 004 20,2 mm
- Výška při maximálně dovoleném ojetí kola DPMB 004 16,0 mm
- Výška okolku nového kola UIC ORE 28,0 mm
- Hloubka žlábků kolejnice NT1 39,0 mm

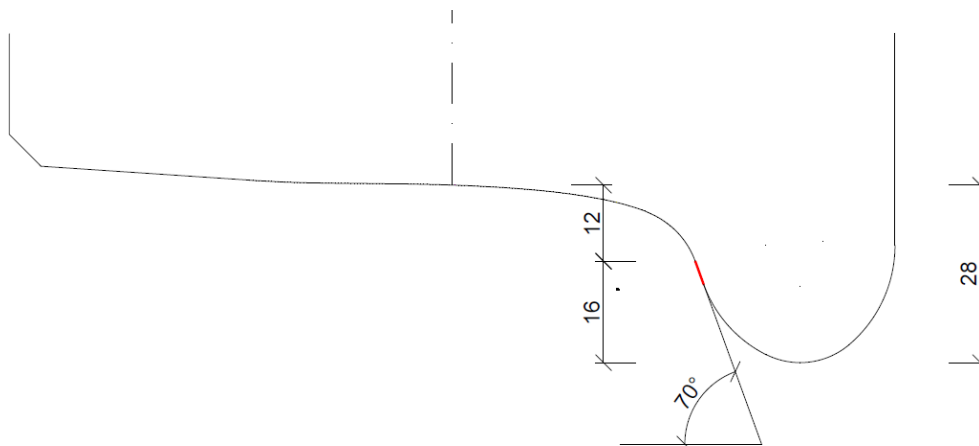


Obr. 9.4. Srovnání jízdních obrysů DPMB 004 a UIC ORE [8], [20]

Při hloubce žlábků 16,0 mm je rovina styčné kružnice kola UIC ORE 12,0 mm nad temenem kolejnice. Pro nadvýšení žlábků vložkou se dle směrnice T08 vytvoří náběh se sklonem 1:30. Celková výška nadvýšení 23 mm je v tomto sklonu překonána na délce 690 mm. Vhodné je však sklon náběhu vytvořit na větší délce dna žlábků. Příklad tohoto křížení je využit Dopravním podnikem Ostrava. Vlaky, které musí překonávat křížení jízdou po okolcích, vytvářejí menší dynamické rázy než jízdou po jízdních plochách. Jízdní plocha po každém překonání přerušení pojížděné hrany nemusí celou svou hmotností narazit na pravoúhlé srdcovky.

Nevýhodou jízdy po okolcích je zvýšené riziko vykolejení. Pokud ploše jízdního obrysu kola o úhlu 70° není umožněno kontaktu s pojížděnou hranou kolejnice, je riziko

vykolejení vyšší (viz kapitola 2.4). Plocha je znázorněna na Obr. 9.5. červeně. Jako model byl použit nejčastější jízdní obrys UIC ORE S1002. Norma ČSN EN 13715+A1, která popisuje pravidla, parametry a konstrukční metody pro jízdní obrysy kola, stanovuje geometrii okolku, sklony a souřadnice vnější části jízdní plochy [8].

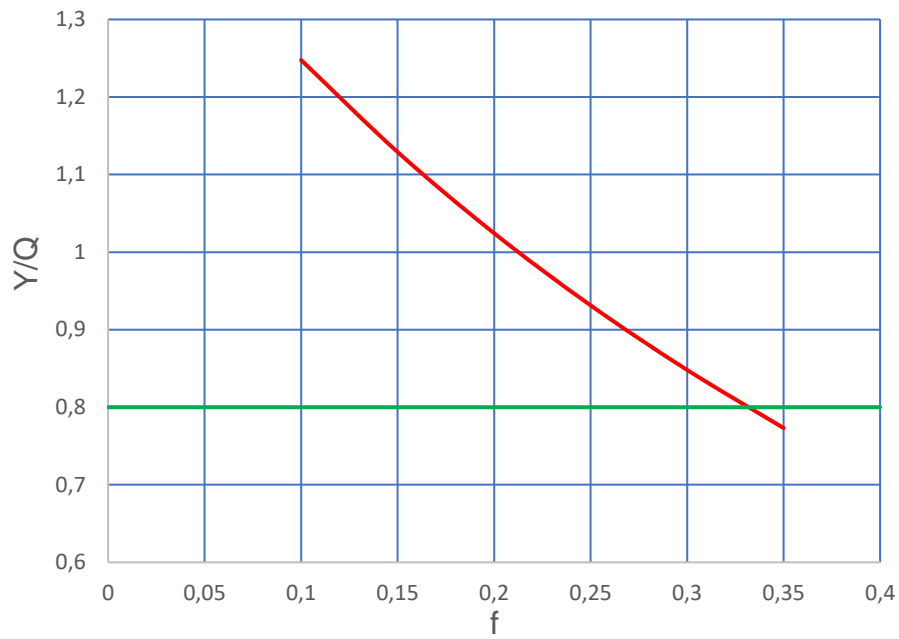


Obr. 9.5. Ploška pod úhlem 70° jízdního obrysu UIC ORE [8]

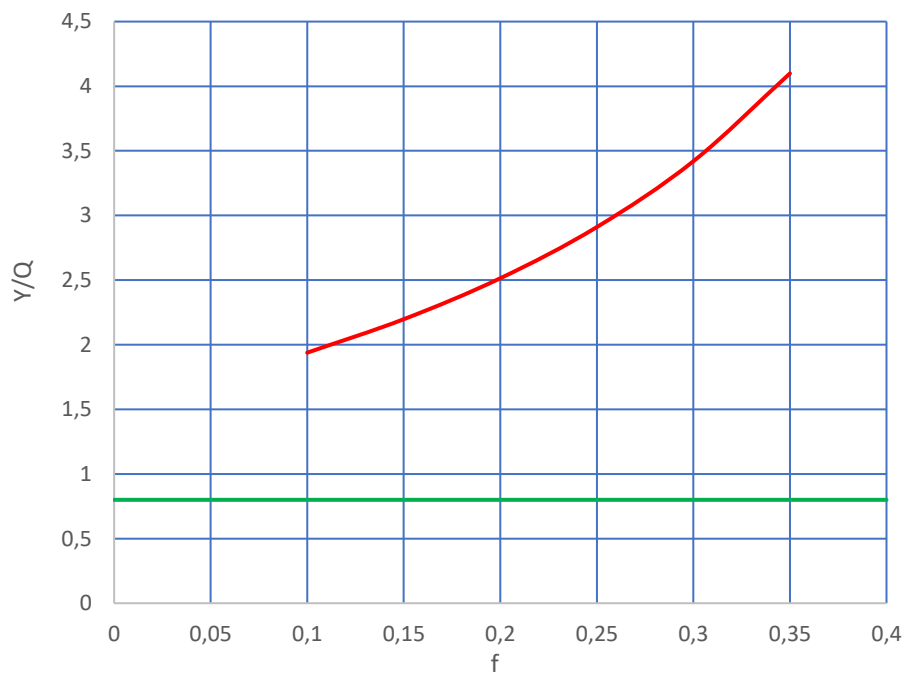
9.4. Úprava pojížděné hrany kolejnice

Ke správnému směrovému vedení a zároveň zabránění vykolejení je navržena úprava tvaru temene kolejnice. Navaření má takový tvar, aby byl umožněn přímý kontakt s plochou o úhlu 70° jízdního obrysu UIC ORE (viz příloha G). Profil kolejnice je nutno před vložením návaru zbrousit tak, aby byl návar v patřičné tloušťce a došlo k vzájemnému spojení obou materiálů. Tohle opatření proti vykolejení je vhodné aplikovat po celé délce křížení, kde bude vyvýšený žlábek. V místě přejíždění tramvají po okolcích musí být ponechán stávající tvar kolejnice s drážkou pro tramvajový okolek. Kdyby pojížděná hrana kolejnice byla bez úpravy, přímý kontakt s plochou jízdního obrysu UIC ORE by byl přibližně o úhlu 57° . V tomto případě by při koeficientu tření $f = 0,35$ byl poměr svislé a vodorovné síly kola Y/Q menší než 0,8. Mohlo by dojít k vyšplhání okolku kola na temeno kolejnice nebo k vyšším příčným rázům. Nevýhodou této úpravy je možné ojíždění, u kterého je nutné stanovit mezní opotřebení všech typů kolejnic. Oproti tomu návar nevystupuje nad spojnicí temen kolejnic a neomezuje jízdu silničních vozidel ani nezasahuje do průjezdného průřezu obou drah.

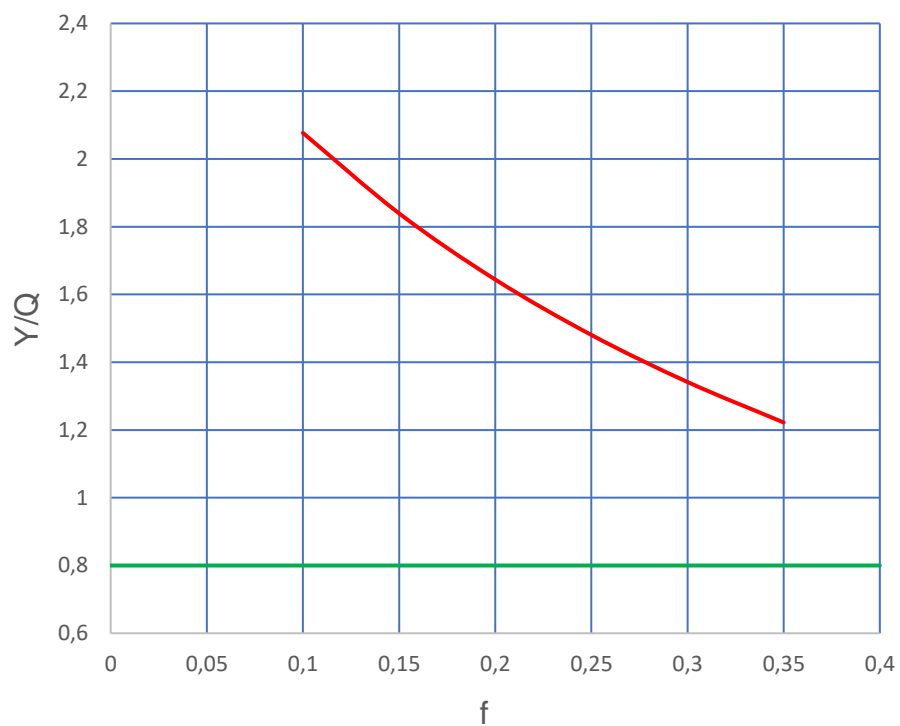
Následující grafy porovnávají vliv kontaktního úhlu okolku železničního vozidla s pojížděnou hranou kolejnice (v tomto případě 57° a 70°). Svislá osa značí hodnotu poměru Y/Q která nesmí být nižší než 0,8. Vodorovná osa ukazuje vliv součinitele tření f v místě kontaktu kolo-kolejnice, který je v rozmezí 0,1 - 0,35. K výpočtu křivky grafu jsou použité vzorce jak pro šplhání kola na temeno kolejnice, tak pro příčné rázy dvojkolí.



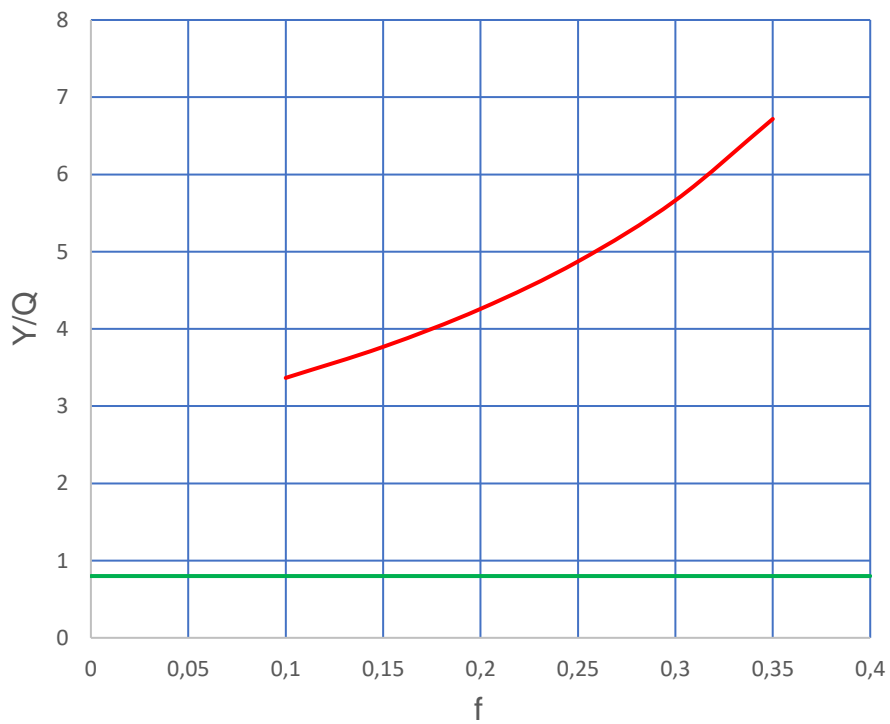
Graf 9.1 Šplhání kola při úhlu okolku $\gamma=57^\circ$



Graf 9.2 Příkladné rázy kola při úhlu okolku $\gamma=57^\circ$



Graf 9.3 Šplhání kola při úhlu okolku $\gamma=70^\circ$



Graf 9.4 Příčné rázy kola při úhlu okolku $\gamma=57^\circ$

10. Závěr

Vhodnou konstrukcí křížení je jak z pohledu tramvajové dráhy, tak železniční dráhy jízda po okolcích obou drah. Touto úpravou se snižují nejen dynamické rázy při překonávání přerušené pojížděné hrany, ale i nerovnoměrné ojíždění jízdni plochy kola způsobené nárazy na srdcovky křížení. Pro využití jízdy železničních vozidel po okolcích je nutné upravit tvar pojížděné hrany kolejnice v místě kontaktu s jízdni obrysem na úhel 70° (viz přílohy A, B, G). Před prováděním návaru nutno profil kolejnice zbrousit tak, aby byla vrstva návaru po celé délce kolejnice ve větší tloušťce. Úprava je vedena po celé délce přejezdu vyjma žlábků tramvajové dráhy, který umožní bezpečný průjezd tramvajů po okolcích. Návar by však neměl přesahovat nad spojnicí temen kolejnic. Hloubka žlábků obou drah je stejná jako u křížení tramvajových drah DPMB, tedy 16 mm (viz kapitola 9.3). Minimální možná šířka žlábků dle právních předpisů je 39 mm (v provozu však nesmí být šířka menší jak 38 mm). Proti zabránění příčných rázů v místě náběhů je nutností, aby tyto náběhy byly ve stejném místě jednoho příčného řezu dráhy, tedy v rovině kolmé k ose koleje. Další úpravou je zmenšení sklonu stoupání náběhů, které je podle směrnice T8 v poměru 1:30. Náběh je nutno provést na větší délce žlábků kolejnice s cílem potlačit skluzové vlny při změně obvodové rychlosti. Aby byla zajištěna maximální stabilita celého křížení, je vhodné nahradit DZP panely železobetonovou deskou v tloušťce min 200 mm. Z hlediska upevnění lze použít tuhé upevnění typu K na velkoformátových ocelových plechách, se svěrkami ŽS 4, které se musí opatřit krytem. Vložením bokovnic z obou stran kolejnic se zabráni nejen šíření vibrací, ale i propadání krytu vozovky v kontaktu s kolejnicemi.

Konstrukce všech typů křížení používané na území České republiky jsou porovnány ve SWOT Analýze (viz. příloha F). Jsou stanoveny všechny silné nebo slabé stránky, a také příležitosti nebo hrozby. Ekonomické porovnání nebylo provedeno jelikož nebylo předmětem zadání práce.

Ke každému právnímu předpisu je doplněno doporučení pro jeho úpravu. A to tak, aby byly ošetřeny nedostatky pro konstrukce křížení dvou drah, ke kterým se většina z nich nevztahuje (viz kapitola 4.).

Literatura

- [1] *Sto dvacet let městské hromadné dopravy v Brně 1869 - 1989*. Brno: Dopravní podnik města Brna, 1989. ISBN 80-900-0014-2.
- [2] Hudec, Z. k.; Sekera, P.; Bureš, P.; Příbyl, J.; Ziffer, D.; Hádek, T.; Tyller, R.; Korbel, P.; Záruba, T.; Tetiva, J.; Pokorný, P.; Bureš, M.; Mara, R.; Mrkos, J. *Atlas drah České republiky 2006-2007*. Malkus: 2006; Vol. 2.
- [3] *Přípojový provozní řád pro dráhu – vlečka: Škrobárna Reality, a.s.* Brno, 2013.
- [4] DUJKA, Jiří. *Vliv rozvoje sítí hromadné dopravy na město Brno*. Brno, 2012. Bakalářská práce. Masarykova univerzita. Vedoucí práce Mgr. Daniel Seidenglanz.
- [5] *Přípojový provozní řád – vlečka: DKV Brno, PP Brno dolní nádraží*. Brno, 2013.
- [6] ESVELD, Coenraad. *Modern railway track*. 2nd ed. Zaltbommel: MRT-Productions, c2001. ISBN 90-800-3243-3.
- [7] PLÁŠEK, O. *Železniční konstrukce I. Modul 1, Interakce vozidla a kolejové jízdní dráhy*. Brno: VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, Fakulta stavební, 2007. Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia.
- [8] ČSN EN 713715+A1 *Železniční aplikace – Dvojkolí a podvozky – Kola – Jízdní obrysy kol*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [9] MOUREČEK a TREJTNAR. *SÍLY MEZI KOLEM A KOLEJNICÍ A JEJICH MĚŘENÍ* [online]. Pardubice, 2010 [cit. 2017-12-27]. Dostupné z: <http://www.szdc.cz/soubory/konference-a-seminare/zdc-2010/16sb.pdf>
- [10] FREIBAUER, Ladislav, Ladislav RUS a Josef ZAHŘÁDKA. *Dynamika kolejových vozidel*. Praha: Nadas, 1991. Knižnice nové techniky a technologie. ISBN isbn80-7030-104-x.
- [11] ČESKO. Zákon č. 266/1994 Sb., o drahách. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2017 [cit. 5. 12. 2017]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1994-266>
- [12] ČESKO. Zákon č. 13/1997 Sb., o pozemních komunikacích. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2017 [cit. 5. 12. 2017]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1997-13>

- [13] ČESKO. Vyhláška č. 177/1995 Sb., Ministerstva dopravy, kterou se vydává stavební a technický řád drah. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2017 [cit. 6. 12. 2017]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1995-177>
- [14] *Směrnice Dopravního podniku města Brna T08 - revize 3: Provozně technické podmínky tramvajových tratí na území města Brna a v jeho okolí*. In: Brno, 2012.
- [15] Předpis SŽDC S3. *Železniční svršek*. díl IX – Výhybky a výhybkové konstrukce, ve znění změny č. 1 a č.2, říjen 2014.
- [16] ČSN 73 6380 *Železniční přejezdy a přechody*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [17] ČSN 28 0318 *Průjezdne průřezy tramvajových tratí a obrysy pro vozidla provozovaná na tramvajových drahách*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, březen, 2015.
- [18] ČSN 73 6360-1 *Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha, Část 1: Projektování*. Praha: Český normalizační institut, červenec, 1997.
- [19] ČSN 73 6110 *Projektování místních komunikací*. Praha: Český normalizační institut, leden, 2006.
- [20] DPMB, *Podklady*, září 2015
- [21] DPO, *Podklady*
- [22] DPMO, *Podklady*
- [23] *Křížení s vlečkou ČKD Tatra Smíchov v nové poloze Za Ženskými domovy* [online]. [cit. 2017-12-11]. Dostupné z: <http://www.prazsketramvaje.cz/view.php?cisloclanku=2007010904>
- [24] *Google* [online]. [cit. 2017-12-18]. Dostupné z: <https://www.google.cz/maps/place/Halberstadt,+N%C4%9Bmecko/@51.883103,11.051628,128m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x47a59eceb86dfa07:0x4236659f8073d50!8m2!3d51.8948709!4d11.0496159>
- [25] *Google* [online]. [cit. 2017-12-18]. Dostupné z: <https://www.google.cz/maps/place/Halberstadt,+N%C4%9Bmecko/@51.883763,11.0562369,128m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x47a59eceb86dfa07:0x4236659f8073d50!8m2!3d51.8948709!4d11.0496159>

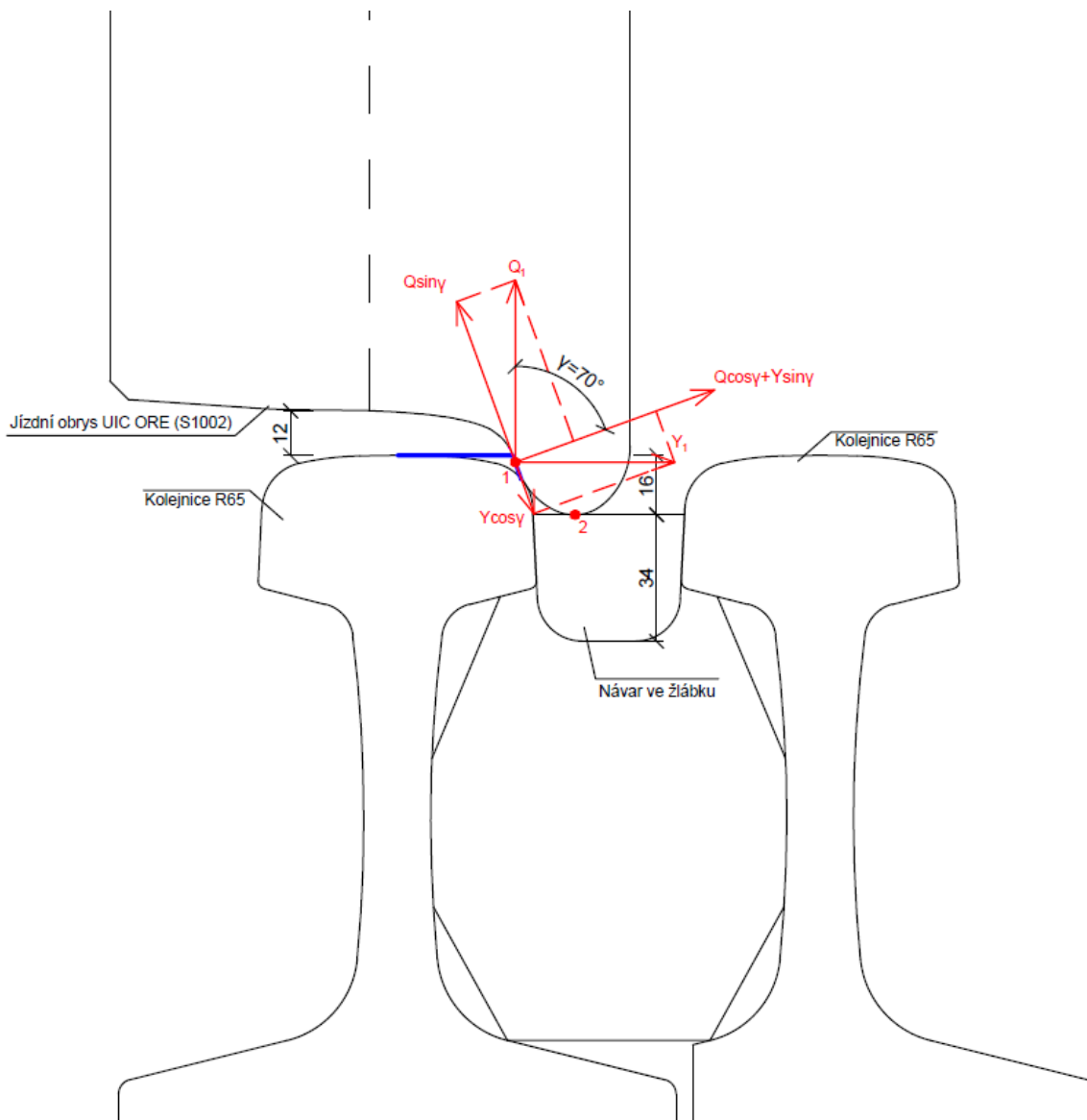
- [26] *Google* [online]. [cit. 2017-12-18]. Dostupné z: <https://www.google.cz/maps/@-37.8894444,145.0423523,3a,47.7y,293.41h,80.86t/data=!3m6!1e1!3m4!1sa6qY-aEhSehZtLvGASYvA!2e0!7i13312!8i6656>
- [27] *Google* [online]. [cit. 2017-12-18]. Dostupné z: <https://www.google.cz/maps/@-37.8327569,145.0693278,3a,60y,134.52h,67.01t/data=!3m6!1e1!3m4!1s689anFEqaQ-HjlyNJFvhcQ!2e0!7i13312!8i6656?hl=cs>
- [28] *Google* [online]. [cit. 2017-12-18]. Dostupné z: <https://www.google.cz/maps/@-37.8396686,145.0322981,3a,27.1y,248.01h,52.93t/data=!3m6!1e1!3m4!1sL9lpLt-XuzFKqvctaWQ14w!2e0!7i13312!8i6656>
- [29] *Unusual Drawbridge Railway Crossing in Australia* [online]. [cit. 2017-12-11]. Dostupné z: <http://www.amusingplanet.com/2016/08/unusual-drawbridge-railway-crossing-in.html>
- [30] Altosystems s.r.o., podklady
- [31] BELOW STREET LEVEL [online]. [cit. 2017-12-15]. Dostupné z: <http://www.cablecarmuseum.org/below-the-streets.html>

Seznam symbolů, veličin a zkratek

| | |
|-----------|--|
| γ | úhel okolku...[°] |
| φ | úhlová dráha...[rad] |
| ω | úhlová rychlost...[rad·s ⁻¹] |
| ČD | České dráhy |
| DPMB | Dopravní podnik města Brna |
| DPMO | Dopravní podnik města Olomouc |
| DPO | Dopravní podnik Ostrava |
| f | součinitel tření...[-] |
| GPK | geometrické parametry koleje |
| N | normálová síla...[N] |
| OTH | Oblast traťového hospodářství |
| OŘ | Oblastní ředitelství |
| PTP | Provozně technický předpis |
| Q | zatížení kola drážního vozidla...[N] |
| R | poloměr směrového oblouku...[m] |
| r | poloměr drážního kola...[m] |
| s | obvodová dráha...[m] |
| SŽDC | Správa železničních a drážních cest |
| T | tečná síla...[N] |
| t | čas...[s] |
| v | obvodová rychlost...[m·s ⁻¹] |
| Y | vodící síly...[N] |

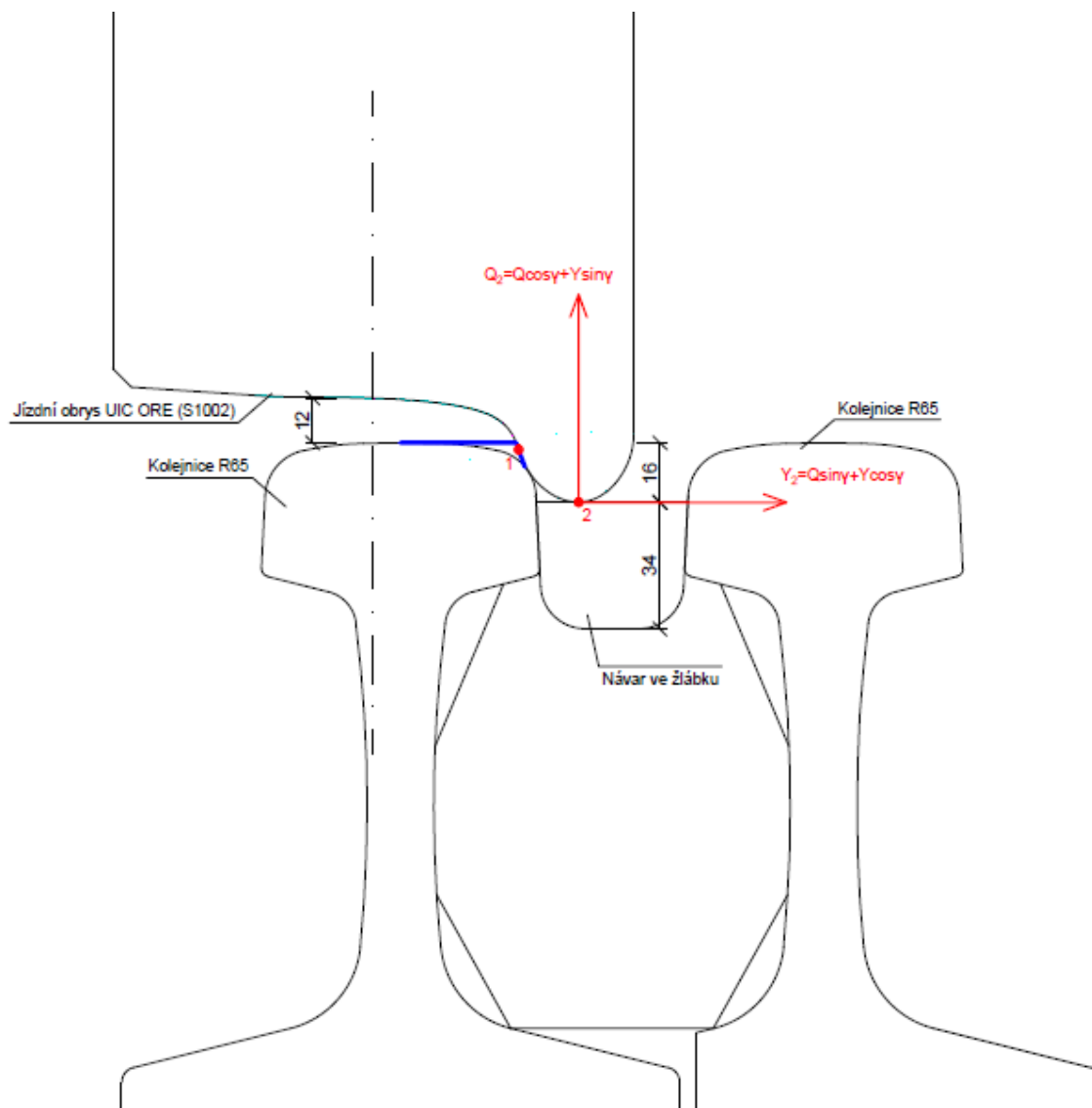
Příloha A (kontakt kolo-kolejnice)

Síly na kontaktu kolo kolejnice na mezi vykolejení s bodem dotyku v místě upravené pojížděné hrany kolejnice

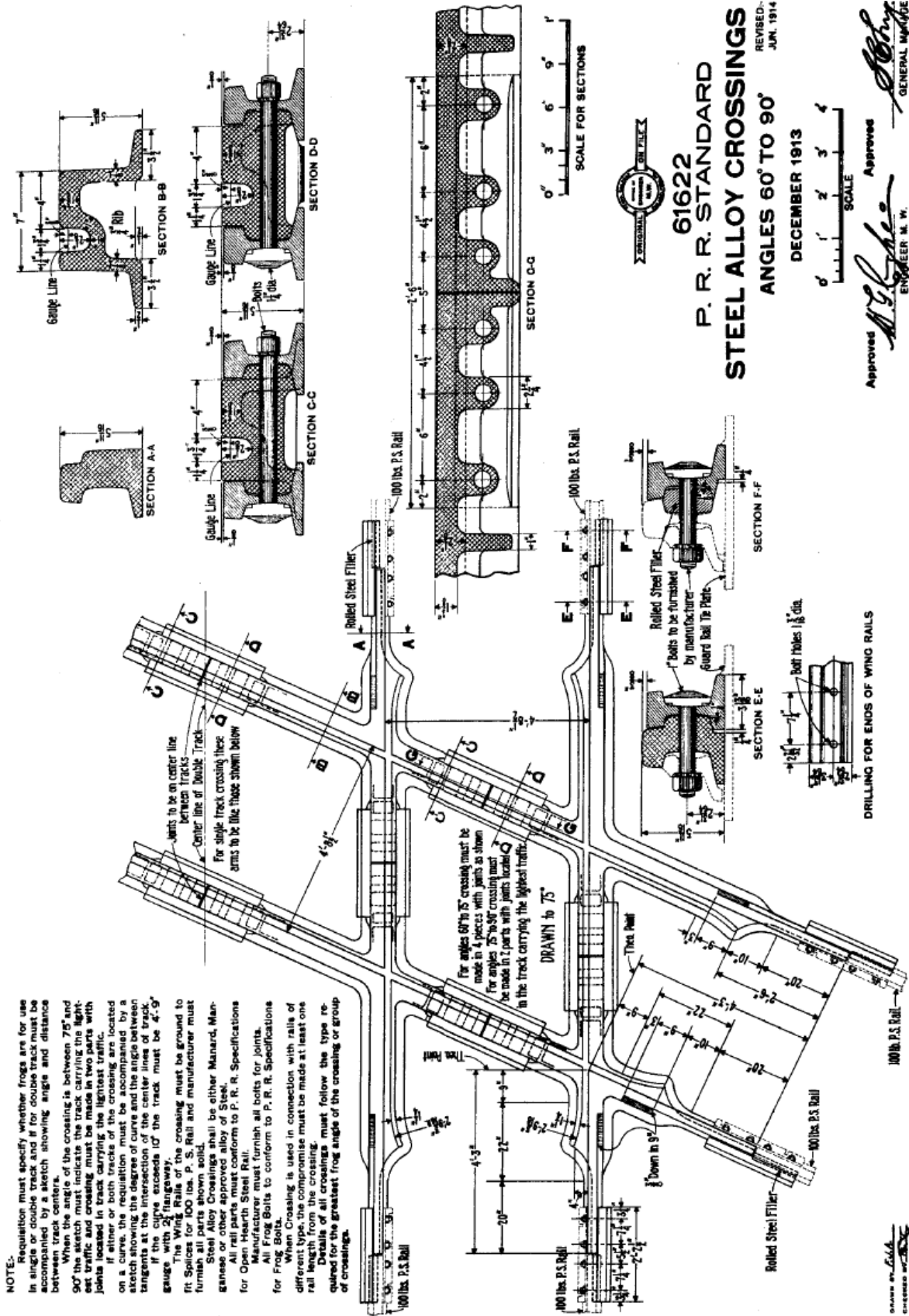


Příloha B (kontakt kolo-kolejnice)

Síly na kontaktu kolo kolejnice na mezi vykolejení s bodem dotyku v místě hrotu okolku



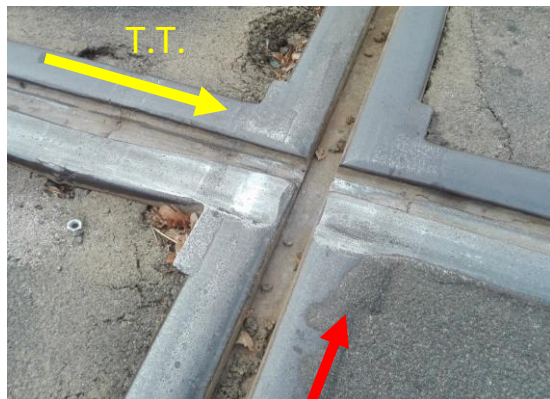
Příloha E (křížení Pensylvanie) Konstrukce křížení 60° - 90°



Příloha F

SWOT Analýza

DPMB



Vlečka

Popis:

Okolek vlaku železniční vlečky se v ani jednom křížení nedotýká dna žlábků. Veškeré přenášení zatížení od vozidel je přeneseno přes jízdni plochu na pojezděnou hranu kolejnice. Soupravy přejezdějící křížení po vlečce musí překonat přerušení pojezděné hrany. To způsobuje velmi hlučné rázy. Při přeskočení přerušení dochází k velkým výškovým deformacím temene pojezděné kolejnice. Naopak průjezd travají křížení je po okolku ve dně žlábků. Zde sice dochází ke plynulému přechodu z jízdni plochy na okolek, ale příliš tenký okolek prořezává do šlábků drážku. I přesto musí okolek přeskočit mezeru tvořící volný prostor k projetí okolku železničního kola.

SILNÉ STRÁNKY

- 1) Okolek železničního kola se neojíždí
- 2) Jízdni plocha tramvajového kola nepodléhá dynamickým rázům
- 3) Rychlá instalace
- 4) Jednoduchá údržba
- 5) Dlouhodobě odzkoušená konstrukce
- 6) Nižší náklady na údržbu
- 7) Vysoká bezpečnost
- 8) Minimalizace komponentů zaručuje minimální nároky na údržbu
- 9) Použití s jakýmkoliv krytem vozovky
- 10) Umožňuje průjezd silničních vozidel
- 11) jednoduchá konstrukce

SLABÉ STRÁNKY

- 1) Okolek tramvajového kola se ojíždí
- 2) Okolek tramvajového kola podléhá dynamickým rázům
- 3) Jízdni plocha železničního kola se ojíždí
- 4) Deformace žlábků kolejnic tramvajové dráhy
- 5) Snížená rychlost na vlečce
- 6) Snížená rychlost na tramvajové dráze
- 7) Vysoce hlučný půjezd po obou dráhách
- 8) Vyšší náklady na výrobu
- 9) Časté poškození kolejových vozů dynamickými rázy
- 10) Neplynulý přechod kola díky přerušené pojezdové hraně

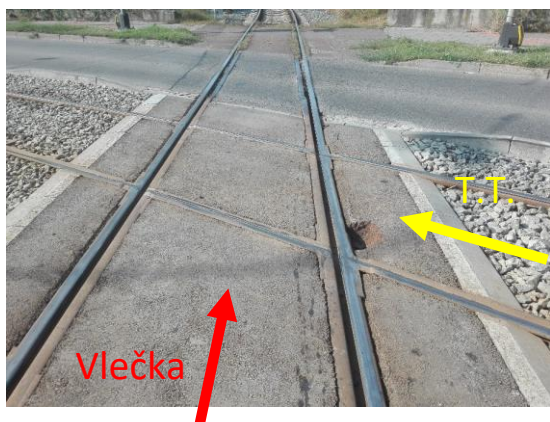
PŘÍLEŽITOSTI

- 1) Možnost vyvažování žlábků
- 2) Využití DZP panelů
- 3) Krátká doba výluk

HROZBY

- 1) Deformace náběhových klínů tramvajové dráhy
- 2) Výškové deformace srdcovky po přeskočení žlábků tramvajové dráhy vlakem
- 3) Výškové deformace srdcovky po přeskočení mezery vlečky tramvaj
- 4) Deformace asfaltového krytu
- 5) Změna legislativy
- 6) Zastaralá technologie
- 7) Zanášení žlábků železnice

DPMO



Popis:

Podle maďarského vzoru. Vlak jede po železniční trati po nepřerušené pojižděné hraně kolejnice. Dvě sdružené kolejnice, mezi kterými je ocelová vložka tvoří společně žlábek pro okolek vlaku. Tramvaj musí přeskakovat přes temena kolejnic. Na kolejnicích, které jsou nepojižděné železničními vozy, a společně s pojižděnými kolejnicemi tvoří žlábký pro okolky vlaku, jsou vyvaženy tvrdomávary, které odolávají přejíždění okolku. Nevýhodou je nejen ojíždění okolku na dvoukolí tramvajů ale i ojetí temen kolejnic v místě styku okolku s kolejnicí. Na kolejnicích vznikají po okolcích drážky, které se s počtem přejetí úměrně prohlubují. Vzniklé drážky způsobené okolkem tramvajů způsobují dynamické rázy železničních vozů, které otřásají celým křížením.

SILNÉ STRÁNKY

- 1) Okolek železničního kola se neojíždí
- 2) Jízdní plocha tramvajového kola nepodléhá dynamickým rázům
- 3) Rychlejší průjezd po železniční dráze
- 4) Rychlá instalace
- 5) Jednoduchá údržba
- 6) Nižší náklady na údržbu
- 7) Minimalizace komponentů zaručuje minimální nároky na údržbu
- 8) Použití s jakýmkoliv krytem vozovky
- 9) Umožňuje průjezd silničních vozidel
- 10) Jednoduchá konstrukce

SLABÉ STRÁNKY

- 1) Ojíždění okolku tramvajového kola
- 2) Deformace žlábků tramvajové dráhy
- 3) Vznik drážky v TK železniční tratě od přejíždějících okolků tramvaje
- 4) Snížená rychlost na tramvajové dráze
- 5) Hlučnější půjezd
- 6) Časté poškození kolejových vozů dynamickými rázy
- 7) Jízdní plocha vlaku podléhá dynamickým rázům při vzniklé drážce způsobenou okolkem tramvajů

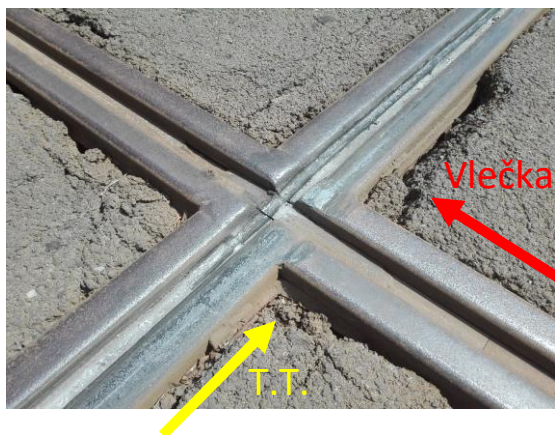
PŘÍLEŽITOSTI

- 1) Možnost vyvažování žlábků
- 2) Možnost zavažení drážky
- 3) Krátká doba výluk
- 4) Využití netradičního systému křížení
- 5) Spodek tvoří železobetonová deska

HROZBY

- 1) Deformace náběhových klínů tramvajové dráhy
- 2) Deformace asfaltového krytu
- 3) Změna legislativy
- 4) Zanášení žlábků železnice
- 5) Při křížení větším než 86° není zajištěno vedení dvojkolí

DPO



Popis:

Žlábkové kolejnic obou drah v místě křížení jsou pojížděny po okolcích. Je zde využito jiného typu obrysu kol použitých u tramvají, které mají širší hrot okolků (větší kontaktní plocha). Konstrukce nevytváří pro průjezdy z obou drah žádné omezení. Stejně tak nevznikají rázy od přerušení pojížděných hran. V místě náběhů vznikají skluzové vlny od změny úhlové rychlosti. Po větší deformaci dna žlábků dojde ke kontaktu jízdní plochy s pojížděnou hranou kolejnice a dojde opět k dynamickým rázům.

SILNÉ STRÁNKY

- 1) Jízdní plocha železničního kola nepodléhá dynamickým rázům
- 2) Jízdní plocha tramvajového kola nepodléhá dynamickým rázům
- 3) Rychlá instalace
- 4) Jednoduchá údržba
- 5) Dlouhodobě odskoušená konstrukce
- 6) Nižší náklady na údržbu
- 7) Minimalizace komponentů zaručuje minimální nároky na údržbu
- 8) Použití s jakýmkoliv krytem vozovky
- 9) Umožňuje průjezd silničních vozidel
- 10) Jednoduchá konstrukce
- 11) Méně hlučný průjezd

SLABÉ STRÁNKY

- 1) Ojždění okolků železničního kola
- 2) Ojždění okolků tramvajového kola
- 3) Ojždění žlábků tramvajové dráhy
- 4) Ojždění žlábků železniční dráhy
- 5) Skluzové vlny v místě náběhů
- 6) Nižší bezpečnost proti vykolejení

PŘÍLEŽITOSTI

- 1) Možnost vyvažování žlábků
- 2) Krátká doba výluk
- 3) Menší opotřebení dna žlábků z důvodu širších okolků
- 4) Omezení zanášení žlábků obou drah

HROZBY

- 1) Deformace náběhových klínů tramvajové dráhy
- 2) Deformace náběhových klínů železniční tratě
- 3) Deformace asfaltového krytu
- 4) Změna legislativy
- 5) Vznik skluzových vln v místech náběhů

Točna



Popis:

Pojížděná hrana kolejnice je přerušena pouze v místě styku kovové části s betonovou vanou. Konstrukci lze použít pouze pokud je jedna z drah využívána jen výjimečně. Kovová část je kloubově uložena čepem ve středu desky k vaně. Po obvodu je podpírána ložisky. Železobetonovou vanu o vnitřním průměru 2,9 m a hloubce až 1 m lze monoliticky vybetonovat na vyrovnanou podkladní vrstvu ze šterkopísku tl. 100 mm. Tvar dna se přizpůsobuje místním podmínkám pro nevhodnější odvodnění. Dno se odvodňuje žlábkou o sklonu min 2 % a vpustí. Při betonáži je nutné vložit ocelové kotvy pro následující instalace technologií. Nejnamáhavějším místem vany je její vnitřní pojížděná hrana. Hrana je vynechána v tloušťce 150 mm. Do vzniklého úžlabí se navaří na předem zabetonované kotvy kovové profily. Zbytek volného prostoru se vyplní betonovou zálivkou. . Kovová konstrukce použitelná na jakémkoliv zatížení a nosnost. Pro eliminaci zanášení se mezera mezi oběma průměry opatřuje ochranným kartáčem. Doba instalace bez betonování vany je přibližně 3-5 dní. Cena kovové části je odhadována na 900 000 Kč.

SILNÉ STRÁNKY

- 1) Okolek vlaku se neojíždí
- 2) Okolek tramvaje se neojíždí
- 3) Jednoduchá údržba
- 5) Nehrozí vykolejení
- 6) Použití s jakýmkoliv krytem vozovky
- 7) Umožňuje přejezd silničních vozidel
- 8) Menší deformace asfaltového krytu
- 9) Menší přerušení pojížděné hrany kolejnice

SLABÉ STRÁNKY

- 1) Jízdní plocha kola vlaku podléhá dynamickým rázům
- 2) Jízdní plocha kola tramvaje podléhá dynamickým rázům
- 3) Snížená rychlost na vlečce
- 4) Snížená rychlost na tramvajové dráze
- 5) Vysoce hlučný půjezd po ocelové konstrukci
- 6) Vyšší náklady na údržbu
- 7) Betonáž železobetonové vany
- 8) Větší počet mechanických komponentů
- 9) Vyšší pořizovací náklady

PŘÍLEŽITOSTI

- 1) Využití nového systému konstrukce
- 2) Použití železobetonové nebo prefabrikované vany
- 3) Libovolné typy kolejnic
- 4) Konstrukci lze nadimenzovat na jakékoliv zatížení
- 5) Libovolné upevnění kolejnic

HROZBY

- 1) Změna legislativy
- 2) Znášení spáry mezi vanou a ocelovou konstrukcí
- 3) Zanášení žlábků kolejnic
- 4) Neodskoušená konstrukce ve venkovním prostředí
- 5) Delší doba výluk
- 6) Deformace hrany železobetonové vany
- 7) Časté otáčení točny způsobující závady mechaniky

Příloha G (úprava pojížděné hrany kolejnice)
Rozměry návaru na kolejnici tvaru R 65

