



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

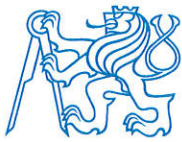
FAKULTA DOPRAVNÍ

Jakub Hradil

ZRYCHLENÍ PRŮJEZDU TRAMVAJÍ PŘES  
KOLEJOVÉ KONSTRUKCE V PRAŽSKÉ SÍTI

Bakalářská práce

2017



**K612..... Ústav dopravních systémů**

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Jakub Hradil**

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

**B 3710 – DOS – Dopravní systémy a technika**

Název tématu (česky): **Zrychlení průjezdu tramvají přes kolejové  
konstrukce v pražské síti**

Název tématu (anglicky): Speed Increasing of Trams Passing through Rail  
Constructions in Prague Network

**Zásady pro vypracování**

Při zpracování bakalářské práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Popis a historický vývoj pražské tramvajové sítě
- Technický popis současných kolejových konstrukcí používaných v pražské síti
- Stručné srovnání s kolejovými konstrukcemi používanými v ostatních českých a vybraných zahraničních městech s tramvajovým provozem
- Normy vztahující se ke kolejovým konstrukcím
- Stručný přehled provozních předpisů v pražské tramvajové síti
- Návrh řešení umožňující zrychlení průjezdu tramvají přes kolejové konstrukce
- Výběr míst v pražské tramvajové síti vhodných k aplikaci navrhovaného řešení
- Zhodnocení efektivity a ekonomické návratnosti navrhovaných úprav

Rozsah grafických prací: stanoví vedoucí bakalářské práce

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: stanoví vedoucí bakalářské práce

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Vladimír Pušman, Ph.D.**

**Ing. Tomáš Padělek**

Datum zadání bakalářské práce:

**30. června 2016**

(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce:

**28. srpna 2017**

- a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
- b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

prof. Ing. Pavel Příbyl, CSc.  
vedoucí  
Ústavu dopravních systémů



prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek, dr. h. c.  
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Jakub Hradil  
jméno a podpis studenta

V Praze dne ..... 30. června 2016

## Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří jakýmkoliv způsobem přispěli ke vzniku této práce. Patří sem velké množství zaměstnanců pražského dopravního podniku, kteří mi poskytli mnoho cenných poznatků nezbytných pro vznik této práce, dále také někteří přátelé a kolegové, jejichž konstruktivní kritika mé práce byla rovněž nedocenitelnou pomocí.

Zvláštní poděkování pak patří zástupcům všech dopravních podniků, kteří mi poskytli užitečné informace potřebné pro srovnání infrastruktury v jednotlivých městech.

Jmenovitě bych pak rád poděkoval dvěma osobám. Za prvé vedoucímu práce, Ing. Vladimíru Pušmanovi PhD., za neuvěřitelnou trpělivost, kterou prokázal při vzniku této práce. Za druhé bych pak rád poděkoval panu Františku Plamínkovi, dnes již emeritnímu zaměstnanci oddělení Výcvik a vzdělávání tramvaje při DP Praha, za to, že mne před mnoha lety pobídl k hlubšímu zájmu o tramvajovou dopravu a poskytl mi spoustu nedocenitelných informací, které značně přispěly i ke vzniku této práce.

## Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Nemám závažný důvod proti užívání tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

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

V Praze dne 27. srpna 2017

.....

## Abstrakt

Práce se snaží nalézt řešení, které by umožnilo zrychlit průjezd tramvají přes kolejové konstrukce v pražském provozu. První část práce popisuje technické a provozní parametry současných kolejových konstrukcí používaných v síti DP Praha a je doplněna o obrazovou přílohou s návěstmi, které jsou spojeny s kolejovými konstrukcemi. V další části práce jsou popsány kolejové konstrukce porovnány s těmi, které se používají v jiných městech. Zmíněny jsou také normy a předpisy, které s kolejovými konstrukcemi souvisí. Následně je představen vlastní návrh, který je konfrontován s vybranými problémy, které vyplývají z technických či legislativních omezení. V závěru se práce věnuje vytipování možných lokalit, kde lze navržené řešení realizovat, a obecnému hodnocení přínosů tohoto řešení.

## Klíčová slova

Tramvaj, Praha, výhybka, kolejová konstrukce, zvýšení rychlosti

## Abstract

The thesis tries to find a solution, which would allow increase the speed of trams through the rail constructions in Prague network. In first part there is a description of technical and operational parameters of current rail constructions used in the Prague network. This part is supplemented by a pictorial attachment with signals connected to rail constructions. In next part of thesis, the described rail constructions are compared with constructions used in other cities. The standards and regulations in relation to rail constructions are also mentioned. Subsequently, there is presented the own design, which is confronted with selected problems resulting from technical or legislative limits. In conclusion, the thesis focuses on identifying possible locations where the proposed solution can be implemented and a general evaluation of the benefits of this solution.

## Keywords

Tram, Prague, switch, rail construction, speed increasing

# Obsah

<b>Seznam zkratk</b>	<b>7</b>
<b>Úvod</b>	<b>8</b>
<b>1 Technický popis kolejových konstrukcí používaných v pražské síti</b>	<b>9</b>
1.1 Základní charakteristika tramvajových kolejových konstrukcí . . . . .	9
1.2 Výhybky dle způsobu poježdění . . . . .	10
1.3 Výhybky dle počtu jazyků . . . . .	10
1.4 Výhybky dle typu jazyků . . . . .	13
1.4.1 Výhybky s čepovými jazyky . . . . .	13
1.4.2 Výhybky s pružnými jazyky . . . . .	15
1.5 Výhybky dle možnosti uzamčení jazyků v koncových polohách . . . . .	17
1.5.1 Neuzamykatelné výhybky . . . . .	17
1.5.2 Uzamykatelné výhybky . . . . .	17
1.6 Výhybky dle způsobu přestavování . . . . .	19
1.6.1 Výhybky přestavované místně . . . . .	19
1.6.1.1 Ručně přestavované výhybky . . . . .	19
1.6.2 Výhybky s omezenou možností přestavování . . . . .	21
1.6.2.1 Výhybky se zcela zamezenou možností přestavování . . . . .	21
1.6.2.2 Zajišťovací výhybky . . . . .	22
1.6.2.3 Volné výhybky . . . . .	25
1.6.3 Výhybky přestavované dálkově . . . . .	25
1.6.3.1 Elektricky ovládané výhybky . . . . .	30
1.6.3.2 Rádiově ovládané výhybky . . . . .	31
1.6.4 Výhybky přestavované ústředně . . . . .	32
1.7 Výhybky dle rychlosti průjezdu . . . . .	32

1.7.1	Výhybky se standardní rychlostí průjezdu . . . . .	32
1.7.2	Výhybky označené návěstí „Rychlost přes výhybku“ . . . . .	33
1.7.3	Rychlostní výhybky . . . . .	33
1.7.3.1	R01 . . . . .	36
1.7.3.2	R02 . . . . .	37
1.7.3.3	R03 . . . . .	40
1.7.3.4	R04 . . . . .	41
1.8	Srdcovky . . . . .	41
1.8.1	Srdcovky dle způsobu výroby . . . . .	41
1.8.1.1	Skládané srdcovky . . . . .	41
1.8.1.2	Odlévané srdcovky . . . . .	41
1.8.1.3	Srdcovky s vyměnitelným středem . . . . .	42
1.8.2	Srdcovky podle počtu křížících se kolejnic . . . . .	44
1.8.3	Srdcovky podle směrového uspořádání křížících se kolejnic . . . . .	44
1.8.4	Srdcovky podle způsobu projíždění . . . . .	45
1.8.4.1	Srdcovky projížděné po okolku . . . . .	45
1.8.4.2	Srdcovky projížděné po nákolku . . . . .	46
1.9	Kolejové splátky . . . . .	48
1.9.1	Kolejové splátky s jednosměrným provozem . . . . .	48
1.9.2	Kolejové splátky s obousměrným provozem . . . . .	49
<b>2</b>	<b>Srovnání s kolejovými konstrukcemi používanými v jiných městech s tramvajovým provozem</b>	<b>51</b>
2.1	Česká republika . . . . .	52
2.1.1	Brno . . . . .	52
2.1.2	Olomouc . . . . .	53
2.1.3	Ostrava . . . . .	53
2.1.4	Plzeň . . . . .	55

2.2	Zahraníční provozy . . . . .	56
2.2.1	Drážďany . . . . .	56
<b>3</b>	<b>Související normy a předpisy</b>	<b>57</b>
3.1	Normy . . . . .	57
3.2	Právní předpisy . . . . .	57
3.3	Provozní předpisy . . . . .	59
<b>4</b>	<b>Návrh řešení umožňující zrychlení průjezdu tramvají přes kolejové konstrukce</b>	<b>60</b>
4.1	Vlastní návrh . . . . .	60
4.2	Stavěcí zařízení . . . . .	62
4.3	Vjetí do nesprávného směru . . . . .	63
4.4	Zábrzdná vzdálenost . . . . .	65
4.5	Rozřez ve vyšších rychlostech . . . . .	68
4.6	Návrhy návěstí . . . . .	69
<b>5</b>	<b>Výběr míst v pražské tramvajové síti vhodných k aplikaci navrhovaného řešení</b>	<b>72</b>
<b>6</b>	<b>Zhodnocení efektivity a ekonomické návratnosti navrhovaných úprav</b>	<b>76</b>
6.1	Úspora času . . . . .	76
6.2	Úspora energie . . . . .	78
6.3	Úspory ve vypravení . . . . .	80
	<b>Závěr</b>	<b>82</b>
	<b>Použité zdroje</b>	<b>84</b>
	<b>Příloha A: Výhybkové návěsti a návěstidla</b>	<b>88</b>



## Seznam zkratek

ČD – České dráhy a. s

ČR – Česká republika

ČSN – Česká státní norma

dc – Do centra

DP – Dopravní podnik

DPP – Dopravní podnik hlavního města Prahy a. s.

SR – Slovenská republika

SSZ – Světelné signalizační zařízení zc – Z centra

# Úvod

V roce 2013 byla v pražské tramvajové síti zprovozněna první rychlostní výhybka u křižovatky Prašný most. Byl to zajímavý moment pro pražskou tramvajovou dopravu, který přinášel i určitá očekávání, že v dohledné době budou tyto výhybky rychle přibývat. S odstupem několika let lze konstatovat, že se tak nestalo a že k nárůstu počtu těchto výhybek dochází jen velmi pozvolna. Protože si myslím, že další instalace těchto výhybek a s tím související nárůst rychlosti průjezdu přes kolejové konstrukce má potenciál nejen zkracovat jízdní dobu tramvají, ale ještě generovat další úspory, rozhodl jsem se skutečnosti související s touto výhybkou analyzovat a případně přijít s určitými pozměňovacími návrhy či zcela novou koncepcí, která by umožnila masivnější rozšíření těchto výhybek v pražské kolejové síti.

Cílem práce je tedy nejprve uvést čtenáře do problematiky pomocí podrobnějšího popisu současných kolejových konstrukcí používaných v pražské tramvajové dopravě, čímž bude zároveň definován současný stav, ze kterého bude návrh vycházet. Současný stav bude dále doplněn o srovnání s jinými tramvajovými provozy a analýzou legislativy, která se k tramvajovým kolejovým konstrukcím vztahuje, díky čemuž bude možné posoudit, zda již vyhovující řešení neexistuje v jiném městě či zda je možné legálně posunout současné rychlostní hranice pražských kolejových konstrukcí. Na základě získaných skutečností je pak představen vlastní návrh, který je konfrontován s vybranými zásadními problémy, se kterými je třeba se vypořádat. Následně je na základě tohoto návrhu v pražské síti vytipováno několik lokalit, kde by představené řešení bylo možné využít. Závěr práce se pak věnuje hledání úspor, které by zvýšení rychlosti průjezdu kolejovými konstrukcemi s pomocí tohoto opatření přineslo.

# 1. Technický popis kolejových konstrukcí používaných v pražské síti

## 1.1 Základní charakteristika tramvajových kolejových konstrukcí

Kolejové konstrukce, které můžeme v pražské tramvajové síti spatřit, tvoří výhybky, křížení a splátky. Používané typy kolejnic jsou žlábkové kolejnice NT 1 a B 1, resp. vignolová kolejnice 49 E1, přičemž šířka pojíždělné části hlavy kolejnic žlábkových je 55,5 mm, resp. 67 mm u bezžlábkové kolejnice 49 E1. Používaný profil kola je v současnosti profil PR-1 o šířce nákolku 63,5 mm. [1, 19, 20, 44]

Podíváme-li se v první řadě na výhybky z pohledu dělení, které se používá na železnici, můžeme konstatovat, že se v současnosti v pražské síti vyskytují pouze výhybky jednoduché, jež doplňuje několik výhybek symetrických, kterých se využívá v kolejových splátkách. Obloukové ani křížovatkové výhybky nejsou zastoupeny. Ve srovnání se železnicí se ve výhybkách používají menší poloměry odbočení, které se u běžných výhybek reálně pohybují mezi 20–100 m, u rychlostních výhybek pak mezi 150–190 m. Podobně jako na železnici je vytvořena řada typizovaných výhybek o běžných poloměrech odbočení, která se využívá v maximální možné míře. [1]

Běžně používaná jednoduchá výhybka sestává z výměny, srdcovky, spojovacích kolejnic a stavěcí skříně. Tyto části jsou navzájem spojeny do funkčního celku pomocí spojek, svarů a rozchodnic. [1]

Výměna se skládá z pevných a pohyblivých částí. Mezi pevné části patří hlavní (pojížděné) kolejnice a opornice, která je u žlábkových kolejnic oproti širokopatným umístěna vždy na vnitřní straně výměny a probíhá v celé její délce. Z pohyblivých částí jmenujme jazyky a stavěcí zařízení, které je u současných výhybek umístěno zpravidla mezi kolejnicemi. Výhybkové výměny se obvykle nevyrábí jako jeden celek, ale pro každý kolejnicový pás je zvlášť vyrobena půlvýměna. Až později jsou půlvýměny spojeny rozchodnicemi, pražci a stavěcí skříní ve výměnu. Dřívější výměny byly tvaru kružnicového oblouku, v současnosti používané výměny jsou obvykle tvořeny klotoidou, která umožňuje plynulejší přechod kola z přímé do oblouku či naopak. [1]

Srdcovkám a stavěcím skříním jsou věnovány samostatné pasáže v dalších částech práce.

V dřívějších dobách se výhybkové konstrukce dodávaly rozložené a konečná montáž s pomocí spojovacích prvků proběhla až na místě určení, což bylo značně časově náročné. Aby se tento proces urychlil a zároveň došlo ke zvýšení přesnosti montáže, přešlo se na dodávky předmontovaných výměn již usazených nejčastěji na dřevěných pražcích. Na spodní stranu půlvýměn jsou navařeny tzv. podvlastkové plechy, skrze které jsou pomocí vrtulí půlvýměny upevněny k pražcům. V takovém případě dojde

k přesnému odsazení jednotlivých půlvýměn, není tedy třeba užívat rozchodnic. Kromě dřevěných pražců je také možné výhybkové konstrukce uložit například na výhybkové pražce TB 92 V, panely VUIS či monolitické betonové desky. [1]

V dalších kapitolách věnovaným výhybkám se autor pokouší výhybky rozčlenit podle různých provozních i technických aspektů, čímž se snaží zajistit komplexnější náhled na problematiku výhybek v pražské kolejové síti. Autor práce by na tomto místě rád podotkl, že v dalším textu je pojem výměna mnohdy zobecněn do pojmu výhybka. Je to z toho důvodu, že autor zde klade důraz spíše na celý funkční celek, tedy výhybku, než na její konkrétní součást, například výměnu, a to i v případě, že jsou další části výhybky v tu chvíli nepodstatné.

## 1.2 Výhybky dle způsobu pojiždění

Výhybky lze dělit podle způsobu pojiždění na rozjezdové a sjezdové, přičemž předpis D 1/2 tyto výhybky definuje takto:

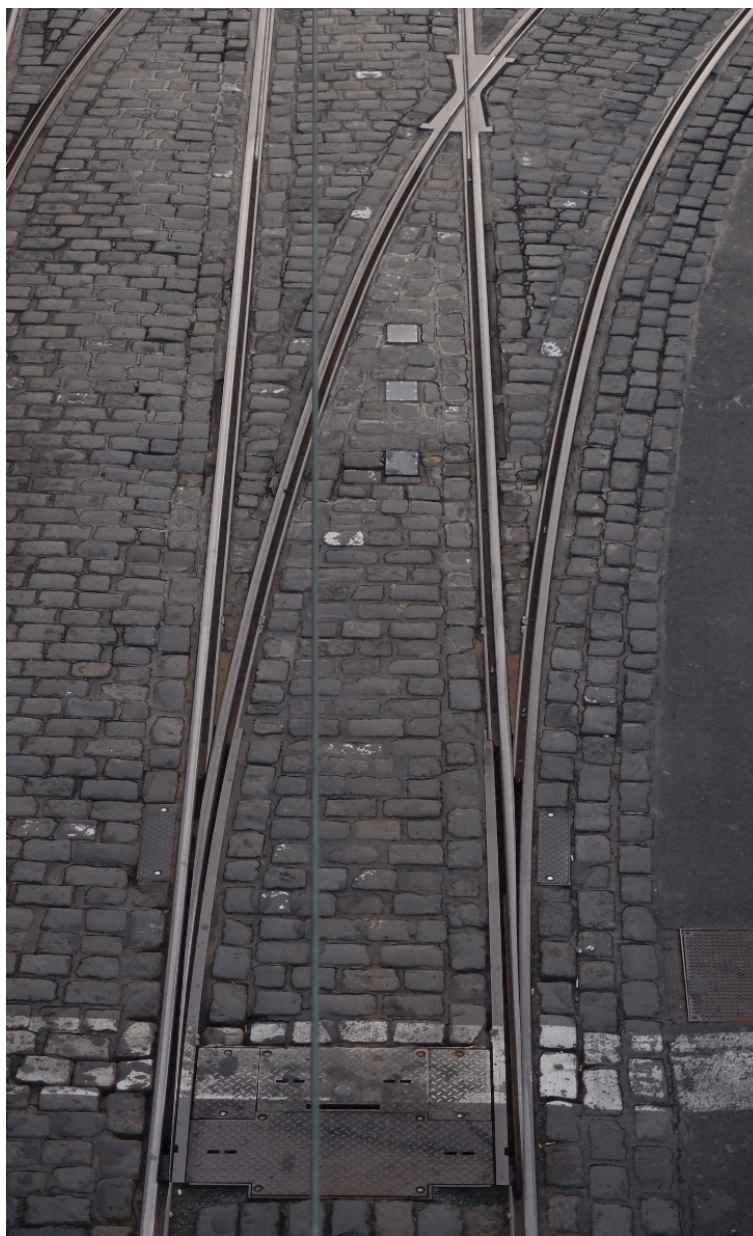
*§ 2 odst. 15: Rozjezdová výhybka je výhybka pojižděná v pravidelném provozu ve směru proti hrotům. Za rozjezdovou výhybku se považuje i výhybka pravidelně pojižděná v obou směrech (po hrotech i proti hrotům).* [5]

*§ 2 odst. 16: Sjezdová výhybka je výhybka pojižděná v pravidelném provozu ve směru po hrotech.* [5]

Označení výhybek je v tomto ohledu velmi výstižné, protože na rozjezdových výhybkách si řidič volí jejich postavení a vlaky se následně rozjíždí různými směry, naopak u sjezdových výhybek se vlaky sjíždí z různých směrů do jednoho. Zmínka o výhybkách pojižděných oběma směry se v pravidelném provozu týká převážně kolejišť ve vozovkách, dále pak obracení tramvajových vlaků na kolejových přejezdech či trojúhelnících a v neposlední řadě také výhybek položených na obousměrně pojižděné jednokolejné úseky. Platí také, že v každém úplném kolejovém rozvětvení nalezneme vždy stejný počet rozjezdových a sjezdových výhybek.

## 1.3 Výhybky dle počtu jazyků

Dle počtu jazyků rozlišujeme výhybky jednojazykové, dvoujazykové a vícejazykové. Při výstavbě tramvajových tratí je v současnosti primárně využíváno výhybek dvoujazykových, které také svým zastoupením jasně dominují. U obou kolejnic je zde umístěn pohyblivý jazyk, který je s druhým mechanicky spojen táhlem a který vede kolo vozu do požadovaného směru. Ukázka dvoujazykové výhybky je na obr. 1. [1]



Obr. 1: Dvoujazyková výhybka s pružnými jazyky v křižovatce Těšnov. (3/2017, archiv J. Hradila).

Další typ, jednojazykové výhybky, je tvořen pouze jedním jazykem, který je zpravidla umístěn na vnější kolejnici odbočné větve, může však být umístěn i u kolejnice vnitřní. Místo druhého jazyka je umístěn pouze odlitek s vyfrézovanými mělkými žlábkami pro vedení kola vozidla, který je pojížděn po okolku, viz obr. 2. Z toho pramení nevýhoda v podobě sníženého směrového vedení vozidla při průjezdu výhybkou. Výhodou a vlastně i nejčastějším důvodem pro zřízení jednojazykové výhybky v našich podmínkách je možnost překřížení prostoru chybějícího jazyka další kolejnicí, čehož se využívá zejména v kolejových harfách vozoven. V případě použití dvoujazykových výhybek je potřeba dodržovat mezi výhybkami větší rozstup právě s ohledem na nemožnost křížení pohyblivého jazyka vnější kolejnicí odbočné části

předcházející výhybky. Tento problém u jednojazykové výhybky odpadá, a tak je možné tyto výhybky usazovat těsněji za sebe, což značně snižuje prostorovou náročnost kolejového rozpletu harfy, čímž lze snížit prostorové nároky celé harfy, nebo ušetřený prostor využít například na prodloužení kolejí před halou. Druhá jmenovaná možnost byla použita při rekonstrukci harfy pražské vozovny Pankrác, kde je díky tomu možné odstavovat vozy i venku před halou a zvýšit tak deponační kapacitu celé vozovny. Další výhodou je nižší cena takové výhybky oproti výhybce dvoujazykové. V Praze jsou jednojazykové výhybky použity pouze v areálech vozoven (Kobylisy, Pankrác), ale například v Ostravě byla tato výhybka ve zkušebním režimu použita i jako sjezdová mimo areál vozovny. V běžném provozu s cestujícími jsou jednojazykové výhybky k vidění jako rozjezdové i sjezdové ve východní Evropě, zejména v Rusku a na Ukrajině. Zde je možné spatřit i variantu s jazykem na vnitřní kolejnici odbočné větve. [1, 30, 37]



Obr. 2: Jednojazykové výhybky v kolejové harfě vozovny Kobylisy. (10/2010, archiv J. Hradila).

V minulosti bylo možné se v pražské síti setkat i s výhybkami čtyřjazykovými, které umožňovaly jízdu do tří směrů. Jednalo se o čepové výhybky se dvěma jazyky vedle sebe, přičemž každá dvojice jazyků určených pro stejné směry poježdění měla vlastní táhlo. Křižovatky tvořené těmito výhybkami vykazovaly značnou symetrii, protože místo odbočení do obou odbočných směrů bylo v témže místě. V Praze se vyskytovaly od roku 1910 do šedesátých let, kdy byly postupně s rekonstrukcemi sítě odstraňovány. Důvodem byl zejména nástup vozů T, pro jejichž větší průjezdní průřez bylo v místě těchto výhybek znemožněno vzájemné potkávání vozů jedoucích do nevstřícných odbočných kolejových větví. Tyto výhybky však lze stále nalézt v zahraničí, například ve Švýcarsku. [35]

## 1.4 Výhybky dle typu jazyků

### 1.4.1 Výhybky s čepovými jazyky

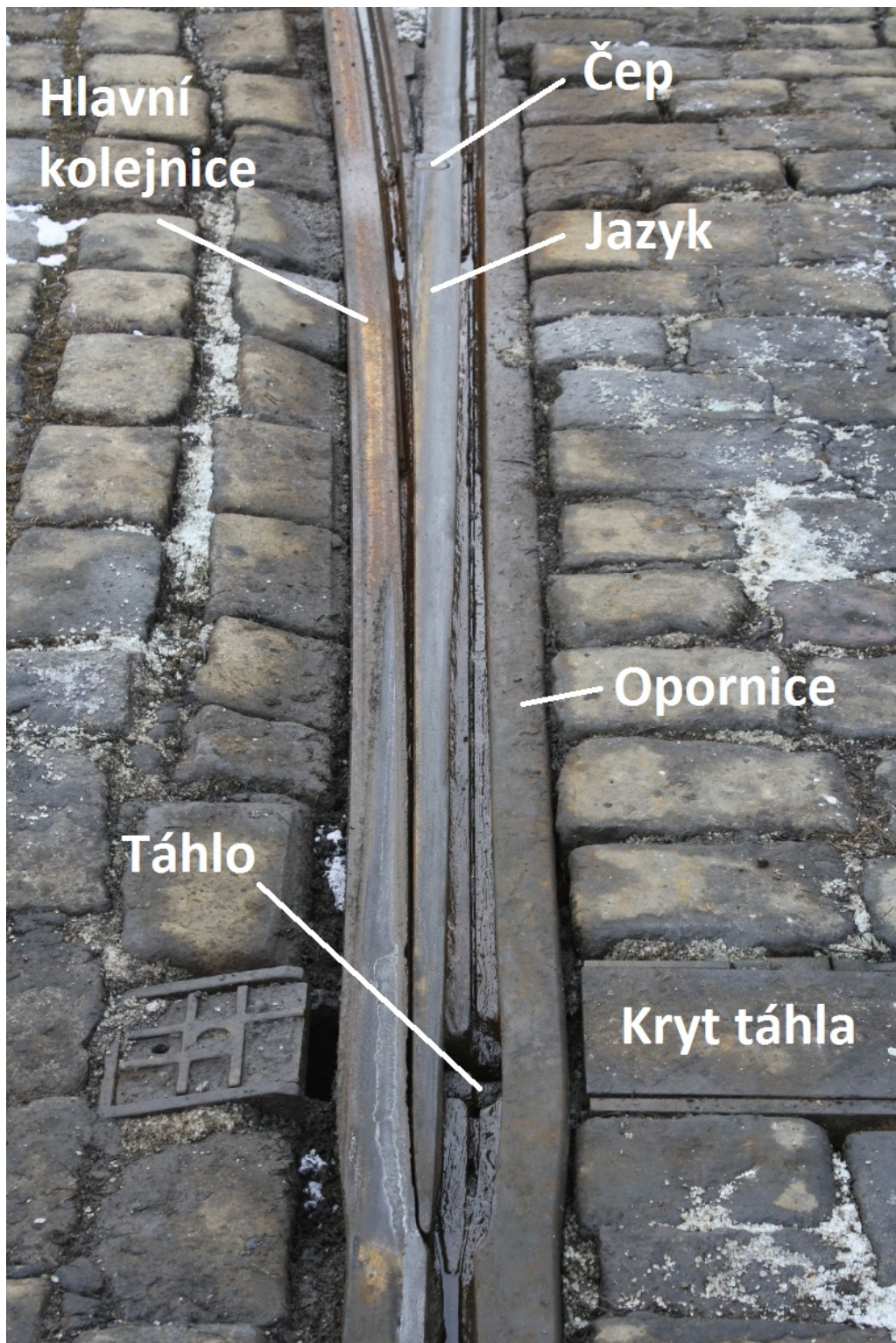
V případě výhybky s čepovými jazyky je jazyk zhotoven z pevné oceli a je na svém konci blíže srdcovce upevněn na čepu o průměru 50 mm, jak ukazuje obr. 3. Jazyk má tvar klínu a ve výměně je uložen na litinových vložkách nebo kluzném ocelovém plechu. Protože je jazyk poměrně robustní i na svém hrotu, je hlavní kolejnice mírně zalomena směrem ven, aby vytvořila prostor pro dolehnutí jazyku a plynulý přechod kola. Tento přechod nicméně příliš plynulý není, protože čepový jazyk je na svém konci spíše tupý/zaoblený, takže u mnoha výhybek tohoto typu dochází při přejíždění kola z kolejnice na jazyk k drobným nárazům. Jazyky jsou v blízkosti hrotů navzájem spojeny táhlem umístěným v ocelovém žlabu. Přestavení výhybky funguje na principu pootočení celého jazyka okolo osy čepu, přičemž tyto výhybky bylo možné stavět jak ručně, tak později elektricky. V případě elektrického stavění byla stavěcí skříň umístěna vně koleje, zpravidla na pravé straně. Výhybka je popsána na obr. 4. [1, 28]



Obr. 3: Detail čepu, na kterém je upevněn jazyk výhybky. Na pravé straně je patrné místo, kam se vkládá stavěcí klíč. Výhybka se nachází v obratišti Nádraží Braník (8/2017, archiv J. Hradila).

Výhodou čepových výhybek jsou nízké náklady a snadná výměna poškozeného jazyku. Nevýhodou je naopak méně komfortní průjezd vozidel výhybkou, stejně tak značné opotřebení jazyka a vytloukání čepu za provozu. Čepové výhybky rovněž nejsou vybaveny topnicemi, v zimních obdobích jsou proti zamrznutí chráněny pouze posypem solí, což se opět nepříznivě projevuje na stavu výhybky, navíc je v případě většího množství napadaného sněhu tato ochrana nedostatečná. Výhybku je následně velmi

obtížné přestavit do koncové polohy. Technologie čepových výhybek je v současnosti považována za přežitou a čepové výhybky se nově nezřizují, pouze se v odůvodněných případech rekonstruují. Dožívají převážně v nerekonstruovaných obratištích, některých křižovatkách a kolejištích vozoven. [1, 13]



Obr. 4: Součásti čepové půlvýměny v obratišti Vypich (1/2009, archiv J. Hradila).

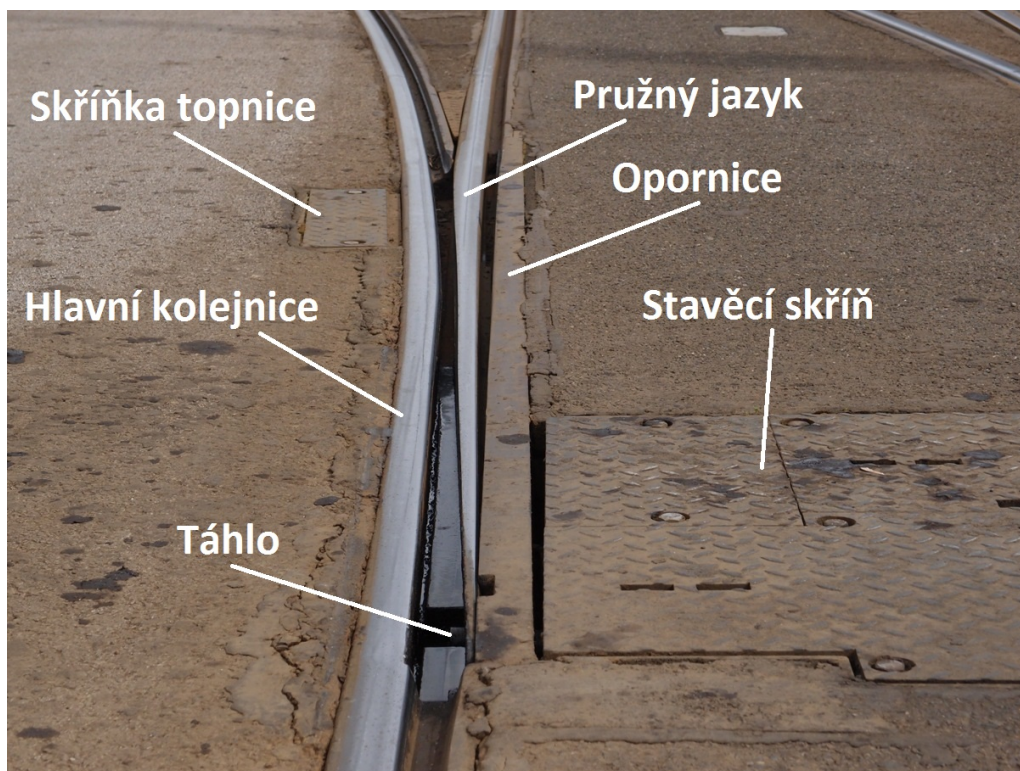


### 1.4.2 Výhybky s pružnými jazyky

U výhybek s pružným jazykem je jazyk vyroben z opracovaného ocelolitinového odlitku. Jazyk je v místě kořene pevně upevněn. Podle způsobu upevnění rozlišujeme výhybku s vyměnitelnými a nevyměnitelnými jazyky. Nevyměnitelné jazyky jsou v podstatě jen prodloužení spojovací kolejnice výměny a jak vyplývá z názvu, v případě jeho poškození je nutná výměna celé půlvýměny, resp. výměny. Oproti tomu vyměnitelné jazyky jsou v místě napojení na spojovací kolejnici odděleny šikmým řezem a kořen jazyku je upevněn šesticí šroubů, po jejichž demontáži lze jazyk snadno vyměnit. Jazyk se směrem ke hrotu zužuje, přičemž není tak masivní, jako je tomu u výhybek čepových, v místě hrotu dosahuje jeho tloušťka pouze několika milimetrů. Navíc je po stranách opracován tak, aby v koncové poloze lépe kopíroval tvar hlavní kolejnice, resp. opornice, což v kombinaci s jeho štíhlostí u hrotu zajišťuje mnohem lepší dolehnutí jazyku. Díky tomu je průjezd kola výhybkou plynulý bez dynamických rázů, což se pozitivně projevuje nejen na životnosti výhybky, ale i na vyšším komfortu jízdy. I zde platí, že jsou jazyky pevně spojeny táhlem, které je umístěno v blízkosti hrotů, přičemž stavěcí skříň je zde téměř vždy umístěna mezi kolejnicemi. Výhybku lze přestavovat ručně, dálkově i ústředně. Při přestavení jsou jazyky do koncových poloh ohýbány. Výhybky jsou běžně osazeny odporovými topnicemi, které jsou napájeny z trakčního vedení stejnosměrným napětím 600 V, což usnadňuje jejich přestavení i v zimních měsících. Novější výhybky mají též některé drobné úpravy, které v období zimy umožňují snazší vymetání napadaného sněhu. Popis částí této výhybky je na obr. 5. [1, 11, 28]

Protože některé výhybky s pružnými jazyky vykazovaly postupem času, zejména s dodávkami vozidel s vyššími nápravovými tlaky, nižší životnost, začalo se hledat řešení, jak konstrukci výhybky upravit, aby k tomuto jevu nedocházelo. Analýzou některých těchto výhybek se zjistilo, že nejčastější vadami bylo poškození montovaných spojení, zejména jejich povolování, natahování a otláčování. Pokud se spojení uvolnilo, jeho celková destrukce pokračovala díky rázům způsobeným průjezdem tramvají ještě rychleji. Docházelo i k případům, kdy byla výhybka vážně poškozena ještě během záruční doby. Aby se těmto stavům zamezilo, byla vyvinuta tzv. bloková výměna, která je tvořena pouze jedním dílem, a to ocelovým blokem, do kterého je vyfrázován pouze prostor pro jazyk a žlábký kolejnic, viz obr. 6. Aby bylo možné blokovou výměnu osadit, jsou k ní na patřičných místech přivařeny spojovací kolejnice. Jazyk je v bloku upevněn samosvěrným klínem a proti případnému nežádoucímu pohybu je jištěn spojem pero-drážka. Samosvěrný klín je pak dále jištěn šroubem proti náhodnému povolování. [1, 12, 43]

V pražské síti se od roku 1993 nově zřizují pouze výhybky s pružnými jazyky, v poslední době převažuje použití výhybek s blokovými výměnami. [28]



Obr. 5: Součásti půlvýměny s pružnými jazyky v obratišti Sídliště Ďáblice (3/2017, archiv J. Hradila).



Obr. 6: Blokovaná výhybka po usazení ve vjezdu do obratiště Vypich (7/2014, archiv J. Hradila).

## 1.5 Výhybky dle možnosti uzamčení jazyků v koncových polohách

Potřeba zajištění jazyků výhybky v koncových polohách a zabránění jejich samovolnému přestavení vzešla ze stále rostoucích nároků na bezpečnost tramvajové dopravy, stejně tak bylo žádoucí řidiče na řádné přestavení a zablokování výhybky upozorňovat s předstihem pomocí proměnných návěstidel. Na rozdíl od železniční dopravy, kde jsou různou úrovní zabezpečení jistěny všechny výhybky, v tramvajové dopravě se obvykle jedná výhradně o rozjezdové výhybky, a to zpravidla o ty, které jsou pojížděny pouze proti hrotům. Rozlišujeme výhybky neuzamykatelné a uzamykatelné.

### 1.5.1 Neuzamykatelné výhybky

Výhybky neuzamykatelné jsou, jak již název napovídá, ty výhybky, u kterých není možné mechanicky zajistit jazyky proti samovolnému přestavení a rovněž garantovat jejich řádné dolehnutí. V dnešní době se kromě zajišťovacích výhybek jedná mimo areály vozoven pouze o ručně přestavované výhybky s čepovými jazyky, jejichž stavěcí mechanismus je značně primitivní a neobsahuje prakticky žádné jisticí prvky.

Určitou zajímavost v pražské síti tvořila výhybka na Čechově mostě označená číslem 111, která zde byla umístěna na přelomu let 2001–2002 při kompletní rekonstrukci kolejové křižovatky. Šlo o výhybku s pružnými jazyky, která však nedisponovala možností uzamčení. Důvodem byl nedostatek prostoru na umístění plnohodnotného přestavníku, který by tuto funkci umožňoval. Jednalo se tak o jedinou dálkově stavěnou neuzamykatelnou výhybku s pružnými jazyky v pražské síti. Výhybka byla pro jasné odlišení označena nejen číslem 111, ale zejména atypickým výhybkovým návěstidlem, které mělo jiný tvar a žlutou barvu návěstí. Dnes je na tomto místě normální uzamykatelná výhybka s pružnými jazyky číslo 566, která zde byla zřízena poté, co Pražská strojírna vyvinula přestavník s nižší zástavbovou výškou 170 mm, který již bylo možné do stísněného prostoru osadit. [14, 32, 41]

### 1.5.2 Uzamykatelné výhybky

V případě výhybek uzamykatelných jsou jazyky mechanicky zajištěny v koncové poloze a tato skutečnost může být signalizována, je-li u výhybky zřízeno výhybkové návěstidlo. Jak vyplývá z předchozího textu, jedná se výhradně o výhybky s pružnými jazyky. Jejich stavěcí mechanismus je sofistikovanější, než u výhybek čepových. Řádné dolehnutí jazyků i jejich uzamčení v koncové poloze je jistěno nekolikanásobně. Podrobněji bude jistění výhybek proti nežádoucímu přestavení popsáno v kapitole 4.2. V pražském provozu obecně platí, že každá uzamykatelná výhybka musí být označena návěstí, přičemž podle použitých návěstí můžeme uzamykatelné výhybky roztrždit do tří skupin.

První možností je uzamykatelná výhybka bez výhybkového návěstidla, kterou lze představovat pouze ručně. Taková výhybka musí být označena návěstí „Uzamykatelná výhybka“ (viz obr. 32) a po jejím přestavení je povinností řidiče provést ruční zkoušku uzamčení. Ta se provádí tak, že řidič zasune stavěcí klíč mezi jazyk a opornici v místě nejbližším možným hrotu jazyku (popř. v jiném místě k tomu určeném), přičemž se pokouší odtlačit jazyk výhybky od opornice. Není-li možné jazyk od opornice odtlačit, je výhybka považována za uzamčenou. V případě, že je prostor mezi jazykem a přídržnicí zanesen nečistotami a jazyky výhybky se nechtějí uzamknout, měl by se řidič pokusit prostor vyčistit (například drátěným košťátkem, které je umístěno v kabině vozu). Pokud se ani poté nedaří jazyky uzamknout, je další jízda přes výhybku možná jen se souhlasem provozního dispečinku, přičemž dispečink může nařídít služebním příkazem přes výhybku pomalou a opatrnou jízdu. V takovém případě musí polohu jazyků při průjezdu tramvaje sledovat poučený pracovník. [5]

Druhým případem je uzamykatelná výhybka s výhybkovým návěstidlem, kterou lze představovat pouze ručně. Takovéto výhybky jsou označovány jako U xy, kde xy jsou číslice. I tato výhybka musí být označena návěstí „Uzamykatelná výhybka“ doplněnou o návěst „Číselné označení výhybky s pomocným návěstidlem“ (viz obr. 33). Řidič zde jedná stejně jako v prvním případě s tím rozdílem, že po přestavení výhybky se pohledem na návěstidlo přesvědčí, zda je výhybka řádně uzamčena (tj. je dávana návěst o postavení vlakové cesty (viz obr. 38)) a nemusí provádět ruční zkoušku uzamčení. V případě, že na návěstidle svítí návěst „Neurčitá vlaková cesta“ (viz obr. 39) nebo je návěstidlo nefunkční, je řidič povinen se před vjetím do výhybky o uzamčení jazyků přesvědčit ruční zkouškou. Nejsou-li jazyky řádně uzamčeny, jedná obdobně, jako v předchozím odstavci. [5]

Poslední možností je výhybka uzamykatelná s výhybkovým návěstidlem, kterou lze představovat dálkově. Jedná se tedy o výhybku z číselné řady 200–999, jejíž obvod je zároveň označen návěstí „Pracovní trolejový kontakt“ (viz obr. 34) nebo „Přijímač rádiového signálu“ (viz obr. 35). Vjetí do výhybky je zde opět podmíněno tím, že výhybkové návěstidlo dává návěst o postavení vlakové cesty včetně blokování výhybky proti nežádoucímu přestavení. V opačném případě jedná řidič stejně, jako v předešlém odstavci. [5, 6]

Dopravní a návěstní předpis D 1/2 zakazuje jízdu přes uzamykatelnou výhybku ve směru po hrotech, mělo-li by při průjezdu dojít k rozřezu jazyků výhybky koly vlaku, což by mohlo způsobit destruktivní rozřez jazyků a poškození výhybky, nebo vykolejení vlaku. Novější uzamykatelné výhybky jsou vybaveny rozřeznou pojistkou, díky které je možné jazyky výhybky při průjezdu jednorázově rozříznout nedestruktivně. Jedná se ale pouze o preventivní opatření, které není určeno k běžnému použití. V případě potřeby lze dodat i takovou uzamykatelnou výhybku, jejíž stavěcí mechanismus umožňuje opakovaný nedestruktivní rozřez jazyků. V Praze bylo toto řešení použito pouze jednou, a to jen v dočasném režimu. Jednalo se o výhybku ve výjezdu z vozovny Vokovice v období několika měsíců roku

2015, kdy se v rámci rekonstrukce zřizovala objízdná kolej, čemuž bylo uzpůsobeno zaústění vjezdu a výjezdu z vozovny na tramvajovou trať v Evropské ulici. Protože realizace samotné objízdné koleje nabrala několikaměsíční zpoždění, bylo nutné do vozovny zatahovat původním způsobem, tj. zpětným pohybem z Evropské ulice. Během rekonstrukce však byla původní čepová výhybka ve výjezdu z vozovny směrem na trať nahrazena ruční uzamykatelnou výhybkou s pružnými jazyky označenou U 16. Aby nemuseli řidiči zatahujících vlaků výhybku při každém zatažení kontrolovat, čímž by zároveň tramvajový vlak blokoval průjezd Evropskou ulicí směrem do centra, byla tato výhybka upravena tak, aby její jazyky bylo možné nedestruktivně rozříznout, což bylo pro tuto výhybku dočasně povoleno služebním příkazem. [5, 34]

## **1.6 Výhybky dle způsobu přestavování**

### **1.6.1 Výhybky přestavované místně**

#### **1.6.1.1 Ručně přestavované výhybky**

Mezi místně přestavované výhybky patří především výhybky stavěné ručně. Ruční přestavení lze označit za nejjednodušší způsob, jak výhybku přestavit, zároveň je výhybka s pouze ručním přestavováním nejméně nákladná na realizaci, protože nevyžaduje instalaci kolejových obvodů či jiného zabezpečení proti podhození následujícím vlakem, jež s ohledem na ruční stavění není možné. Rovněž je možné označit ruční přestavování výhybek za základní, protože se používá jako záložní způsob přestavování u všech pokročilejších možností stavění výhybek v případě jejich nefunkčnosti či selhání. Ručně je možné přestavit každou výhybku s výjimkou výhybek zajišťovacích, které budou zmíněny dále. Ruční přestavování výhybek si s sebou však nese i některé nevýhody, jmenujme zejména dvě zásadní.

První nevýhodou je značná časová náročnost tohoto způsobu přestavování. V dnešní době jsou totiž výhybky ručně přestavovány zpravidla řidičem tramvaje, což vyžaduje zastavení vlaku před výhybkou, výstup řidiče, samotné přestavení výhybky, návrat řidiče do kabiny tramvaje a následný rozjezd. Zdržení proti současným způsobům přestavování tak může činit řádově desítky sekund. V dobách, kdy neexistovaly jiné způsoby stavění výhybek, byla na frekventovaných místech zřízena funkce výhybkáře, který buď pomocí stavěcího klíče, nebo táhla vyvedeného do stanoviště výhybkáře v blízkosti výhybky, výhybku přestavoval v závislosti na směru další jízdy blížícího se vlaku, řidič tramvaje tak mohl výhybku projet bez zastavení. Stejně tak ve vozovných pro urychlení zatažení tramvajových vlaků existovali zavaděči. V dnešní době se již s výhybkáři v pravidelném provozu nesetkáme, jejich roli sporadicky přebírají pracovníci dispečinku v případě operativního řízení provozu v situacích, kdy by časté stavění

výhybky řidiči mělo nepřiměřený vliv na přesnost a plynulost provozu. Provozní předpis D 1/2 nicméně stále na funkci výhybkáře pamatuje. [1, 5, 13]

Druhou nevýhodou je pak nemožnost kontroly řádného dolehnutí jazyků, pokud se nejedná o výhybku ruční uzamykatelnou. Jazyky výhybky jsou v koncové poloze drženy jen pomocí pružiny, která však nemá vyvedenou žádnou signalizaci. O řádném dolehnutí jazyků se tak lze přesvědčit pouze pohledem a v případě poškození pružiny je možné, zejména u čepových jazyků, následnou jízdou vychýlit jazyky z koncové polohy, což může způsobit i vykolejení vlaku. V současnosti se k ručnímu přestavení výhybek používá tzv. stavěcí klíč, jenž je tvořen ocelovou tyčí délky cca 80 cm, která je na spodním konci uzpůsobena do tvaru klínu a na horním konci osazena plastovou rukojetí, viz obr. 7. Samotný úkon přestavení se však liší podle typu použitých jazyků, respektive podle uspořádání stavěcí skříně.



Obr. 7: Stavěcí klíč (8/2017, archiv J. Hradila).

V případě čepových jazyků je ve žlábků, kterým se pohybuje jazyk, cca 20 cm od čepu umístěn otvor, do kterého se zasouvá stavěcí klíč. Otvor je patrný také na obr. 3. Po zasunutí se trhnutím stavěcím klíčem jazyky odtlačí do koncové polohy, čímž je výhybka přestavena. Tento způsob přestavování nicméně vyžaduje od pracovníků určitý gryf a někdy i značné množství síly, což je dáno jednak různým odporem pružiny (obr. 8), ale zejména pak velkou blízkostí bodu působící síly k ose otáčení (čepu), což při použití páky znamená velmi krátké rameno síly a tím i nutnost působit větší silou. V případě deštivého počasí je navíc stavění trhnutím mnohdy doprovázeno rozstříkáním vody z prostoru žlábků, což tento už tak nepohodlný systém přestavování ještě zhoršuje. Některé čepové výhybky v kolejistích vozoven (např. ve vozovnách Strašnice a Střešovice) byly dodatečně vybaveny přestavníkovou skříní, která se používá u výhybek s pružnými jazyky, se kterými také mají shodný způsob přestavování.

U výhybek s pružnými jazyky je situace podstatně jednodušší. Stavěcí klíč se zasouvá do otvoru v přestavníkové skříně, která je obvykle umístěna na začátku výhybky (u hrotu jazyků) mezi kolejnicemi, výjimečně pak vedle koleje (jednojazykové výhybky). Výhybku následně přestavíme plynulým zatlačením na stavěcí klíč proti směru (resp. po směru v případě stavěcí skříně vedle koleje), do kterého chceme výhybku přestavit. Díky působení síly ve větší vzdálenosti od osy otáčení (ohybu) jazyku je v tomto případě rameno síly delší a je tedy potřeba vynaložit mnohem menší sílu. Jedná-li se o výhybku ruční uzamykatelnou bez návěstidla nebo o výhybku uzamykatelnou s nefukčním návěstí-

dlem, je ještě třeba před další jízdou provést zkoušku uzamčení, která byla zmíněna u uzamykatelných výhybek v kapitole 1.5.2. [5]



Obr. 8: Táhlo výhybky s čepovými jazyky. V horní části je patrná pružina, kterou je nutné při ručním přestavování přetlačit. Výhybka se nachází v obratišti Nádraží Braník (8/2017, archiv J. Hradila).

## 1.6.2 Výhybky s omezenou možností přestavování

### 1.6.2.1 Výhybky se zcela zamezenou možností přestavování

V případě, že je třeba u výhybky zamezit možnosti přestavení, postupuje se dle typu výhybky. V první řadě je třeba vyřadit veškeré možnosti dálkového stavění výhybek odpojením stavěcích kontaktů či přijímačů signálu. Dále je nutné znemožnit ruční přestavení výhybky, což se opět odvíjí od druhu použitých jazyků. V případě jazyků čepových je třeba výhybku tzv. zaklínovat, což spočívá v umístění klínek ve tvaru kvádrů do otvorů, kam se zasouvá stavěcí klíč. Tím je přestavení výhybky stavěcím klíčem znemožněno.

Druhou možností je použití rozpěr, které se umístí mezi jazyk výhybky a opornici. Při použití rozpěr musí být výhybka pod neustálým dozorem poučeného pracovníka. Tento způsob již drží jazyky pevně v požadované poloze, koly vlaku je nelze přestavit – zaklínovanou výhybku je zakázáno rozřezávat koly vlaku, v případě použití rozpěr hrozí vykolejení vlaku. U výhybek s pružnými jazyky postačuje zakrytí

otvoru pro stavěcí klíč v přestavníkové skříni speciální krytkou, která je upevněna z vnitřní strany přestavníkové skříně, což znemožňuje její odstranění bez demontáže krytu přestavníkové skříně. [5]

### 1.6.2.2 Zajišťovací výhybky

Zajišťovací výhybka je speciální druh výhybky. Její jazyky jsou pomocí pružiny, která je osazena v přestavníkové skříni, drženy v jedné z koncových poloh, takže v případě jízdy proti hrotům je další jízda možná pouze jedním směrem. Jízda po hrotech je díky tomu, že jsou jazyky drženy pouze pružinou, možná z obou kolejových větví, přičemž ze směru, do kterého jazyky nejsou trvale postaveny, dochází k jejich nedestruktivnímu rozřezu a jazyky se po projetí každé nápravy vrací vždy do základní polohy. Na to je nutné pamatovat v případě průjezdu výhybkou ve směru po hrotech a následnému zpětnému pohybu či couvání proti hrotům výhybky. Došlo-li k průjezdu směrem po hrotech směrem, do kterého nejsou jazyky trvale postaveny, je bezpodmínečně nutné přejet výhybku všemi koly vlaku. V opačném případě by došlo k vykolejení vlaku, protože by každá náprava (popř. podvozek) byla vedena do jiné kolejové větve. Z tohoto důvodu jsou takové výhybky z obou směrů označeny návěstí „Zajišťovací výhybka“ (viz obr. 30). [5]

V případě potřeby pojíždět zajišťovací výhybku proti hrotům druhým směrem, k čemuž dochází výjimečně, je potřeba výhybku zaklínovat (čepové jazyky), případně v přestavníkové skříni přestavit pružinu (čepové i pružné jazyky). Existují též zajišťovací výhybky, u kterých je možné jejich dočasné přestavení do druhého směru, a to pomocí vyvedeného táhla (viz obr. 9), ve kterém je po dobu jízdy druhým směrem držen poučeným pracovníkem stavěcí klíč. Takové výhybky je možné spatřit v areálech některých vozoven, konkrétně Žižkov a Střešovice. [7]

Zajišťovací výhybky jsou typicky využívány v místech, kde je výhybka pravidelně pojížděna pouze některými směry, zpravidla jedním směrem proti hrotům a jedním či dvěma směry po hrotech. Z předchozí věty je patrné, že se jedná výhradně o výhybky rozjezdové, u sjezdových výhybek by zřízení zajišťovací výhybky postrádalo smysl. Zajišťovací výhybky běžně nachází využití ve třech konkrétních případech.

Prvním případem jsou kolejiště vozoven, kde zajišťovací výhybky usnadňují manipulaci po kolejišti vozovny. Bývají osazeny v místech, která se proti hrotům pojíždějí pouze jedním směrem. Umístěním zajišťovací výhybky tak odpadá potřeba jejího ručního přestavování při jízdě proti hrotům. Příkladem může být již zmíněná vozovna Žižkov. Zajišťovací výhybka je zde zřízena před mycím rámem, který je umístěn na kusé koleji v hale vozovny, která vznikla spojením kolejí 18 a 19. Tramvajové vlaky do mycího rámu běžně zajíždí zpětným pohybem z 19. koleje, zatímco výjezd z haly probíhá po 18. koleji. [7]





Obr. 9: Zajišťovací čepová výhybka s vyvedeným táhlem, kterým je možné výhybku dočasně „podržet“ přestavenou do běžně nepojížděného směru. Výhybka se nachází na dvoře vozovny Střešovice (11/2008, archiv J. Hradila).

Druhé využití je ve výhybkách, které se nachází na začátku, resp. konci jednokolejného obousměrně pojížděného úseku tramvajové trati. V ČR je asi nejtypičtějším takovým místem meziměstská tramvajová trať spojující Liberec a Jablonec nad Nisou. V Praze bychom toto použití našli pouze v jednokolejných vjezdech do vozovny Strašnice, kde jsou tyto výhybky instalovány na výjezdu z vozovny, aby vyjíždějící vlaky vždy pokračovaly na správnou traťovou kolej ve směru jízdy. [7]

Třetím a posledním typickým využitím jsou místa na trati, která se používají pro obracení vlaků. Může jít jak o kolejové trojúhelníky (v Praze například Zvonařka), které umožňují obracení jednosměrných i obousměrných vozidel, tak zejména o kolejové spojky či úvratová obratiště, která jsou určena pro obousměrné vozy. Z kolejových spojek mimo areály vozoven nezbyla v pražské síti jediná, která by byla trvale osazena zajišťovacími výhybkami. Jedna z posledních takových spojek se nacházela mezi zastávkami Motol a Vozovna Motol. Rovněž trvalá úvratová obratiště nejsou v pražské síti v pravidel-

ném provozu zastoupena, příležitostně se však objevují úvraťová obratiště dočasná, která se s výhodou zřizují co nejblíže vyloučenému úseku, což umožňuje zkrátit úsek bez provozu tramvají na minimum. Dočasná úvraťová obratiště jsou realizována pomocí povrchových kolejových spojek, známých také jako Californien, od lucemburského výrobce KIHN S. A., které byly dodány v roce 1995. Ukázka je na obr. 10. Během roku 2016 se ve zkušebním provozu objevila rovněž povrchová kolejová spojka od výrobce Pražská strojírna a. s. [36, 40]



Obr. 10: Pohled na povrchovou kolejovou spojku Californien instalovanou při výluce v zastávce Husinecká (6/2008, archiv J. Hradila).

Povrchová kolejová spojka je dodávána v levostranném i pravostranném provedení a skládá se z několika modulů, které jsou mezi sebou spojeny šrouby a vodivým spojením. Kromě výměny, srdcovky, mezipřímé a navazujícího oblouku o poloměru 25 m jsou důležitou součástí také nájezdové klíny, kterými jsou kola tramvaje převedena z kolejnic tramvajové trati na kolejnice povrchové spojky a zpět. Použité kolejnice jsou profilu B 1. Ve výměně jsou použity pružné jazyky. Celá sestava je pomocí šroubů upevněna k povrchu a kolejnice jsou vodivě spojeny s kolejnicemi tramvajové trati. Při použití dvojice spojek je také možné zřídit dočasně obousměrně pojízditelný jednokolejný úsek. [36]

### 1.6.2.3 Volné výhybky

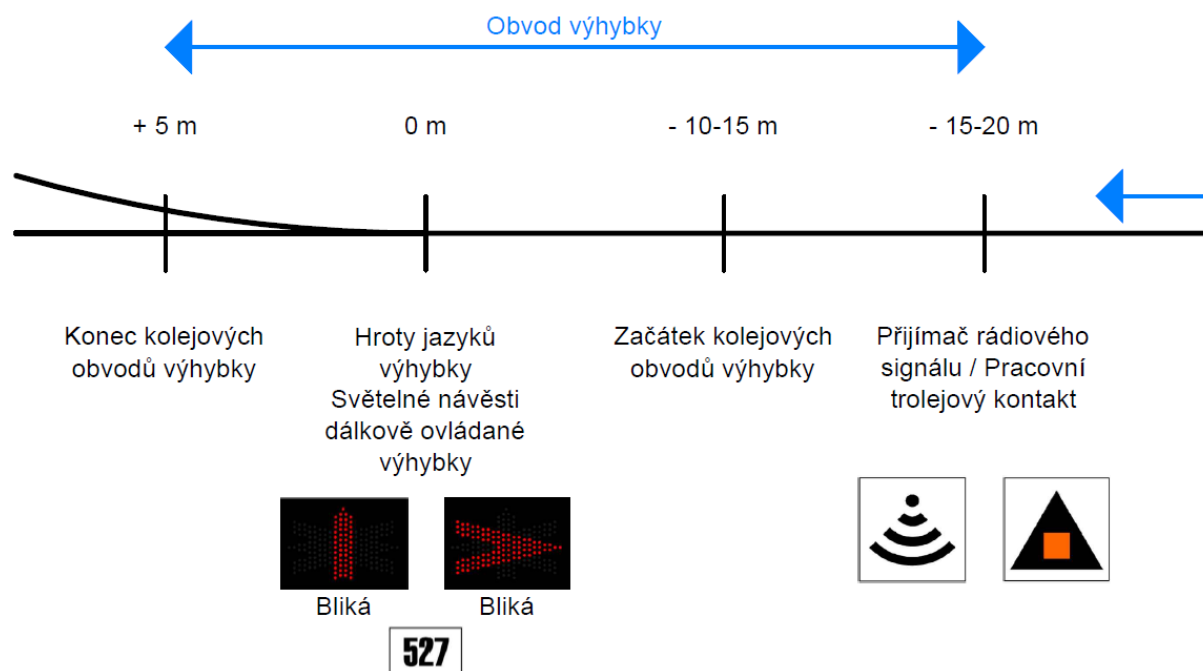
Za volnou označíme takovou výhybku, jejíž jazyky nejsou spojeny táhlem a přestavují se nezávisle na sobě, respektive přestavení jednoho jazyku nezpůsobí přestavení jazyku druhého. U výhybek rozjezdových je výskyt volných výhybek spojen výlučně s technickou závadou výhybky, zpravidla poškození spojení jazyku s táhlem. Ve směru proti hrotům je jízda přes takovou výhybku zakázána. Průjezd je možný až po dodatečném zajištění jazyků ve správné poloze rozpěrami a za dozoru poučené osoby, která sleduje polohu jazyků. U výhybek sjezdových není volná výhybka překážkou v pravidelném provozu, ačkoliv se záměrně nezřizuje. Proto je v případě potřeby průjezdu sjezdovou výhybkou proti hrotům povinností řidiče se před vjetím do výhybky přesvědčit, zda se nejedná o výhybku volnou. [5]

### 1.6.3 Výhybky přestavované dálkově

Za dálkově přestavované výhybky považujeme ty výhybky, které je možné přestavit v určité vzdálenosti, obvykle desítky metrů, od výhybky pomocí ovládacích prvků a zařízení umístěných na vlaku. Tyto výhybky jsou tedy vybaveny elektrickým přestavníkem a proměnným výhybkovým návěstidlem. Přestavník i návěstidlo jsou dnes napájeny přímo z trolejového vedení stejnosměrným napětím 600 V. Díky elektrickému přestavníku není nutné v případě správné funkčnosti zařízení s tramvají před výhybkou zastavovat, pouze zpomalit na maximální dovolenou rychlost průjezdu výhybkou. V dnešní době se již jedná výhradně o výhybky uzamykatelné, v minulosti tomu tak ale nebylo. Kromě mechanického uzamčení jazyků výhybky v koncové poloze je nutné ještě v okamžiku, kdy se vlak nachází na výhybce nebo její bezprostřední blízkosti, dočasně zamezit náhodnému přestavení výhybky dalším vlakem jedoucím v závěsu. Pokud by elektrické přestavení výhybky nebylo ve chvíli průjezdu vlaku blokováno, došlo by k podhození výhybky pod vlakem, což by způsobilo vykolejení. Proto mají současné výhybky s elektrickým přestavníkem zřízen obvod výhybky, který začíná cca 15–20 m před hroty jazyků výhybky a končí několik metrů za výhybkou. [13]

Obvod výhybky začíná místem, odkud je možné výhybku přestavit pomocí trolejového kontaktu či rádiového signálu, přičemž toto místo je vždy označeno návěstí. Několik metrů za tímto místem následuje zpravidla začátek kolejového obvodu, popřípadě jiné zařízení, které detekuje obsazenost úseku vlakem a které dočasně zablokuje možnost dálkového stavění výhybky. Blokování výhybky proti náhodnému přestavení je indikováno pomocí výhybkového návěstidla, a to tak, že se návěst o postavení vlakové cesty rozblíká (viz obr. 38). Do obvodu výhybky je řidiči zakázáno vjíždět, dokud jej předchozí vlak neopustí, tj. dokud výhybkové návěstidlo nepřestane blikat. K tomu dojde ve chvíli, kdy vlak po průjezdu výhybkou uvolní kolejový obvod, popř. jiné zařízení vyhodnotí obvod výhybky jako volný. Dojde-li k situaci, že výhybka zůstane i po opuštění obvodu výhybky vlakem zablokována,

smí řidič následujícího vlaku po tom, co se přesvědčí, že je obvod výhybky volný, pokračovat v jízdě do obvodu výhybky, přičemž výhybku bude moci v případě potřeby přestavit pouze ručně. V prostoru pod výhybkovým návěstidlem se u každé dálkově stavěné výhybky nachází také návěst „Číselné označení dálkově ovládané výhybky“ (viz obr. 37), která slouží k identifikaci výhybky. Schéma obvodu dálkově přestavované výhybky je pak na obrázku 11. [5]



Obr. 11: Schéma obvodu dálkově stavěné výhybky (J. Hradil, zdroj obr. návěstí: [5]).

Dálkově stavěné výhybky jsou označovány trojmístnými čísly v rozmezí 001–999, přičemž řada čísel není souvislá. Zpravidla se vždy s příchodem nové, pokročilejší technologie začala obsazovat nová číselná řada od nejbližší vyšší stovky. Autor tohoto číselného odlišení využije a pokusí se jednotlivé typy stručně popsat v následujících odstavcích. [5, 32]

První a zároveň nejstarší způsob elektrického stavění výhybek tvořily výhybky číselné řady 001–199. Tyto výhybky se od září 2012 v síti DPP nenacházejí, poslední výhybka tohoto typu byla v provozu v obratišti Kubánské náměstí. Jednalo se o neuzamykatelné čepové výhybky, které byly ovládány přestavníkem EMP 1 (později také EMP 2), jehož konstrukce byla vyvinuta již ve 20. letech 20. století švýcarskou společností Oerlikon. Základ přestavníku tvořila cívka se železným jádrem, která při průchodu proudu (sepnutí trolejového kontaktu) vyvinula dostatečnou magnetickou sílu pro vtažení jádra. Jádro bylo spojeno pomocí táhel s jazyky výhybky, které se s pohybem jádra přestavovaly do koncových poloh. Lišila se i použitá výhybková návěstidla, postupně byly používány dva druhy. První, starší typ (obr. 12) tvořily tři žárovky uspořádané do trojúhelníku. Horní světlo signalizovalo blokování výhybky, dolní dvě levou a pravou koncovou polohu jazyků výhybky bez ohledu na skutečné směrové

uspořádání výhybky. Druhý typ návěstidla (obr. 13) byl tvořen pěti světelnými segmenty, z nichž čtyři tvořily strany čtverce postaveného na vrchol a sloužily k signalizaci směru, do kterého je výhybka postavena, v tomto případě již s možností zobrazení směrů podle skutečného uspořádání výhybky. Pátý segment byl tvaru čtverce a byl umístěn uvnitř čtverce tvořeného zbylými segmenty. Jeho funkcí bylo informovat o zablokování výhybky. Oba typy návěstidel v síti DPP již nenajdeme, byla odstraňována spolu s výhybkami této číselné řady. [6, 13, 28, 32]

Tyto přestavníky měly řadu zásadních nevýhod. Mezi ty nejvýznamnější patřilo zejména riziko samovolného přestavení výhybky v deštivém počasí při špatně odvodněné výhybkové skříní, dále pak nemožnost plnohodnotného blokování výhybky proti podhození následujícím vlakem, případně i pantografem druhého vozu vlastního vlaku. Nespolehlivá byla rovněž výhybková návěstidla. Jejich signály byly považovány pouze za orientační a nezávazné, řidič se na ně nemohl spolehnout. Nebylo výjimkou, že návěstidlo oproti skutečnosti ukazovalo postavení výhybky do druhého směru. Dalším negativem, které bylo možné pozorovat, byl jev, kdy patrně při větším průchodu proudy, nebo špatnému seřízení stavěcího mechanismu došlo k situaci, že se jazyky výhybky při přestavení „odrazily“ z koncové polohy zpět do výchozí nebo neurčité polohy, což mělo negativní vliv na bezpečnost provozu i na míru opotřebení takové výhybky, protože jazyky těchto výhybek nebyly při svém pohybu nijak tlumeny. [6, 13, 28, 32]



Obr. 12: Ve své době jedno z posledních výhybkových návěstidel tohoto typu na vjezdu do obratiště Podbaba, dnes již tato návěstidla v Praze nenajdeme (12/2008, archiv J. Hradila).



Obr. 13: Pozdější typ návěstidla v obratišti Kotlářka. Poslední návěstidlo tohoto typu bylo v září 2012 odstraněno z obratiště Kubánské náměstí (12/2008, archiv J. Hradila).

Číselnou řadu 200–299 již tvoří pouze několik kusů výhybek. Je zde použit řídicí systém R92 z produkce firmy Elektroline. Počínaje touto řadou jsou již všechny další výhybky uzamykatelné s pružnými jazyky a jsou osazeny současnými červenými výhybkovými návěstidly (obr. 14). K blokování výhybek proti nechtěnému přestavení jsou použity trolejové kontakty, tj. výhybka je zablokována, resp. odblokována po průjezdu pantografu vlaku přes trolejový kontakt. Nevýhodou těchto výhybek je skutečnost, že při výpadku napájení dojde k odblokování výhybky, přičemž po jeho obnovení se výhybka již znovu nezablokuje. Pokud by tedy v prostoru jazyků výhybky zůstal stát vlak, hrozí riziko podhození výhybky následujícím vlakem. [13, 28, 33]

Číselná řada 300–399 je rovněž tvořena už jen několika posledními výhybkami. U výhybek je použit řídicí systém R95 s polovodičovými prvky. K blokování výhybek proti nechtěnému přestavení jsou opět použity trolejové kontakty, výjimku tvořily výhybky číselné řady 37x, u kterých byl použit ultrazvuk, který se ale pro značnou poruchovost neosvědčil a v současnosti jím v pražské síti není vybavena žádná výhybka. Dojde-li k výpadku napájení, je po jeho následném obnovení výhybka zablokována, a to bez ohledu na přítomnost vlaku v obvodu výhybky. Řidič následujícího vlaku tak bude v případě potřeby přestavení výhybky nucen výhybku přestavit ručně. [13, 33]

Výhybky z číselné řady 400–799 jsou již vybaveny kolejovými obvody a po obnovení po výpadku



Obr. 14: Dnes používané diodové výhybkové návěstidlo v Hlubočepích (12/2008, archiv J. Hradila).

napájení se zablokuje podle skutečné obsazenosti kolejového obvodu, řidič následujícího vlaku tak bude moci výhybku přestavit dálkově. [13]

Výhybky řady 400–499 používají systém R96 či TMPK a v síti jich zbývá posledních pár kusů. [13, 33]

Výhybky řady 500–599 využívají systém TMPKM a jsou vybaveny paměťovou kartou, která archivuje stavy a poruchy výhybky. [13]

U výhybek řady 600–799 je použit systém TSC3.1 pro jednotlivé výhybky, resp. TSC3.2 pro dvojice výhybek například v případě větvení trati do tří směrů. Kromě paměťové karty jsou tyto výhybky vybaveny i GSM modulem, díky kterému je možné sledovat stav výhybky on-line, a to včetně automatického hlášení poruch. [13]

Zajímavostí je pak použití číselné řady 99x, která se se v minulosti použila u dálkově ovládaných výhybek zřízených dočasně. Příkladem mohla být například výhybka číslo 999 v dočasném úvratovém obratišti Sparta, které bylo zřízeno v době výstavby tunelového komplexu Blanka. Stejně tak byly výhybky označené touto číselnou řadou zřízeny v dočasně přeložené křižovatce Prašný most.

### 1.6.3.1 Elektricky ovládané výhybky

Jedná se o výhybky číselné řady 200–499, které jsou přestavovány pomocí trolejového kontaktu (viz obr. 15), přičemž jedním trolejovým kontaktem lze přestavovat pouze jednu výhybku. Na začátku obvodu výhybky je umístěna návěst „Pracovní trolejový kontakt“ (viz obr. 34). Jsou-li dvě výhybky za sebou, pak je návěst opakována u každého trolejového kontaktu, přičemž je navíc doplněna písmeny „L“ a „P“ u výhybek s různými směry odbočení, resp. „1“ a „2“ u výhybek se stejným směrem odbočení podle pořadí výhybek ve směru jízdy (viz obr. 36). Zdvojená a doplněná písmeny, resp. čísla jsou v takovém případě rovněž výhybková návěstidla. [5, 32]

V okamžiku průjezdu pantografu přes trolejový kontakt nesmí být na vozidle zadán stupeň jízdy. Řidič tramvaje v případě, že chce výhybku přestavit, stiskne v momentě průjezdu pantografu přes trolejový kontakt tlačítko „Výhybka“, resp. „Výhybka 1“ u vozidel vybavených rekuperací. V případě, že výhybku přestavit nechce, je řidič povinen při průjezdu pantografu přes trolejový kontakt vypnout přidavné topení a případně rekuperaci, je-li jí vozidlo vybaveno. K vypnutí rekuperace dojde při stisknutí tlačítka „Výhybka 0“. [5]



Obr. 15: Detailní pohled na pracovní trolejový kontakt, který byl svého času umístěn i v obratišti Špejchar (5/2008, archiv J. Hradila).



### 1.6.3.2 Rádiově ovládané výhybky

Jedná se o výhybky číselné řady 500–799, které jsou přestavovány bezkontaktně v místě přijímače rádiového signálu, který je umístěn po pravé straně pravé kolejnice ve směru jízdy. Jedním přijímačem rádiového signálu lze stavět jednu výhybku či dvojici výhybek. Na začátku obvodu výhybky je umístěna návěst „Přijímač rádiového signálu“ (viz obr. 35). Je-li rádiovým signálem možné přestavit pouze jednu z dvojice výhybek, pak se návěst doplní písmenem „L“ nebo „P“, resp. číslem „1“ nebo „2“ podle toho, kterou z výhybek je možné rádiovým signálem stavět (viz obr. 36). [5, 32]

Vysílač rádiového signálu je umístěn ve spodní části tramvaje cca v úrovni prvních dveří. V současnosti je vysílač připojen přímo na výstup z palubního počítače, který do vysílače posílá požadavek na postavení vlakové cesty do požadovaného směru. Pomocí palubního počítače je možné výhybky přestavovat v několika režimech. [31]

První a nejčastěji používanou možností je plně automatické ovládní výhybek, kdy řidič v palubním počítači nastaví kód hlásiče linky. Výhybky se následně podle aktuálně vyhlášené zastávky samy přestavují do správného směru bez nutnosti dalšího zásahu řidiče. [31, 8]

Druhým způsobem je režim ručního řízení, kdy si řidič může v palubním počítači manuálně nastavit, kterým směrem se má výhybka přestavit. Obdobný systém se také používal na samém začátku používání rádiem ovládaných výhybek v pražské síti, ten však nebyl napojen na palubní počítač. Na panelu řidiče byl trojcestný přepínač, kterým řidič v předstihu před výhybkou nastavil požadovaný směr další jízdy. Dnes je tento způsob používán pouze na vybraných muzejních vozidlech určených ke komerčním jízdám, u nichž by instalace palubního počítače na viditelné místo narušovala jejich historický ráz. [8]

Posledním způsobem je tzv. síťový režim, kdy si řidič před odhlášením zastávky před kolejovým rozvětvením vybírá směr další jízdy ze všech možností, které jsou aktuálně k dispozici. Zpravidla jde o výběr následující zastávky, popř. obratiště. Tento režim je s výhodou využíván při operativních odklonech, protože je s jeho pomocí možné dále vyhledávat zastávky na odklonové trase, stejně tak je část odklonové trasy do dalšího větvení zobrazena na informačních panelech vozidla. Dále je tento režim s oblibou využíván u vlaků cvičných jízd, protože si touto formou kurzisté lépe osvojí městskou kolejovou síť. [8]

Rádiově ovládaných výhybek v síti postupně přibývá zejména na úkor výhybek elektricky ovládaných. V počátcích jejich zřizování byly některé výhybky ovládány oběma způsoby, tj. rádiově i elektricky, postupem času byly všechny takové výhybky přepnuty pouze na přestavování rádiovým signálem. Zbylé elektricky ovládané výhybky jsou v úsecích, kde nejsou výhybky často přestavovány nebo kde dosud neproběhla rekonstrukce. Lze očekávat, že se rádiově ovládané výhybky postupem času rozšíří i tam.

## 1.6.4 Výhybky přestavované ústředně

Ústřední přestavování výhybek nachází využití zejména na kolejových harfách vozoven. Ústřední stavění zpravidla probíhá pomocí počítače, kdy je možné výhybky na dálku buď přestavovat ruční obsluhou počítače, nebo stavění výhybek předem naprogramovat, například podle jízdních řádů a evidenčních čísel vozidel. Možnost přestavení výhybek na dálku značně snižuje časovou náročnost a zvyšuje propustnost kolejové harfy vozovny, která v časech hromadných výjezdů či zatažení vozidel tvoří asi nejméně propustný úsek. V Praze je tento systém použit od roku 2005 ve vozovně Pankrác, v zahraničí byl podobný systém použit v moderní vozovně Franowo v polské Poznani. [1, 38]

## 1.7 Výhybky dle rychlosti průjezdu

### 1.7.1 Výhybky se standardní rychlostí průjezdu

Za výhybku se standardní rychlostí průjezdu označíme každou výhybku, která není označena návěstí „Rychlost přes výhybku“ nebo „Číselné označení rychlostní výhybky“. Pro výhybky se standardní rychlostí průjezdu platí obecné ustanovení o rychlostech z předpisu D 1/2, konkrétně tyto pasáže:

§ 31 odst. 4: Rychlost jízdy nesmí být vyšší než 10 km/h při:

- c) jízdě proti hrotu výhybky postavené do odbočné kolejové větve po kolejišti vozoven a dílen mimo haly,
- f) jízdě přes mobilní kolejovou spojku „Californien“. [5]

§ 31 odst. 5: Rychlost jízdy nesmí být vyšší než 15 km/h při:

- a) jízdě proti hrotu výhybky postavené do přímé a odbočné kolejové větve, pokud není návěstí stanovena jiná rychlost,
- b) jízdě po hrotu výhybky postavené z odbočné kolejové větve, pokud není návěstí stanovena jiná rychlost. [5]

§ 31 odst. 6: Rychlost jízdy nesmí být vyšší než 30 km/h při jízdě po hrotu výhybky z přímé kolejové větve, pokud není návěstí stanovena jiná rychlost. [5]

### 1.7.2 Výhybky označené návěstí „Rychlost přes výhybku“

Návěstí „Rychlost přes výhybku“ (viz obr. 31) jsou v současné době označeny všechny čepové výhybky mimo prostory vozoven a dílen. Návěst upozorňuje řidiče tramvaje na skutečnost, že oproti standardním rychlostem průjezdu je u těchto výhybek při jízdě proti hrotům do odbočné kolejové větve povolena maximální rychlost 10 km/h. [5, 16]

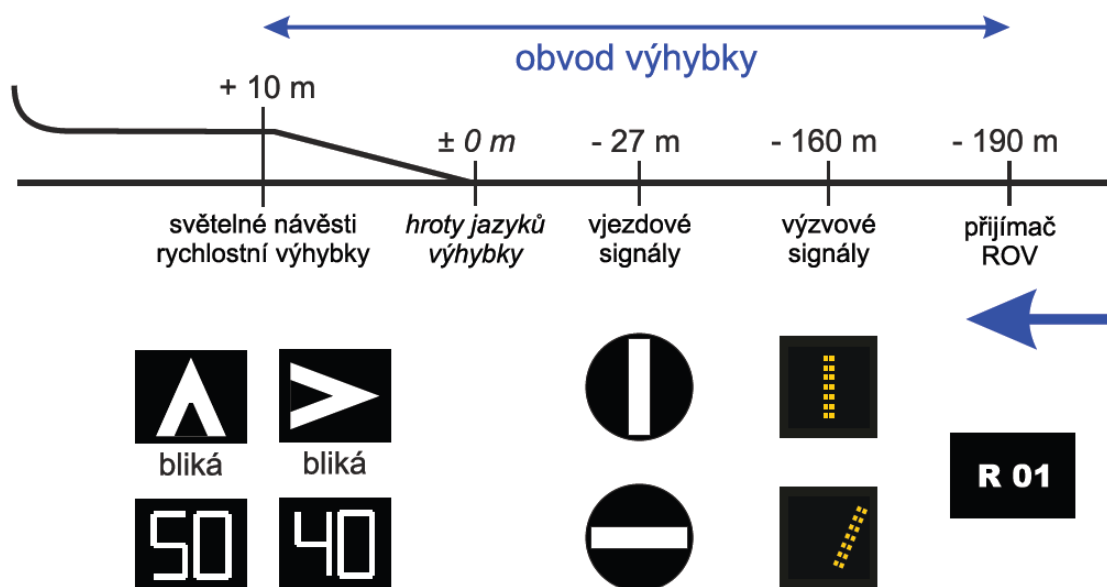
Donedávna bylo též možné setkat se s pojmem manipulační výhybka. Manipulační výhybkou se rozuměla výhybka, která byla v pravidelném provozu pojížděna pouze jedním směrem a která byla označena návěstí „Manipulační výhybka“. Touto návěstí se neoznačovaly výhybky označené jinou návěstí („Uzamykatelná výhybka“, „Zajišťovací výhybka“, „Pracovní trolejový kontakt“, „Přijímač rádiového signálu“). Výhybek označených touto návěstí v síti v souvislosti s modernizací kolejových konstrukcí postupně ubývalo. Mnoho původně manipulačních výhybek bylo v rámci rekonstrukcí vybaveno elektrickým stavěním, čímž došlo k odstranění návěstí. V souvislosti se zavedením návěstí „Uzamykatelná výhybka“ přišly o návěst „Manipulační výhybka“ také všechny výhybky s pružnými jazyky. Zbylé čepové výhybky byly v souvislosti se změnou rychlosti jízdy do odbočné kolejové větve k datu 1.11.2015 osazeny novou návěstí „Rychlost přes výhybku“, která vychází z návěstí „Manipulační výhybka“ (liší se pouze černou barvou písmene V místo červené). Po této změně se v síti nenachází jediná výhybka, která by mohla být touto návěstí označena, protože jediná kategorie výhybek, která není ošetřena ostatními návěstmi – neuzamykatelná rozjezdová výhybka s pružnými jazyky – se v síti mimo areály vozoven nezřizuje. Návěst proto byla k 1.11.2015 v rámci změny předpisu pro nadbytečnost vypuštěna. [5, 6, 16]

### 1.7.3 Rychlostní výhybky

V souvislosti se snahou DPP o zvyšování cestovní rychlosti tramvají (resp. zkracování jízdních dob) došlo při hledání možností, jak situaci zlepšit, i na analýzy v oblasti kolejových konstrukcí, které se díky omezené rychlosti při průjezdu podílejí na konstantním zpomalování provozu v řádech desítek sekund na jednu konstrukci. Přesné zdržení samozřejmě závisí na rozsahu konkrétní kolejové konstrukce a rychlostem v okolních úsecích. DPP se rozhodl analyzovat možnosti zvýšení rychlosti průjezdu tramvají přes kolejové konstrukce, přičemž byly zvažovány klady, zápory a nutné podmínky pro konstrukci s možností vyšší rychlosti průjezdu. Podmínky pro zřízení byly na počátku v zásadě dvě. První podmínkou bylo, že křížení kolejnic v konstrukci bude pouze na bázi hlubokých srdcovek, druhou pak místo, které vylučuje střet s protijedoucím vozidlem, resp. kde je co nejmenší riziko střetu při vjetí do nesprávného směru. S ohledem na tyto podmínky byla jako vhodná místa pro počáteční realizace zvolena místa, kde se tramvajová trať před křižovatkou větví s předstihem do rozřazovacích kolejí.

V těchto místech je vyloučen střet s protijedoucí tramvají, je zde dostatek místa pro zřízení hluboké srdcovky a navíc v bezprostředním okolí výhybky není nutné snižovat rychlost jízdy. Na základě této úvahy pak došlo ke vzniku rychlostní výhybky. [17]

Rychlostní výhybka je přednostně určena ke stavění pomocí rádiového signálu, v případě potřeby je však samozřejmě možné výhybku přestavit i ručně. Oproti běžným rádiově stavěným výhybkám však používá sofistikovanější systém, který pro odlišení používá i jiná návěstidla, jež jsou navíc v základním stavu zhasnutá. Prvním rozdílem je délka obvodu výhybky. Ta je s ohledem na to, že tramvaje výhybku projíždějí vyšší rychlostí, prodloužena tak, aby řidič tramvaje dokázal i z vyšší rychlosti včas reagovat v případě selhání stavěcího mechanismu a vlak dokázal bezpečně zastavit ještě před výhybkou. Dalším důvodem je včasné přihlášení do SSZ, které by se potenciálně v blízkosti výhybky nacházelo, aby tramvaji mohl být s dostatečnou časovou rezervou udělen signál dovolující průjezd a ta tak nebyla dále zdržována. Obvod výhybky nemá pevně stanovenou délku, ta se odvíjí jednak od konkrétních prostorových poměrů před výhybkou, dále také podle rychlosti, kterou se tramvaj k výhybce může blížit. [17, 29]



Obr. 16: Schéma obvodu rychlostní výhybky, zde konkrétně výhybky R01 (Zdroj obr.: [17]).

Na počátku obvodu výhybky se nachází zdvojený přijímač rádiového signálu, místo je zároveň označeno návěstí „Číselné označení rychlostní výhybky“ (viz obr. 40), přičemž číslo výhybky je zde ve formátu Rxy, kde xy jsou číslice. V tomto místě se vlak zároveň přihlašuje do případné SSZ v blízkosti výhybky. Zatímco u běžných rádiově ovládaných výhybek je zakázáno tramvajovému vlaku vjíždět do obvodu výhybky, pokud jej dosud neopustil předchozí vlak, u rychlostních výhybek může vlak pokračovat dále,

a to až ke vjezdovým signálům. [5, 17, 29]

Následuje výzvové návěstidlo, které je známé ze SSZ. Zde je jeho role taková, že potom, co tramvaj přejeđe přijímač rádiového signálu, dojde na několik sekund k jeho rozsvícení, čímž je potvrzeno, že výhybka vlak úspěšně zaregistrovala. Návěstidlo zároveň ukazuje i směr (viz obr. 41), do kterého bude výhybka přestavena, resp. pro který byl přijat požadavek. V případě, že se výzvové návěstidlo nerozsvítí, je možné dále pokračovat jízdou se zvýšenou opatrností (tj. rychlostí do 10 km/h) k vjezdovým signálům, protože nedošlo k zaregistrování vlaku. Poslední možností je situace, kdy se na výzvové návěstidlo rozsvítí jiný směr, než bylo požadováno. V takovém případě řidič pokračuje dále k výhybce, přičemž ji bude do správného směru nucen přestavit ručně. [5, 17, 29]

V další fázi jízdy se vlak dostává k vjezdovým signálům výhybky. Ty jsou tvořeny jednosvětelným pracovním návěstidlem a jsou umístěny před začátkem kolejových obvodů, po jejichž obsazení je výhybka blokována proti přestavení jiným vlakem. Je-li dáována návěst „Volno přímo“ (viz obr. 42), je možná další jízda dle návěsti výhybkového návěstidla. Pokud je dáována návěst „Stůj přímo“, je řidič povinen vlak před návěstidlem zastavit, protože do prostoru za vjezdovými signály již není povoleno vjetí více vlaků za sebou, další vlak musí počkat na uvolnění kolejových obvodů, resp. na přestavení vjezdového signálu do polohy dovolující další jízdu. Pokud po odjezdu předchozího vlaku zůstane vjezdový signál v poloze zakazující jízdu, je řidič povinen kontaktovat provozní dispečink, protože se výhybka buď neodoblokovala po průjezdu předchozího vlaku, nebo u ní došlo k závadě. Další jízda je možná pouze se souhlasem dispečera či jiného pověřeného pracovníka. Jedná-li se o vlak, kterému bylo výzvové návěstidlem signalizováno, že nebyl výhybkou zaregistrován, mohou nastat dva stavy. Prvním stavem je, že vjezdový signál je zhasnutý, vlak tedy nebyl zaregistrován a další jízda k výhybce je možná poté, co se řidič přesvědčí, že se v prostoru kolejových obvodů nenachází žádný vlak, přičemž řidič k výhybce pokračuje jízdou se zvýšenou opatrností a dále jedná podle návěsti výhybkového návěstidla. Druhou možností je, že vjezdový signál je v činnosti, v takovém případě vjel do obvodu výhybky další vlak, který byl zaregistrován – vjezdový signál a výhybka se přestavily podle požadavku následujícího vlaku. Řidič smí v případě, že vjezdový signál dovoluje jízdu, pokračovat jízdou se zvýšenou opatrností k výhybce, kde jedná podle návěsti na výhybkovém návěstidle. [5, 17, 29]

Nyní se dostáváme k samotným jazykům výhybky, v jejichž blízkosti je umístěno výhybkové návěstidlo (obr. 17). To se výrazně podobá běžně používaným výhybkovým návěstidlům, oproti typické červené barvě je zde pro odlišení použito bílé barvy. Podoba signalizovaných návěstí je identická s běžnými návěstidly, liší se pouze návěst „Postavení vlakové cesty přímo“ (viz obr. 43). Návěstidlo je navíc doplněno o druhý box, ve kterém je při současném řádném postavení vlakové cesty (tj. výhybka je uzamčena a zablokována proti náhodnému přestavení) zobrazena maximální rychlost, kterou lze přes výhybku při dané vlakové cestě pokračovat. Je-li řádně postavena vlaková cesta a není zobrazena



Obr. 17: Návěstidlo rychlostní výhybky R02 (8/2017, archiv J. Hradila).

žádná rychlost, projíždí řidič výhybkou tak, jako by se jednalo o běžnou uzamykatelnou výhybku se standardní rychlostí průjezdu. Pokud výhybkové návěstidlo signalizuje návěst „Neurčitá vlaková cesta“ (viz obr. 44), nebo je zcela zhasnuté, je řidič před další jízdou přes výhybku povinen provést zkoušku uzamčení jazyků, která se provádí stejně, jako u běžných uzamykatelných výhybek s pružnými jazyky. Dále smí pokračovat takovou rychlostí, jako by se jednalo o výhybku se standardní rychlostí průjezdu. [5, 17, 29]

#### 1.7.3.1 R01

Ke zřízení první rychlostní výhybky v pražské síti došlo na křižovatce Prašný most ve směru od Hradčanské, kde se trať větví do rozřazovacích kolejí. Instalována zde byla v létě roku 2013 při rekonstrukci úseku v rámci výstavby tunelového komplexu Blanka, z jehož rozpočtu byla také financována. Do provozu byla uvedena 28.9.2013. Jedná se o dosud jedinou výhybku v síti, která svou konstrukcí vychází

ze železniční výhybky, což se projevuje zejména na použitých kolejnicích (49 E1) a konstrukci jazyků, jež jsou z tohoto důvodu opatřeny přídržnicí, dále pak také na stavěcím mechanismu, viz obr. 18. Poloměr odbočné větve činí 190 m, což odpovídá maximální rychlosti odbočení 40 km/h, v počátečním zkušebním provozu byla však povolena pouze rychlost 30 km/h. V přímém směru je možné výhybku projíždět plnou rychlostí, která je v úseku povolena, tedy 50 km/h. Obvod výhybky začíná 190 m před hroty jazyků výhybky, přičemž v okamžiku přihlášení tramvaje do obvodu výhybky dojde zároveň ke směrovému přihlášení na SSZ Prašný most. Spočtená časová úspora je 12 s v přímém směru a 19 s při jízdě do odbočky. Výrobce výhybky je dceřinná společnost DPP, firma Pražská strojírna a. s. [17, 29]



Obr. 18: Rychlostní výhybka R01 brzy po osazení na své místo, na snímku je patrná značná podobnost se železniční výhybkou. (7/2013, archiv J. Hradila).

*Autor práce považuje realizaci této výhybky za dosud nepřekonanou špičku v rámci projektu rychlostních výhybek. Výhybka vyniká výborným zasazením do směrového vedení trati a umístěním v místě, kde by instalace klasické výhybky vyvolala značný rychlostní propad. Rovněž je tato výhybka srovnatelně pojížděna jak v přímém směru (3 denní linky), tak i do odbočné kolejové větve (4 denní linky), což nahrává vyššímu využití jejího úsporného potenciálu. Tuto realizaci autor označuje za příkladnou.*

### 1.7.3.2 R02

Ke druhé instalaci rychlostní výhybky došlo před vozovnou Střešovice v místě, kde se z hlavní trati odděluje kolej určená pro vjezd do objektu vozovny. Výhybka zda byla osazena na podzim roku 2015,

kdy probíhala rekonstrukce vjezdu do střešovické vozovny s cílem redukovat kolejové konstrukce na trati a zároveň odstraněním krátkého úseku, kdy se z vozovny vyjíždělo po protisměrné koleji za použití zajišťovacích výhybek, přispět ke zvýšení bezpečnosti provozu. Mimo jiné byla také trať uzpůsobena pro společný provoz tramvají a autobusů, a to zejména rozšířením osové vzdálenosti kolejí a použitím asfaltového zákrytu TT. Jedná se o běžnou blokovou výhybku s pružnými jazyky z produkce Pražské strojírny, liší se pouze v poloměru odbočné větve (obr. 19). Oproti běžně používaným 50 m je zde použit poloměr 150 m, kterému odpovídá maximální rychlost jízdy do odbočné kolejové větve 30 km/h. S ohledem na to, že výhybka je umístěna tak, že odbočná kolejová větev tvoří hlavní trať a přímý směr vede do areálu vozovny Střešovice, je rychlost v přímém směru omezena na 15 km/h. Délka obvodu výhybky není autorovi přesně známa, na základě prostorového uspořádání trati, která výhybce předchází, se však maximální možná délka obvodu výhybky může pohybovat mezi 45–50 m, protože ve vzdálenosti cca 50 m od hrotu jazyka rychlostní výhybky se nachází sjezdová výhybka, ve které se spojují trati od Prašného mostu a Brusnice. [15, 50, 51]

*V případě této výhybky je autor přesvědčen o tom, že se jedná o dosud nejhorší realizovanou rychlostní výhybku v pražské síti, a to hned z několika důvodů.*

*Prvním důvodem je umístění výhybky v souvislosti s významem jednotlivých směrů poježdění. Zatímco hlavní trať, která je poježděna výrazně častěji a rychleji, tvoří ve výhybce odbočnou kolejovou větev, přímý směr vede do vrat vozovny Střešovice. Zde je nutné bezprostředně za výhybkou překonat dva jízdní pruhy souběžné komunikace, přičemž jsou zde díky ostrému úhlu křížení koleje se silniční komunikací nevhodné rozhledové poměry, které i přes to, že zde má tramvaj před vozidly ze zákona přednost, značně ztěžují průjezd tímto místem. Další překážku pak tvoří vrata do areálu vozovny, která se otevírají pomocí čidla na trolejovém vedení umístěného až za rychlostní výhybkou, případně dálkovým ovládním. Doba otevírání těchto vrat se pohybuje v řádu desítek sekund, jízda tramvaje do vozovny vyšší rychlostí by tedy neměla žádný smysl. Tímto umístěním výhybky tak zbytečně dochází k vyššímu opotřebení jazyků, které jsou častěji poježděny ve směru do odbočné kolejové větve. Výhybka by tedy měla být orientovaná obráceně, a to i za cenu posunu osy TT více na jih, na kterou by zde byl dostatek prostoru. V případě opačné orientace by bylo též možno použít typizovanou výhybku s poloměrem odbočení 50 m, pouze ve verzi s přímou srdcovkou, která by u této výhybky mohla být hluboká.*

*Druhým důvodem je pak kolejová konstrukce, která se nachází ve vzdálenosti asi 45 m od rychlostní výhybky směrem dále po hlavní trati. Jedná se o křížení s kolejí vedoucí z vozovny Střešovice, která plní funkci výjezdu. Křížení je zde realizováno pomocí srdcovek s mělkými žlábkami, což vede ke zbytečnému propadu rychlosti. V případě, že by došlo k posunu osy trati jižním směrem, toto křížení by mohlo být realizováno v úhlu, který by umožňoval použití hlubokých srdcovek, čímž by se dalo uvažovat*





Obr. 19: Pohled na výhybku R02, kterou tvoří konvenční bloková výhybka o poloměru odbočení 150 m (8/2017, archiv J. Hradila).

*o případném zvýšení rychlosti průjezdu přes křížení a tím i eliminaci propadu rychlosti, resp. větší časové úspore. Například při omezení rychlosti na 30 km/h by bylo možné touto rychlostí projet rychlostní výhybku a pokračovat až do zastávky Vozovna Střešovice. V současnosti je po průjezdu rychlostní výhybkou nutné snížit rychlost na 15 km/h kvůli průjezdu kolejového křížení a následně znovu zrychlovat, přičemž délka následného úseku je taková, že se k rychlosti 30 km/h při ohledu na pohodlí cestujících prakticky nelze přiblížit.*

*Autor práce si na základě těchto skutečností myslí, že rychlostní výhybka v tomto místě zdaleka nedosahuje potenciálu, který její zřízení v tomto místě mělo. V případě, že by byla výhybka umístěna s ohledem na vytíženost jednotlivých směrů, šlo použít výhybku s menším poloměrem odbočné kolejové větve, která by byla investičně méně náročná. V neposlední řadě efektivitu výhybky sráží i fakt, že se nachází v blízkosti jiných kolejových konstrukcí, které snižují rychlost v bezprostředním okolí výhybky*

*a tím i časovou úsporu, kterou výhybka přináší. Autor si nicméně myslí, že rychlostní výhybka by v tomto místě měla být umístěna, jen v jiné konfiguraci.*

### **1.7.3.3 R03**

Zatím poslední realizací je rychlostní výhybka zřízená na nábřeží Kapitána Jaroše ve směru od stejnojmenné zastávky ve větvení trati do rozřazovacích kolejí před křižovatkou u Letenského tunelu. Instalována zde byla v srpnu 2016. Je použita stejná konstrukce, jako v případě výhybky R02, tedy běžná bloková výhybka s poloměrem odbočení 150 m. Maximální rychlost přímým směrem je 50 km/h, resp. 30 km/h do odbočné kolejové větve. Obvod výhybky začíná cca 200 m před hroty jazyků výhybky, zároveň s přihlášením tramvaje do obvodu výhybky dojde ke směrovému přihlášení do SSZ nábřeží Kapitána Jaroše x Štefánikův most. Spočtená časová úspora při průjezdu tramvaje je asi 10 sekund. [18]

*Autor práce v tomto případě oceňuje výběr lokality pro umístění rychlostní výhybky. Méně už oceňuje její konkrétní geometrické umístění, které pro průjezd křižovatkou přímým směrem (výhybkou do odbočné kolejové větve) vytváří zbytečné kolejové S. Tato situace by se dala řešit větším odsazením výhybky od křižovatky a jejím obrácením, tedy pro jízdu na Štefánikův most by se výhybka projížděla do odbočné kolejové větve, zatímco pro jízdu směrem k zastávce Čechův most by se projížděla přímým směrem. Tramvajové trati by tak ubylo na její klikatosti. Současné využití výhybky pravidelnými tramvajovými linkami hraje spíše pro současné umístění, protože směrem na Štefánikův most jezdí v pravidelném provozu 3 tramvajové linky, zatímco směrem na Čechův most jedna linka, která má však poloviční interval, proto ji lze počítat jako linky dvě. Rozdíl jediné linky nelze považovat za značný, zvláště pokud přihlédneme i k faktu, že při jízdě směrem na Čechův most je úsek, který lze projíždět plnou rychlostí, delší. Tramvaje odbočující na Štefánikův most jsou navíc nuceny zpomalit až na rychlost 15 km/h, která je dána jednak kolejovým křížením, dále pak samotným obloukem odbočení na most o nevelkém poloměru, kterým nelze projet o moc vyšší rychlostí. Naopak trať vedoucí dále k zastávce Čechův most křižovátku projíždí přímým směrem, zpomalit musí až na její vzdálenější hranici, a to na rychlost 30 km/h kvůli sjezdové výhybce projížděné z přímého směru. Autor se domnívá, že by jím navrhované uspořádání mohlo přinést v přímém směru takovou časovou úsporu, která by zvládla kompenzovat i sníženou časovou úsporu ve směru druhém. Za zvážení by rovněž stálo i zvýšení poloměru odbočné kolejové větve, a to například na poloměr 190 m, jako je tomu u R01. Bohužel, bloková výhybka o tomto poloměru není v současnosti dvorním dodavatelem DPP vyráběna.*

#### 1.7.3.4 R04

Instalace čtvrté rychlostní výhybky se momentálně připravuje v Braníku v místě, kde se z TT do Modřan odděluje vjezdová kolej do obratiště Nádraží Braník. [18]

## 1.8 Srdcovky

### 1.8.1 Srdcovky dle způsobu výroby

#### 1.8.1.1 Skládané srdcovky

Skládaná srdcovka je běžně zhotovena ze tří kusů klasických kolejnic. Jedna kolejnice je průběžná, tj. prochází celou délkou srdcovky a tvoří jeden směr pojezdění. Druhý směr pojezdění je zhotoven ze dvou kusů kolejnic, které jsou usazeny v těsné blízkosti průběžné kolejnice. Všechny tři kusy kolejnic jsou pak spojeny stykovými spojkami a spojkovými šrouby. Následně jsou spojky ke kolejnicím ještě přivařeny. Výsledná sestava je dále vyztužena podkladovým plechem, který je přivařen ke spodní části paty kolejnic, a rýhovaným plechem, jenž je přivařen v úrovni hlav kolejnic do ostrého úhlu mezi křížícími se kolejnicemi. Nakonec je v průběžné kolejnici v místě křížení proříznut otvor pro okolek, aby bylo možné srdcovkou projíždět i ve druhém směru pojezdění. V dnešní době, kdy je možnost použít i jiné typy srdcovek, se technologie skládaných srdcovek jeví jako přežitá, protože její užití přináší spíše nevýhody. Kromě značné náročnosti výroby takových srdcovek lze uvést také nemožnost použití tohoto typu srdcovek ve všech kolejových konstrukcích - tento typ srdcovek je nevhodný pro křížení v obloucích o malých poloměrech, což je zejména ve stísněných prostorech center měst dosti omezující. V neposlední řadě mají také tyto srdcovky v provozu krátkou životnost a je potřeba je často měnit, nejnáchylnější na poškození je zejména oblast styku jednotlivých kusů kolejnic, jak je patrné na obrázku 20. V Praze se skládané srdcovky již delší dobu nově nezřizují, dožívají však v místech, kde delší dobu neproběhla větší rekonstrukce, například v obratišti Zvonařka. [1, 2]

#### 1.8.1.2 Odlévané srdcovky

Alternativou ke skládaným srdcovkám jsou srdcovky odlévané (viz obr. 21). Ty se zhotovují tak, že se z ocelolitin vytoří odlitek o přibližném tvaru srdcovky. Tvar a rozměry závisí na úhlu křížení kolejnic v srdcovce a délka odlitku se pohybuje od 400 do 1 750 mm. Výška odlitku pak odpovídá profilu napojené kolejnice, v Praze tedy výšce kolejnice NT1 - 180 mm. Do odlitku jsou následně vyfrézovány žlábků, oproti běžné kolejnici se v srdcovce užívá obdélníkového průřezu žlábků. K opracovanému

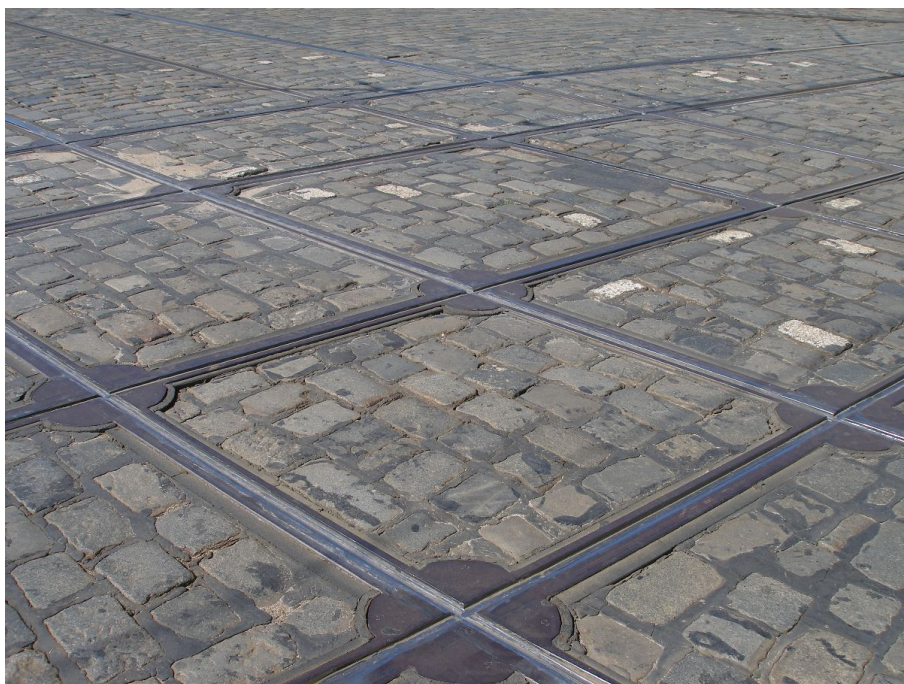


Obr. 20: Skládaná srdcovka v křižovatce poblíž zastávky SOŠ automobilová v Košicích - patrné je poškození žlábků kolejnic v místě styku jednotlivých kolejnic (7/2015, archiv J. Hradila).

odlitku jsou poté přivařeny spojovací kusy kolejnic, nazývané ramena srdcovky, jimiž je srdcovka spojena s ostatními částmi kolejové konstrukce. Podle hloubky srdcovky tvoří ramena buď běžná, zpravidla žlábková kolejnice u srdcovek hlubokých, nebo u srdcovek mělkých tzv. náběžná kolejnice, která kompenzuje výškový rozdíl žlábků běžné kolejnice a mělkého žlábků v srdcovce. Oproti skládaným srdcovkám mají odlévané srdcovky jedinou nevýhodu, a tou je špatná svařitelnost ocelolity. Tento problém se však povedlo vyřešit změnou použitého materiálu. Nově se odlitky zhotovují z kolejnicové oceli, čímž problémy se svařitelností odpadají. Tyto odlitky jsou často vyráběny ve formě opracovaného bloku ve tvaru kvádrů, proto jsou ocelové odlévané srdcovky také označovány jako blokové (viz obr. 22). V pražské síti jde o běžně používaný typ srdcovky. [1, 2]

### 1.8.1.3 Srdcovky s vyměnitelným středem

Další možností, která se zatím objevuje převážně v zahraničí, je srdcovka s vyměnitelným středem. Jedná se v podstatě o srdcovku, která je svým vzhledem velmi podobná srdcovce blokové, liší se však právě v oblasti středu srdcovky. Zde je umístěna vyměnitelná vložka, která je na svém místě upevněna pomocí šroubů. Vložka může být zhotovena z téhož materiálu jako srdcovka, s výhodou se však využívají materiály jiné. Protože vložka v sobě zahrnuje i nejnamáhanější místa srdcovky – její hroty –



Obr. 21: Odlévané ocelolitinové srdcovky v kolejové křižovatce Palmovka (8/2007, archiv J. Hradila).



Obr. 22: Bloková ocelová srdcovka ve výhybce v obratišti Olšanské hřbitovy (8/2016, archiv J. Hradila).

je vhodné tomu použitý materiál přizpůsobit. Na materiál je možné se dívat dvěma pohledy. Prvním pohledem je snaha o zvýšení odolnosti a životnosti zejména hrotů srdcovky, a to i za cenu vyšší ceny takové úpravy. V tom případě se zpravidla použije kvalitnější oceli s příměsemi, které zvýší pevnost a otěruvzdornost hrotu srdcovky, například manganu či chromu. Druhým pohledem je naopak použití levného materiálu, například měkčí oceli nebo plastu, přičemž se počítá s častější výměnou vložky. Pokud je vložka zhotovena z dostatečně poddajného a měkkého (nejlépe nekovového) materiálu, přináší určitou výhodu v podobě menších dynamických rázů při průjezdu vozidel, což zároveň pozitivně ovlivňuje i hlučnost průjezdu konstrukcí. V Praze jsou srdcovky s vyměnitelným středem s ocelovou vložkou osazeny v křižovatce Palackého náměstí od její celkové rekonstrukce, která proběhla v roce 2007. [1]

### **1.8.2 Srdcovky podle počtu křížících se kolejnic**

Z hlediska počtu křížících se kolejnic v srdcovce rozlišujeme srdcovky jednoduché, ve kterých se kříží dvě kolejnice, a srdcovky trojitě, ve kterých se kříží kolejnice tři. Pro oba typy srdcovek platí, že v případě, že se jedná o kolejové křížení (které je tvořeno celkem čtyřmi srdcovkami), měly by být jednotlivé srdcovky umístěny tak, aby se na druhé kolejnici téže koleje v místě umístění srdcovky na první kolejnici nacházel úsek s přídržnicí, resp. žlábkem o dostatečné délce, která zajistí patřičné směrové vedení dvojkolí. Doporučuje se, aby byl okolek jednoho kola veden v úseku 100 mm na obě strany od místa, kde druhé kolo překonává srdcovku. Umístění jednotlivých srdcovek v kolejovém křížení je samozřejmě dáno úhlem křížení kolejí a v některých případech, například v kolmém křížení (kdy jsou srdcovky u obou kolejnic ve stejné úrovni) optimální směrové vedení nelze zajistit. Tato místa pak patří k obzvláště nebezpečným, protože je zde vyšší riziko vykolejení nedostatečně směrově vedeného dvojkolí. Pro trojitě srdcovky dále platí, že by se žlábký všech tří kolejnic měly protínat v ideálním případě v jediném bodě, případně aby se tento bod rozšířil na plochu podobnou trojúhelníku o straně s maximální délkou 70 mm a výšce maximálně 35 mm. V zahraničních provozech se lze nicméně setkat i se speciálními odlitky trojitých srdcovek, které tyto parametry nesplňují. Ukázkou může být srdcovka z budapeštské kolejové sítě na obrázku 24. V Praze se běžně objevují oba typy srdcovek, dvojitě srdcovky je možné vidět na obrázcích 21 a 22, trojitou pak na obrázku 23. [1]

### **1.8.3 Srdcovky podle směrového uspořádání křížících se kolejnic**

Podle směrového uspořádání křížících se kolejnic můžeme srdcovky rozdělit do tří skupin. První skupinou jsou srdcovky přímé, které jsou tvořeny křížením dvou přímých kolejnic. Druhou skupinou jsou srdcovky částečně obloukové, kdy jedna z křížících kolejnic je přímá, zatímco druhá je v oblouku. Třetí



Obr. 23: Trojitá srdcovka na pražské křižovatce Palmovka (4/2016, archiv J. Hradila).

a poslední skupinou je srdcovka oblouková, kterou tvoří dvě kolejnice v oblouku. V pražském provozu jsou zastoupeny všechny tyto typy srdcovek. [1]

#### 1.8.4 Srdcovky podle způsobu projíždění

##### 1.8.4.1 Srdcovky projížděné po okolku

U těchto srdcovek je žlábek v místě křížení a jeho okolí (viz 1.8.2) navařen tak, aby jeho hloubka činila nejvíce 14 mm, čímž je kolo v srdcovce pozvednuto do takové výšky, že jeho nákok přestane být ve styku s hlavou kolejnice. Styčnou plochou se v tu chvíli stává okolek, který dále zodpovídá za jeho směrové vedení. Aby při změně styčné plochy kola a kolejnice nedocházelo k dynamickým rázům, probíhá změna hloubky žlábků plynule ve sklonu 1:100. Ze stejného důvodu se obvykle v případech, kdy se za sebou nachází více srdcovek (a to i v rámci jednoho kolejového křížení), ponechává hloubka žlábků v mezilehlém úseku snižená. Srdcovky se sníženou hloubkou žlábků, projížděné po okolku, se také běžně označují jako srdcovky mělké (obr. 21 a 23). [1, 19, 20]

Výhodou snížené hloubky žlábků je možnost realizace kolejnicového křížení pod prakticky jakýmkoliv úhlem, protože vedením kola v místě křížení po okolku odpadá problém se ztrátou kontaktu kola s hlavou kolejnice, ke kterému dochází u křížení kolejnic pod úhly blízkými 90°. U těchto úhlů je hlava kolejnice v místě křížení přerušena kvůli průběhu žlábků křížící kolejnice takovým způsobem, že by při



Obr. 24: Trojitá srdcovka atypického uspořádání ve dvojitě kolejové spojení úvratové konečné zastávce Határ út v Budapešti (8/2016, archiv J. Hradila).

jíždě po nákolku došlo k zapadnutí kola do žlábků křížící kolejnice a jeho následnému šplhání zpět na hlavu kolejnice. Tento proces je doprovázen značným hlukem a zejména dynamickými rázy, které by se negativně projevíly jak na stavu kola, tak srdcovky. [19, 20]

Nevýhodou je naopak zhoršené směrové vedení kola, které je oproti běžnému stavu vedeno pouze v mělkém žlábků a tím se zvyšuje možné riziko vykolejení. Proto je také v místech kolejových křížení omezena rychlost průjezdu. Dále i zde dochází při přechodu styčné plochy kola s kolejnicí z okolku na nákok ke vzniku dynamických rázů, které jsou však díky náběhům značně omezeny, jsou však stále z pohledu cestujícího snadno postřehnutelné, a to jak díky zvukovému efektu, tak určitým „zhoupnutím“ vozu. [19, 20]

#### 1.8.4.2 Srdcovky projížděné po nákolku

Srdcovky projížděné po nákolku, běžně také označované jako hluboké (viz obr. 22 a 24), nemají z hlediska vedení kola žádná specifika – styk s kolejnicí po celou dobu zajišťuje nákok, zatímco směrové vedení okolek. Při splnění několika zásad tak může být průjezd kola hlubokou srdcovkou pro cestujícího prakticky neznatelný.



První zásadou, která je spíše podmínkou, je dostatečně ostrý úhel křížení kolejnic, který se přímo odvíjí od parametrů použitých profilů kola a kolejnic. Úhel křížení musí být takový, aby kolo v místě, kde je kolejnice přerušena kvůli průběhu žlábků křížící kolejnice, do tohoto prostoru nezapadlo, tj. aby plynule přešlo z hlavy kolejnice před křížením na hlavu kolejnice za křížením. Čím širší je nákok kola a hlava použité kolejnice, tím větší může být přípustný úhel křížení kolejnic. V Praze tento úhel činí asi  $18^\circ$ . V místě, kde tento úhel křížení nelze zajistit, je vhodnější použití mělké srdcovky. [1, 2]

Druhou zásadou je směrové uspořádání křížících se kolejnic. Ideální pro zřízení hlubokého křížení jsou srdcovky přímé (příp. obloukové či částečně obloukové s velkými poloměry oblouků), ve kterých na kolo nepůsobí tak vysoké nevyrovnané boční zrychlení. Naopak u srdcovek částečně obloukových či obloukových dochází vlivem tohoto zrychlení k posunu dvojkolí směrem ke vnější kolejnici, díky čemuž dochází k nežádoucímu kontaktu okolku s hrotem hluboké srdcovky. To vyvolává dynamické rázy, které se nepříznivě projevují jak na stavu kola, tak především hrotu srdcovky. Hrot takové srdcovky je pak vystaven nadměrnému ořezu, což značně snižuje jeho životnost (viz obr. 25). Průjezd přes takovou srdcovku je pak opět doprovázen efekty, které jsou pro cestujícího jasně postřehnutelné – hlukem a určitým „škubnutím“ vozu. [1, 45]



Obr. 25: Opotřeбенý hrot hluboké obloukové srdcovky sjezdové výhybky v obratišti Sídliště Petřiny (8/2016, archiv J. Hradila).

## 1.9 Kolejové splátky

Za kolejovou splátku obecně považujeme takovou kolejovou konstrukci, kde se dvě koleje k sobě přiblíží na takovou osovou vzdálenost, že současná jízda po obou kolejích není možná, protože není zachován potřebný odstup vozidel, resp. jejich průjezdních průřezů. Vzniká tak úsek, který při minimálním odsazení protisměrných kolejnic může působit jako jednokolejný. Podle směrů poježdění můžeme kolejové splátky rozdělit na jednosměrně a obousměrně poježděné. [1, 5]

### 1.9.1 Kolejové splátky s jednosměrným provozem

Kolejové splátky s jednosměrným provozem mají obvykle tři způsoby využití. Prvním způsobem jsou vytížené světelně řízené kolejové křižovatky, kde není z prostorových důvodů možné vybudovat plnohodnotné rozřazovací koleje. Místo nich je realizována právě kolejová splátka, v ideálním případě na délku dvou tramvajových vlaků délky 30 m, tedy cca 65 m včetně určité rezervy. Odsazením výhybky z prostoru křižovatky je umožněno vjet do křižovatky vyšší rychlostí (v případě dostatečných poloměrů oblouků), dále je v případě sjetí více vlaků jedoucích stejným směrem možné, aby i při kratších délkách „zelené“ projelo křižovatkou více vlaků. V klasické křižovatce musí druhý vlak vyčkat na uvolnění obvodu výhybky prvním vlakem, teprve pak může pokračovat v jízdě, díky čemuž mnohdy signál dovolující jízdu nestihne. U odsazené výhybky je první vlak vyčkávající u stopčáry dávno mimo obvod výhybky, takže druhý vlak může najet těsně za něj. Nezanedbatelný vliv má předsazená výhybka také na dřívější směrové přihlášení do SSZ, což může zkrátit dobu čekání vlaku na signál dovolující jízdu požadovaným směrem. V pražském provozu najdeme hned několik křižovatek, ve kterých jsou umístěny rozjezdové splátky. Jedná se například o křižovátku na Ohradě (viz obr. 26), případně na Čechově mostě. [1, 5]

Druhým způsobem využití jsou místa, kde je potřeba umístit kolejové větvení, ale není zde pro nevhodné směrové poměry možné umístit typizovanou výhybku, popř. jakoukoliv výhybku. Jedná se zejména o takové případy, kdy obě koleje vedou v obloucích různých směrů a situace by vyžadovala osazení obloukové výhybky, která by však musela být vyrobena na zakázku. Výhybka se pak předsadí před problematické místo, přičemž v samotném větvení už je umístěn pouze kolejový rozplet tvořený jedinou srdcovkou. V Praze se takové místo objevilo v roce 2016, když byl realizován vjezd do obratiště Těšnov směrem z centra. Sjezdová výhybka byla pomocí kolejové splátky odsazena až za bod styku kolejí, ve kterém se setkávaly dva oblouky opačného směru, přičemž trať dále pokračovala dalším obloukem.

Třetí možností jsou pak kolejové splátky v místech, kde společně vedou tramvajové trati o různém



Obr. 26: Štíhlá výhybka za zastávkou Ohrada, za kterou začíná rozřazovací kolejová splítka s jednosměrným provozem (12/2008, archiv J. Hradila).

rozchodu kolejí. V Praze se vzhledem k tomu, že celá kolejová síť používá pouze normální rozchod, žádná taková kolejová splítka nenachází. V ČR najdeme takovou splítku pouze na vybraných úsecích v Liberci, kde jsou používány rozchody kolejí 1 435 mm (normální rozchod) a 1 000 mm, přičemž v současnosti probíhá přestavba celé sítě na normální rozchod. [1]

V prvních dvou případech jsou v kolejových splítkách používány speciální štíhlé výhybky. První je výhybka oboustranná symetrická o poloměru odbočení 70 m, přičemž se jedná o jediný typ výhybky v pražské kolejové síti, která je symetrická. Druhou používanou výhybkou je výhybka jednostranná s poloměrem odbočení 33,3 m. U kolejových splítek více rozchodů kolejí jsou výhybky mnohem složitější z hlediska konstrukce, protože se musejí vypořádat s větvením více než dvou kolejnic. [1]

### 1.9.2 Kolejové splítky s obousměrným provozem

Kolejová splítka s obousměrným provozem se zřizuje v místech, kde je lokální nedostatek prostoru na klasické dvoukolejné uspořádání tramvajové trati. Mohou to být úzká místa v historických centrech

měst, nebo staveniště, kdy je tramvajová trať svedena do splátky pouze dočasně. Dalším důvodem pro zřízení může být úspora nákladů v místech, kde je vedení tramvajové trati složitější a nákladnější na realizaci, například na mostech. Obecně platí, že kolejová splátka s obousměrným provozem vytváří pro dopravu hrdlo, které snižuje kapacitu úseku. V Praze se v současnosti v provozu setkáme pouze s jedinou kolejovou splátkou s obousměrným provozem, a to v Letenské ulici, viz obr. 27. Splátka je řízena pomocí SSZ. Kolejovou splátku v místě přemostění můžeme naopak najít v Ostravě, nachází se v blízkosti terminálu Hranečnick. [1]

Oproti obousměrně pojížděnému jednokolejnému úseku má kolejová splátka s obousměrným provozem tu výhodu, že protisměrné koleje spolu nejsou spojeny výhybkou, ale pouze jedním kolejnicovým křížením (srdcovkou) na každém konci. To jednak vylučuje možnost přejetí vozidel do protisměru, dále pak absence výhybky usnadňuje údržbu konstrukce a jízdou vozidel nevzniká takové množství vibrací. V neposlední řadě je také možné touto konstrukcí projíždět rychleji, protože tuzemské provozní předpisy obvykle stanovují omezenou rychlost pouze přes křížení kolejová, nikoliv kolejnicová. [1, 5]



Obr. 27: Kolejová splátka s obousměrným provozem v pražské Letenské ulici (7/2013, archiv J. Hradila).

## 2. Srovnání s kolejovými konstrukcemi používanými v jiných městech s tramvajovým provozem

Aby bylo možné návrhy podložit případnými zkušenostmi z jiných měst, byly vybrané otázky týkající se kolejových konstrukcí odeslány i do dalších dopravních podniků v ČR i zahraničí. V rámci ČR byly osloveny všechny tramvajové provozy (Brno, Liberec a Jablonec nad Nisou, Most a Litvínov, Olomouc, Ostrava, Plzeň), ze zahraničních provozů se jednalo o oba provozy nacházející se v SR (Bratislava a Košice) a dále vybrané provozy v Německu (Berlín, Drážďany) a Maďarsku (Budapešť). V dalším textu jsou uvedena pouze ta města, ze kterých autorovi práce před jejím dokončením dorazila odpověď.

Jednotlivým dopravním podnikům byla položena následující šestice otázek:

1. *Jaký profil kolejnice (především jakou šířku hlavy kolejnice) ve Vašem DP převážně používáte, případně zda ve výhybkách používáte jiný typ kolejnice.*
2. *Jaký profil kola (především jakou šířku nákolku) ve Vašem DP používáte?*
3. *Jaký typ výhybek ve Vašem DP používáte? Především jaké poloměry odbočení, případně dodavatele výhybek a přestavníků.*
4. *Používáte ve Vašem DP hluboké srdcovky (které se dají projíždět po nákolku)? Pokud ano, můžete uvést, zda je používáte pouze v kolejových kříženích/výhybkách či všech konstrukcích a jaké je cca jejich poměrné zastoupení v síti? Existují případně pro jejich zřízení nějaké omezující podmínky?*
5. *Jaká je nejvyšší dovolená rychlost průjezdu přes kolejové konstrukce ve směru:*
  - *proti hrotům výhybky přímým směrem*
  - *proti hrotům výhybky do odbočky*
  - *po hrotech výhybky z přímého směru*
  - *po hrotech výhybky z odbočky*
  - *přes kolejová/trolejová křížení*
  - *případně, zda pro vybrané kolejové konstrukce platí zvláštní omezení rychlosti*
6. *Věnujete se ve Vašem DP problematice zrychlování průjezdu tramvají přes kolejové konstrukce, popř. chystáte v tomto ohledu nějakou konkrétní inovaci?*

## 2.1 Česká republika

### 2.1.1 Brno

Brněnský dopravní podnik používá širokou škálu typů kolejnic, a to kolejnice Ri 59, Ri 60, NT 1, NT 3 a 49 E1. Šířka pojíždělné části hlavy kolejnice se pohybuje mezi 55 a 56 mm u běžných žlábkových kolejnic, resp. 67 mm u kolejnice 49 E1. Ve výhybkách je pak používán převážně profil NT 1.

Používaný profil kola je kuželový DPMB 004. Šířka celého kola je 100 mm.

Výhybky v síti jsou především ze žlábkových kolejnic, přičemž je použito blokových výměn a srdcovek. Poloměry odbočení se v uličním profilu pohybují od 25 (20) m do 50 m dle prostorových podmínek. U tratí na samostatném tělese se lze setkat i s poloměry odbočení 100 m až 120 m. Dodavateli výměn a přestavníků jsou společnosti DT – výhybkárna a strojárna a. s. a Pražská strojárna a. s., v případě ostatních kolejových konstrukcí pak kromě již uvedených ještě společnost Renoweld a. s.

Co se týče použití hlubokých srdcovek, v brněnské kolejové síti se v současnosti nachází pouze několik takových srdcovek (do 10 ks) s tím, že budou postupem času nahrazeny srdcovkami mělkými. Důvodem je především negativní zkušenost se životností těchto srdcovek, často docházelo k destrukci a odlamování hrotů srdcovky. V minulosti se hluboké srdcovky zřizovaly ve výhybkách i kolejových kříženích v místech, kde úhel křížení kolejnic nepřesáhl hodnotu 22°.

V síti v současnosti platí pro průjezd kolejovými konstrukcemi následující omezení rychlosti:

- proti hrotům výhybky přímým směrem – 15 km/h
- proti hrotům výhybky do odbočky – 10 km/h
- po hrotech výhybky z přímého směru – 30 km/h
- po hrotech výhybky z odbočky – 15 km/h
- přes kolejová a trolejová křížení – 30 km/h
- zvláštní omezení – jízda přes povrchové výhybky všemi směry 5 km/h a jízda přes kolmá křížení se železniční tratí 25 km/h

V otázce inovací souvisejících se zrychlováním průjezdu tramvají přes kolejové konstrukce je v plánu použití rychlostních výhybek, které vychází z pražské koncepce, a to jak v kombinaci se žlábkovými, tak vignolovými kolejnicemi.

### 2.1.2 Olomouc

Olomoucký dopravní podnik používá v současnosti v síti výhradně žlábkové kolejnice NT 1, přičemž v síti na nerekonstruovaných úsecích mohou dožívat i jiné typy kolejnic. Šířka pojezditelné části hlavy kolejnice NT 1 je 55,5 mm.

Používaný profil kola je VM. Šířka celého kola je 86 mm, šířka nákolku pak 63,7 mm.

Výhybky používané v síti jsou blokové s poloměrem odbočení 50 m. Dodavateli výhybek jsou společnosti DT – výhybkárna a strojírna a. s. a Pražská strojírna a. s., dodavateli přestavníků pak společnosti DT – výhybkárna a strojírna a. s. (typy DT2 a DT3), Pražská strojírna a. s. (typy VSP–1–K a VS–20) a Elektroline a. s. (typy TSH a TSM).

Co se týče použití hlubokých srdcovek, v olomoucké kolejové síti se v současnosti nacházejí pouze 2 srdcovky, což představuje asi 1 % srdcovek v celé kolejové síti. Záměrem do budoucna je postupem času v rámci rekonstrukcí vyměnit i tyto srdcovky a přejít kompletně na srdcovky mělké.

V síti v současnosti platí pro průjezd kolejovými konstrukcemi následující omezení rychlosti:

- proti hrotům výhybky přímým směrem – 15 km/h
- proti hrotům výhybky do odbočky – 10 km/h
- po hrotech výhybky z přímého směru – není omezena
- po hrotech výhybky z odbočky – není omezena
- přes kolejová a trolejová křížení – 15 km/h, resp. 10 km/h při křížení s cizí dráhou
- zvláštní omezení – jízda přes povrchové výhybky všemi směry 5 km/h a jízda přes kolmá křížení se železniční tratí 25 km/h

V otázce inovací souvisejících se zrychlováním průjezdu tramvají přes kolejové konstrukce v současnosti v Olomouci neprobíhá žádný výzkum.

### 2.1.3 Ostrava

Ostravský dopravní podnik používá v současnosti v síti žlábkové kolejnice Ri 57 a NT 3 a dále vignolové kolejnice 49 E1. V síti také na dosud nerekonstruovaných úsecích dožívají i kolejnice typu NP 4 a NT 2. Šířka pojezditelné části hlavy kolejnice se pohybuje mezi 55 a 57 mm u žlábkových kolejnic, resp. 67 mm u kolejnice 49 E1.

Používané profily kola jsou v nedávné době nově schválené profily DPO–2N70 a DPO–4N70, které v současnosti postupně nahrazují starší profily kol, přičemž aktuálně je novými profily kol osazena zhruba polovina vozového parku. Nově používané profily se krom jiného od původních liší šířkou nákolku, která u profilu DPO–2N70 činí 86,5 mm, resp. 94,5 mm u profilu DPO–4N70. Takto široký nákok by měl vzhledem k posouzení limitních úhlů srdcovek (ve vztahu k šířce kola) umožnit na většině míst sítě použití hlubokých srdcovek. Nově používané profily kol jsou navíc kompatibilní s profily TT–2 a TT–4, které si v minulosti nechaly zpracovat ČD pro vozidlo koncepce tram–train (tj. vozidlo s přechodností na železniční i tramvajové tratě).

Výhybky používané v síti jsou převážně standardizovaného geometrického uspořádání. Výhybky jsou tvořeny výměnami o poloměru 50 m nebo 100 m a střední a srdcovkovou částí o poloměrech 35–50 m, čemuž odpovídají úhly odbočení od  $9^{\circ} 27' 44''$  do  $23^{\circ} 16' 51,18''$ . Dále je také umístěno několik atypických kolejových konstrukcí. Dodavatelem výhybek a přestavníků je převážně společnost DT – výhybkárna a strojírna a. s., kterou u několika kolejových konstrukcí doplňuje společnost KIHN S. A. Co se týče použití hlubokých srdcovek, v ostravské kolejové síti se v současnosti používají hluboké srdcovky pouze u výhybek s úhlem odbočení  $9^{\circ} 27' 44''$  (což odpovídá výhybce s poloměrem odbočení 50 m s přímou srdcovkou), po plošném zavedení nových profilů kol (DPO–2N70 a DPO–4N70) je v plánu postupně osazovat hluboké srdcovky i do dalších výhybek v závislosti na posouzení limitního úhlu.

V síti v současnosti platí pro průjezd kolejovými konstrukcemi následující omezení rychlosti:

- proti hrotům výhybky přímým směrem – 15 km/h
- proti hrotům výhybky do odbočky – 10 km/h
- po hrotech výhybky z přímého směru – 20 km/h
- po hrotech výhybky z odbočky – 15 km/h
- přes kolejová a trolejová křížení – 20 km/h
- zvláštní omezení – jízda přes výhybky ruční s vahadlovým přestavníkem do odbočky proti hrotům i po hrotech 15 km/h, v přímém směru proti hrotům i po hrotech rychlost není omezena

V otázce inovací souvisejících se zrychlováním průjezdu tramvají přes kolejové konstrukce v Ostravě dlouhodobě probíhá optimalizace vztahu kola a kolejnice, která nyní vyúsťuje ve výše uvedenou možnost rozšíření počtu hlubokých srdcovek, což otevírá cestu ke zvyšování rychlosti průjezdu přes kolejové konstrukce. U výhybek dále pro možnost zvýšení rychlosti průjezdu probíhá posilování úrovně bezpečnostní integrity na úroveň SIL 3, které se více věnuje kapitola 4.2.



#### 2.1.4 Plzeň

V plzeňské síti jsou převážně použity kolejnice typu B 1 a NT 1, přičemž bloková kolejnice B 1 je využívána na tratích vystavěných pomocí technologie velkoplošných panelů BKV, zatímco kolejnice NT 1 je užito v ostatních případech – tedy u svršku tvořeného pražci či v případě pevné jízdní dráhy. Ve výhybkách je zpravidla užít profil NT 1. Šířka pojízditelné části hlavy kolejnice je 55,5 mm a poloměr zaoblení hlavy kolejnice je 10 mm.

Používaný profil kola je KP 1. Šířka celého kola je 86 mm, šířka nákolku pak 62 mm.

Výhybky v síti mají zpravidla poloměr odbočení 50 m. Dodavatelem výhybek jsou společnosti DT – výhybkárna a strojírna a. s. a Pražská strojírna a. s. Výhradním dodavatelem přestavníků výhybek je společnost Elektrolina a. s.

Co se týče použití hlubokých srdcovek, v plzeňské kolejové síti se v současnosti nachází jediná rozjezdová výhybka s hlubokou srdcovkou. Omezené užití hlubokých srdcovek je dáno šířkou tramvajového kola a zároveň úhlem křížení přímé a odbočné větve, přičemž na základě provozních zkušeností se ukazuje, že hluboká srdcovka má nižší životnost oproti standardní (mělké) srdcovce.

V síti v současnosti platí pro průjezd kolejovými konstrukcemi následující omezení rychlosti:

- proti hrotům výhybky přímým směrem – 15 km/h
- proti hrotům výhybky do odbočky – 10 km/h
- po hrotech výhybky z přímého směru – 30 km/h (do 1.6.2017 20 km/h)
- po hrotech výhybky z odbočky – 15 km/h
- přes kolejová a trolejová křížení – 15 km/h přes kolejová křížení a trolejová křížení tramvajových trolejí, pro křížení tramvajových a trolejbusových trolejí rychlost není omezena
- zvláštní omezení – splátkové výhybky proti hrotům oběma směry 15 km/h a výhybka s hlubokou srdcovkou proti hrotům přímým směrem 30 km/h (ve zkušebním provozu od 1.9.2017)

V otázce inovací souvisejících se zrychlováním průjezdu tramvají přes kolejové konstrukce byl v Plzni v letošním roce schválen záměr věnovat se možnosti využití širokopatných kolejnic (např. 49 E1), zatím je tento záměr pouze ve stádiu úvah. Zároveň plzeňský dopravní podnik sleduje vývoj v ostatních městech, například v Brně (zvýšení rychlosti při průjezdu přes kolejová křížení na 30 km/h) či Praze (rychlostní výhybky). Obecně je zde snaha pokračovat v trendu zrychlování tramvajové dopravy při zachování vysoké míry bezpečnosti a spolehlivosti.

## 2.2 Zahraňní provozy

### 2.2.1 Drážďany

Drážďanský dopravní podnik používá v současnosti v síti žlábkové kolejnice 60 R1 a Ri 53–10, dále pak vignolové kolejnice 49 E1. Šířka pojíždělné části hlavy kolejnice je 56 mm u žlábkových kolejnic, resp. 67 mm u kolejnice 49 E1.

Používaný profil kola má šířku nákolku 95 mm.

U výhybek používaných v síti se poloměr odbočení pohybuje mezi 17 m a 190 m. Výhybky si ve vlastní dílně vyrábí drážďanský dopravní podnik sám.

V síti jsou používány jak mělké, tak hluboké srdcovky.

V síti v současnosti platí pro průjezd kolejovými konstrukcemi následující omezení rychlosti:

- proti hrotům výhybky přímým směrem – 15 km/h
- proti hrotům výhybky do odbočky – 15 km/h
- po hrotech výhybky z přímého směru – 15 km/h
- po hrotech výhybky z odbočky – 15 km/h
- přes kolejová a trolejová křižení – 15 km/h
- zvláštní omezení – v ojedinělých případech je v některých výhybkách a křiženích povolena rychlost až 50 km/h bez ohledu na směr pojíždění

V otázce inovací souvisejících se zrychlováním průjezdu tramvají přes kolejové konstrukce v současnosti v Drážďanech neprobíhá žádný výzkum.

## 3. Související normy a předpisy

### 3.1 Normy

- ČSN 28 0318 – Průjezdni průřezy tramvajových tratí

Pro výhybky na dvoukolejné trati norma na základě průjezdních průřezů a poloměru odbočení výhybky stanovuje osovou vzdálenost kolejí v místě uložení výhybky, resp. případnou vzájemnou polohu výhybek na protisměrných kolejích v kolejových křižovatkách. [21]

- ČSN 73 6405 – Projektování tramvajových tratí

Norma popisuje především základní terminologii, dále pak specifikuje svršek a spodek tramvajové trati a jejich stavby včetně staveb svršku i spodku tramvajové trati. V neposlední řadě také udává rozměry kolejnic a jejich přípustné opotřebení. [22]

- ČSN 73 6412 – Geometrické uspořádání koleje tramvajových tratí

V normě je stanoven přípustný rozchod koleje a okolnosti, za kterých je nutné jej rozšířit. Dále se norma zabývá výškovým vedením tramvajové trati. Důležitou součástí je také problematika směrového vedení trati, zejména pak minimální poloměry oblouků a možnosti uspořádání směrových oblouků za sebou. Pro kolejové konstrukce je pak významná kapitola o obloucích v kolejových rozvětveních a kříženích. [23]

- ČSN 73 6413 – Zajištění geometrické polohy koleje tramvajových tratí

Norma popisuje, jak vytyčit a měřit parametry stanovené v normě ČSN 73 6412. [24]

Pro tramvajové kolejové konstrukce neexistuje samostatná norma na úrovni ČSN. Kolejové konstrukce jsou tak řešeny na úrovni jednotlivých dopravních podniků formou podnikové normy či jiného vnitřního předpisu. V DPP je to například vnitřní předpis Specifikace pro koleje a kolejové konstrukce.

### 3.2 Právní předpisy

- Zákon č. 266/1994 Sb o drahách, ve znění posledních předpisů

Zákon upravuje podmínky pro stavbu a provozování tramvajových drah, rovněž také stanovuje podmínky způsobilosti k řízení vozidel na tramvajové dráze a v neposlední řadě také určuje orgány dozorující nad tramvajovou dráhou. [25]

- Vyhláška č. 173/1995 Sb. Ministerstva dopravy, kterou se vydává dopravní řád drah.

Dopravní řád drah stanovuje, jak má být tramvajová dráha zabezpečena a obsluhována, a to včetně některých základních rychlostí a návěstí v provozu. Rovněž je zde definován pojem jízdni řád a jeho náležitosti. V další části je uveden způsob a podmínky schvalování vozidel do provozu včetně některých základních parametrů, které musí tramvaje splňovat. [26]

Mezi některými základními rychlostmi se objevuje pro kolejové konstrukce důležitá pasáž, která říká, že při jízdě proti hrotům výhybky postavené do přímého směru je nejvyšší dovolená rychlost 15 km/h (resp. 10 km/h do odbočné kolejové větve), nicméně ustanovení platí pouze pro výhybky, které nejsou zajištěny proti nežádoucímu přestavení. Ustanovení se tak týká pouze výhybek neuzamykatelných. [26]

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

Stavební a technický řád drah vyjmenovává součásti tramvajové dráhy, dále stanovuje technické podmínky a požadavky pro stavbu tramvajové dráhy a rovněž definuje technické podmínky provozuschopnosti této dráhy.

V části zabývající se technickými podmínkami a požadavky pro stavbu se v souvislosti s kolejovými konstrukcemi objevuje pasáž, v níž je požadováno, aby konstrukce výhybek (resp. spojek a křížení) umožňovala plynulou a bezpečnou jízdu vozidla stanovenou rychlostí, přičemž u výhybek musí jejich konstrukce umožňovat spolehlivé stavění a zabezpečení. U úseků tramvajových tratí, kde jsou přepravováni cestující, je navíc požadováno, aby všechny výhybky projížděné proti hrotu byly v koncových polohách zajištěny proti samovolnému přestavení – jinými slovy by všechny rozjezdové výhybky, po kterých jezdí tramvajové vlaky s cestujícími, měly být uzamykatelné, případně zajišťovací. [27]

Dále jsou v technických podmínkách provozuschopnosti dráhy vyjmenovány 4 základní závady na výhybkách, které vylučují provozuschopnost takové výhybky. Jedná se o tyto závady:

1. lom jazyka, opornice nebo srdcovky
2. hrot jazyka nedoléhá k opornici o více než 3 mm
3. stavěcí, závorovací nebo návěstní zařízení má vady nebo poškození, které mohou zapříčinit ohrožení bezpečnosti provozování dráhy nebo drážní dopravy
4. výškové ojetí jazyka činí více než 8 mm [27]

### 3.3 Provozní předpisy

- Dopravní a návěstní předpis D 1/2

Předpis stanovuje veškeré potřebné dopravní a provozní úkony závazné pro pracovníky provozu, mimo jiné řidiče tramvají, u kterých je předepsána jeho úplná znalost. Je zde popsán způsob vypravování vlaků, jejich označování a manipulace s nimi. Dále je zde popsána organizace provozu a zásady pro dopravu – sem patří například nejvyšší dovolené rychlosti jízdy, záležitosti týkající se výhybek či zastavování v zastávkách. Rovněž jsou zde popsány veškeré návěsti, a to včetně obrazových příloh. Platný pouze v pražské kolejové síti. [5]

Podrobnější informace o kolejových konstrukcích obsažené v tomto předpisu jsou již zmíněny v kapitole 1.

- Dopravní a návěstní předpis pro dvounápravové tramvaje D 2/2

Pro řidiče dvounápravové tramvaje jsou zde stanoveny dodatečné povinnosti při jízdě přes dálkově ovládané výhybky. Platný pouze v pražské kolejové síti. [46]

## 4. Návrh řešení umožňující zrychlení průjezdu tramvají přes kolejové konstrukce

### 4.1 Vlastní návrh

Předmětem návrhu je rozšíření počtu kolejových konstrukcí, které lze projíždět vyšší rychlostí. Návrh doplňuje současný koncept rychlostních výhybek, který si kladl za cíl zvýšit především rychlost jízdy do odbočné kolejové větve, případně do obou větví. Lokalit, kde je možné zvýšit rychlost do odbočné kolejové větve, je však jen velmi omezené množství. Omezení vyplývá zejména z poloměru oblouku, který na výhybku navazuje a který neumožňuje projíždět úsek trati bezprostředně za výhybkou vyšší rychlostí. Zvyšování rychlosti do odbočné kolejové větve ve výhybce pak postrádá smysl. Uvažujeme-li nepřevýšený kolejový oblouk, který je pro kolejové konstrukce typický, můžeme maximální rychlost průjezdu  $V_v$  [km/h] spočítat podle vzorce 1:

$$V_v = 2,91 \cdot \sqrt{R} \quad (1)$$

kde  $R$  [m] je poloměr oblouku. Konstanta 2,91 je odvozena od hodnoty převýšení koleje (zde 0) a od maximální přípustné hodnoty nevyrovaného bočního zrychlení, které na vozidlo při průjezdu obloukem může působit. Tato hodnota je pro tramvajové trati na vlastním tělese stanovena na hodnotu  $0,65 \text{ m/s}^2$ , přičemž právě tato hodnota byla použita pro stanovení konstanty ve vzorci 1. Ve stísněných podmínkách může nevyrované boční zrychlení nabývat hodnotu až  $0,8 \text{ m/s}^2$ , zatímco v případě vhodných podmínek a převýšení oblouku může klesat až k nule. [1, 2]

Autor se nicméně vydal cestou obrácenou, tedy zrychlit průjezd tramvaje jedoucí přes výhybku přímým směrem, který není limitován poloměrem oblouku, který v odbočné kolejové větvi výhybku zpravidla následuje. Cílem tedy bylo vyvinout výhybku, resp. obecněji kolejovou konstrukci, kterou by bylo možné v přímém směru projíždět vyšší rychlostí. Jak ukázala analýza rychlostních výhybek a dále poznatky z ostatních měst, není pro tyto účely nutné vyvíjet nové výhybky, plně postačuje použití stávajících výhybek při splnění určitých omezení.

Nutnou podmínkou je výhybka s hlubokou srdcovkou, která je ideálně přímá nebo částečně oblouková s velkým poloměrem odbočení, což zaručí klidný průjezd kola srdcovkou. Instalace hluboké srdcovky je podmíněna výpočtem úhlu přípustného křížení kolejnic, přičemž úhel je značně závislý na použitém profilu kola (zejména pak šířce nákolku) a použitých kolejnicích (zejména šířce pojezdové části hlavy kolejnice). Pro výpočet tohoto úhlu by byla potřebná rozsáhlejší znalost problematiky vztahu kola

a kolejnice, kterou autor práce v současnosti nemá a úhel křížení zde proto neodvozuje. Srovnání v rámci jednotlivých dopravních podniků nicméně ukázalo, že zatímco šířka pojezdové hlavy kolejnic je ve všech městech velmi podobná, zásadní rozdíly jsou naopak u šířky nákolků použitých kol. Nejdále se v tomto dostala Ostrava a Drážďany, kdy zejména v případě ostravského provozu je jasně deklarováno, že přibližně o třetinu vyšší šířka nákolku (až 94,5 mm), než je používána v Praze (63,5 mm), umožní instalovat hlubokou srdcovku do míst, kde se kolejnice kříží pod úhlem blízkým hodnotě 23° (oproti pražským 18°).

Vydeme-li z udané hodnoty úhlu křížení 18°, lze z nabídky výhybek, které do Prahy dodává společnost Pražská strojírna a. s. vybrat nejen výhybky s přímou srdcovkou, ale i několik výhybek se srdcovkou částečně obloukovou. V případě výhybek s přímou srdcovkou je možné vybrat všechny dostupné poloměry odbočení, tedy 25, 50, 100, 150 a 190 m (výhybka o poloměru 190 m není v informačních materiálech, je však v Praze použita jako R01). V případě výhybek s částečně obloukovou srdcovkou je při zohlednění určité rezervy možné použít všechny výhybky od poloměru odbočení 50 m, tedy ještě 100 a 150 m. Výhybka s částečně obloukovou hlubokou srdcovkou s poloměrem odbočení 50 m je v Praze na základě vlastního pozorování autora použita například v obratišti Sídliště Ďáblice (výhybky 657L1 a 657L2). [42]

Navrhovaná rychlost pro průjezd výhybkou proti hrotům přímým směrem se pohybuje od rychlosti 30 do rychlosti 60 km/h, a to v závislosti na konkrétní lokalitě umístění výhybky. V situaci, kdy je výhybka umístěna v kolejové křižovatce, kde je prostor křižovatky sdílen s automobilovou dopravou, autor navrhuje rychlost 30 km/h, která má zohledňovat pohyb silničních vozidel v křižovatce. Tuto rychlost je navíc možné v některých typech kolejových křižovatek dosáhnout již dnes (Olšanské náměstí) a rychlost také koresponduje s hodnotou, kterou navrhuje do zkušebního provozu plzeňský dopravní podnik. Pro kolejové konstrukce, u kterých při jízdě nedochází ke kontaktu s automobilovou dopravou, je možné navrhnout rychlost vyšší, a to až do výše 60 km/h. Pro použitelné poloměry odbočení výhybek byly pro případné zrychlení jízdy i do odbočné kolejové větve na základě vzorce 1 spočteny hodnoty maximální přípustné rychlosti průjezdu, které jsou uvedeny v tabulce 1. U výsledných hodnot byla použita dolní celá část spočtené hodnoty.

Tab. 1: Maximální rychlost v nepřevýšeném kolejovém oblouku v závislosti na poloměru odbočení.

Poloměr odbočení [m]	25	50	100	150	190
Maximální rychlost průjezdu obloukem [km/h]	14	20	29	35	40

Vybrané problémy s implementací těchto výhybek do provozu jsou popsány v následujících kapitolách.

## 4.2 Stavěcí zařízení

Stavěcí zařízení v současnosti v České republice vyrábí celkem 3 subjekty, a to DT – výhybkárna a strojírna a. s., Elektroline a. s. a Pražská strojírna a. s. Autor v dalším popisu čerpal z informačních materiálů všech tří výrobců, nicméně s ohledem na to, že výhradním dodavatelem stavěcích zařízení pro DPP je společnost Pražská strojírna a.s., je popis koncipován tak, aby plně odpovídal výrobkům tohoto výrobce.

Přestavník je tvořen přestavníkovou skříní, v níž jsou umístěny skříně s jednotlivými komponenty, přestavníkem a táhly. Tyto skříně jsou konstruovány jako vodotěsné, což pozitivně přispívá ke spolehlivosti zařízení. Přestavníky jsou dodávány elektromagnetické s tlumičem, nebo elektrohydraulické, přičemž hydraulickou kapalinu zde představuje olej. V přestavníku jsou dále osazena celkem tři táhla, přičemž jedno táhlo je stavěcí a dvě kontrolní. [41, 47, 49]

Účelem stavěcího táhla je řádné přestavení obou jazyků výhybky do koncových poloh, přičemž obě možné koncové polohy jazyků odpovídají zároveň krajním polohám stavěcího táhla, ve kterých je jej možné uzamknout. Stav uzamčení i dosažení obou krajních poloh lze nezávisle na sobě signalizovat. Mimo to vyvíjí stavěcí táhlo v krajní (uzamykatelné) poloze definovaný přítlak na jazyky, které jsou takto přitlačovány do koncové polohy, čímž je zajištěno jejich řádné dolehnutí. [41, 47, 49]

Dvojice kontrolních táhel (každý z jazyků má vlastní táhlo) je v přestavníku umístěna za účelem zdvojení kontroly řádného přestavení výhybky. Každé z kontrolních táhel je rovněž uzamykatelné v obou krajních polohách, čímž je zajištěna dvojí kontrola řádného dolehnutí a uzamčení obou jazyků výhybky nezávisle na sobě, a to v obou koncových polohách, přilehlé i odvrtné. I v případě kontrolních táhel je možné jak stavy uzamčení, tak dosažení obou krajních poloh, nezávisle na sobě signalizovat. [41, 47, 49]

Přestavníky z produkce společností Elektroline a. s. a Pražské strojírně a. s. jsou navíc homologovány dle EN IEC 61508 (Funkční bezpečnost elektrických/elektronických/programovatelných elektronických systémů souvisejících s bezpečností) na úroveň bezpečnostní integrity SIL 3. Funkční bezpečností zde rozumíme bezpečnostní standard definovaný pro elektrická zařízení a řídicí systémy, které ve funkčním celku (zde stavěcím zařízením) zodpovídají za bezpečnost. Úroveň bezpečnostní integrity pak odpovídá pravděpodobnosti selhání těchto zařízení takovým způsobem, že dojde k ohrožení bezpečnosti celého funkčního celku. Úroveň SIL 3 pak odpovídá stavu, kdy u zařízení dojde maximálně k jedné nebezpečné chybě v bezpečnostní funkci za 1000 let provozu. [41, 47, 39]

Z těchto poznatků vyplývá, že uzamčení i následná detekce polohy jazyků je zajištěna několika na sobě nezávislými způsoby. Rovněž elektronika zodpovídající za bezpečnost je s ohledem na očekávanou



životnost výhybky v řádu nižších desítek let spolehlivá natolik, že lze dle autora práce případné riziko označit za přijatelné. Autor práce tedy shledává, že v současnosti používaný systém stavění výhybek je možné použít i pro výhybky pojížděné vyšší rychlostí jízdy.

### 4.3 Vjetí do nesprávného směru

Velmi nebezpečným jevem, který provází jízdu tramvaje přes kolejové konstrukce, je vjetí do nesprávného směru, tj. stav, kdy řidič v kolejové konstrukci pokračuje směrem, kterým pokračovat nechtěl a tuto situaci sám neočekával. Následky vjetí do nesprávného směru mohou být z hlediska bezpečnosti jak marginální (sjetí z trasy linky), tak velmi vážné (vykolejení vlaku či srážka s protijedoucím vlakem). Výhybky s možností vyšší rychlostí průjezdu mohou riziko vážnějších následků při opomenutí prevence značně zvýšit.

Důvody pro vjetí do nesprávného směru mohou být v zásadě dva, a to buď nepozornost řidiče, který si řádné postavení výhybek nezkontroloval, nebo technická závada výhybky. Zde je třeba dodat, že dle předpisu D 1/2 je řidič (či v případě sunutí vlaku brzdař na čele vlaku) zodpovědný za vjetí vlaku do správně postavených a přilehlých jazyků výhybky pojížděné proti hrotům. Z toho vyplývá, že za prakticky každé vjetí do nesprávného směru je zodpovědný řidič tramvaje, který by se mohl vyvinut pouze v případě, kdy po řádném přestavení a zablokování výhybky došlo k jejímu samovolnému přestavení buď těsně před, nebo pod vozem, kdy už nebylo v možnostech řidiče přesvědčit se o jejím řádném přestavení a dolehnutí jazyků. V takovém případě bude jako příčina vjetí do nesprávného směru označena technická závada výhybky. Těmito případy se ale práce nebude zabývat. [5]

Druhou příčinu, tedy nepozornost řidiče, můžeme ještě rozdělit na dvě, a to v závislosti na výchozím postavení výhybky.

V prvním případě je výhybka ve výchozí poloze postavena špatným směrem. Řidič tento stav přehlédne a do výhybky vjede, čímž dojde ke vjetí do nesprávného směru. K této situaci dochází v okamžiku, kdy řidič buď nemá přehled o směru další jízdy, nebo návěstidlo výhybky a výhybku samotnou vůbec nekontroloval.

Druhý případ představuje situaci, kdy je výhybka ve výchozí poloze postavena do správného směru. Řidič tento stav zpozoruje ještě před průjezdem přes přijímač rádiového signálu, a předpokládá, že vzhledem k tomu, že je výhybka již postavena do správného směru, k jejímu přestavení nedojde. Dále už se více soustředí na vnímání okolního provozu a pouze periferně očekává stav, kdy se po zablokování výhybky proti samovolnému přestavení návěstidlo rozbliká. Přehlédne v tu chvíli skutečnost, že se výhybka ještě před zablokováním postavila do nesprávného směru a pokračuje v jízdě, následkem

je opět vjetí do nesprávného směru. Tato situace je způsobena jednak příliš ukvapenou kontrolou výhybky a návěstidla, kdy řidič chybně předpokládá, že když je výhybka postavena do správného směru, nemůže již dojít k jejímu přestavení do nesprávného směru. Kromě toho si řidič na palubním počítači nezkontroloval před vjetím do obvodu výhybky příznak na palubním počítači, který signalizuje směr, který je vysílán vysílačem rádiového signálu z tramvaje. Směrový signál vysílán vysílačem se mění vždy po odhlášení zastávky. Je-li to nutné (tj. když se v mezizastávkovém úseku nachází více výhybek, které je potřeba přestavit do různých směrů), je v mezizastávkovém úseku umístěn inframaják, který provede změnu vysílaného signálu podle potřeby nezávisle na odhlášení zastávky. Může se však stát, že při tomto procesu dojde k selhání a vysílaný směrový signál není změněn, což se pak projeví u následující výhybky. [8]

V současnosti vjetí do nesprávného směru závisí pouze na řidiči tramvaje, tedy lidském faktoru. Aby bylo možné výskyt tohoto jevu omezit, je třeba cílit opatření buď na včasné a účinné varování řidiče tramvaje, že dojde ke vjetí do nesprávného směru, nebo vyvinout systém, který by vozidlo při hrozbě vjetí do nesprávného směru automaticky zastavil. Autor práce nicméně předpokládá, že vývoj systému, který by automaticky zastavil vlak, by byl značně náročný, a to zejména kvůli skutečnosti, že se v tramvajovém provozu zpravidla jezdí podle rozhledových poměrů, tzn. že se jednotlivé vlaky mohou k sobě bez porušení jakýchkoliv ustanovení provozních předpisů přiblížit i na velmi malé vzdálenosti. Tento fakt by vyžadoval velmi přesnou rozlišovací schopnost takového systému, které se bude dosahovat jen velmi obtížně. Autor by se tedy zaměřil na opatření včasné výstrahy řidiče tramvaje.

V otázce včasné výstrahy řidiče tramvaje by autor využil skutečnosti, že v současnosti používané vysílače a přijímače rádiového signálu umožňují oboustrannou komunikaci mezi vozidlem a výhybkou. Zaměříme-li se na tramvaje vybavené novějšími variantami palubního počítače, bylo by možné, aby výhybka po svém přestavení, resp. zablokování odeslala do tramvaje informaci o poloze jazyků, která by se řidiči promítla na obrazovce palubního počítače (popř. na displeji nadřazeného řízení, je-li jím tramvaj vybavena), což by zvýšilo šanci, že řidič tuto informaci nepřehlédne. Na tomto místě je třeba dodat, že v případě rychlostních výhybek je příznak směrového signálu signalizován výzvoovým návěstidlem, které řidiče včas upozorní na to, do kterého směru bude výhybka přestavena, resp. zablokována. Pokud bychom předpokládali využití tohoto řešení u výhybek pojížděných běžnými rychlostmi, bylo by možné umístit vysílač rádiového signálu v místě začátku kolejových obvodů. U výhybek s možností pojíždění vyššími rychlostmi, které mají delší obvod výhybky, by pak bylo možné vysílač umístit mezi přijímač a blokovací kolejový obvod. [48]

Další věcí, kterou by bylo vhodné se do budoucna zabývat, je úprava stávajícího systému rádiového ovládání výhybek. Bylo by žádoucí upravit systém tak, aby vysílaný signál nezávisel na proměnné aktuální poloze vlaku (odhlášené zastávce či inframajáku), ale na věci, která je v danou chvíli neměnná,

například aktuální lince. Výhybka by byla nově naprogramována tak, aby se přestavovala v závislosti na aktuální lince (resp. kódu hlásiče) vlaku, tedy by řidič nemusel před každou výhybkou kontrolovat příznak vysílaného směrového signálu na obrazovce palubního počítače. Tramvaj by nově místo požadavku na směr přestavení výhybky vysílala pouze signál o aktuálním kódu hlásiče, na základě kterého by se výhybka stavěla do požadovaného směru. [48]

## 4.4 Zábrazdná vzdálenost

Aby bylo možné osadit výhybku pojížděnou vyšší rychlostí, je nutné umístit přijímač rádiového signálu na takovou vzdálenost od výhybky, aby bylo možné vlak v případě potřeby bezpečně zastavit ještě před výhybkou, ať již z důvodu jejího postavení do nesprávného směru, nebo například neuzamčení jazyků v koncové poloze. V takových případech musí mít řidič tramvaje možnost výhybku ručně přestavit, případně provést ruční zkoušku řádného uzamčení jazyků.

Pojmem bezpečně zastavit zde autor označuje zastavení pouze za použití provozní brzdy. Tuto vzdálenost bude autor práce dále označovat jako zábrazdnou vzdálenost. Tento pojem Dopravní řád drah zná, zábrazdných vzdáleností se běžně využívá v železniční dopravě při umísťování návěstidel, přičemž se využívá několika zábrazdných vzdáleností, které vždy platí pro určité intervaly traťových rychlostí. Autorovi práce přijde vhodnější zábrazdnou vzdálenost v tramvajovém provozu stanovovat zvláště pro každou rychlost, zejména kvůli tomu, že zatímco zábrazdné vzdálenosti na železnici se pohybují spíše ve vyšších stovkách metrů, v případě tramvajového provozu se jedná o hodnoty do cca 200 m. [26]

První možností, jak zábrazdnou vzdálenost určit, je experimentální měření. To se provádí pro všechny typy vozidel, přičemž obvykle je experiment prováděn pro několik různých počátečních rychlostí brzdění a dále pro různé konfigurace zatížení vozidla (mění se hmotnost) a tramvajové trati (různé podélné sklony). Na základě těchto měření jsou pak sestaveny tabulky zábrazdných vzdáleností. Výsledná zábrazdná vzdálenost by se pak měla odvíjet od toho typu provozovaného vozidla, které má brzdovou dráhu nejdelší.

Druhým, obecnějším způsobem, je výpočet, s pomocí kterého lze zábrazdnou vzdálenost stanovit pro libovolnou počáteční rychlost vozidla. Protože se tato práce primárně nezabývá výpočtem zábrazdné vzdáleností, dovoluje si autor pro účely této práce výpočet zjednodušit tím, že předpokládá dokonalou adhezi mezi kolem a kolejnicí, ideální vnější podmínky (suchou kolejnicí i plochy kol), konstantní brzdový účinek (tj. konstantní hodnotu brzdového zpomalení) a umístění tramvajové trati v nulovém podélném sklonu. Zjednodušený vzorec pro výpočet pak odvodíme na základě vybraných vzorců pro zrychlení (2) a dráhu rovnoměrně zpomaleného pohybu (3) z kinematiky: [4]

$$a = \frac{v_0 - v_1}{t} \quad (2)$$

$$s = v_0 t - \frac{1}{2} a t^2 \quad (3)$$

kde  $a$  [ $\text{m/s}^2$ ] je zrychlení,  $v$  [ $\text{m/s}$ ] je rychlost,  $t$  [ $\text{s}$ ] je čas a  $s$  [ $\text{m}$ ] je dráha. Vyjádříme-li ze vzorce 2 čas a dosadíme jej do 3, pak po dosazení za  $v_1 = 0$  (zastavení odpovídá nulová rychlost) dostaneme vzorec 4, kterým lze spočítat zábrzdnu vzdálenost tramvaje, přičemž vzorec je upraven pro dosazování veličin v jednotkách, ve kterých se běžně uvádějí (a které nemusí odpovídat jednotkám základním). Zábrzdnu vzdálenost pak spočteme pomocí vzorce 4 takto:

$$s_z = \frac{1}{25,92} \cdot \frac{V_p^2}{a_B} \quad (4)$$

kde  $s_z$  [ $\text{m}$ ] je zábrzdná vzdálenost,  $V_p$  [ $\text{km/h}$ ] je počáteční rychlost na začátku brzdění a  $a_B$  [ $\text{m/s}^2$ ] je brzdné zpomalení tramvaje. V případě počáteční rychlosti bychom obecně měli dosazovat traťovou rychlost, tj. maximální rychlost, kterou tramvaj může v úseku legálně dosáhnout, resp. rychlost nižší, pokud lze odůvodnit, že se v úseku předcházejícím výhybce (resp. jejímu obvodu) tramvaje pohybují sníženou rychlostí. Za brzdné zpomalení by se měla dosazovat hodnota stanovená pro provozní brzdění plně obsazené tramvaje toho typu, který je v pravidelném provozu s cestujícími a zároveň má zábrzdnou vzdálenost nejdlejší. Alternativou může být vlastní hodnota stanovená provozovatelem, ta by ale měla být volena s ohledem na nejhorší možné podmínky, které mohou nastat.

Protože autor práce nemá k dispozici hodnoty brzdných zpomalení pro provozní brzdění plně obsazené tramvaje, odhadne hodnotu brzdného zpomalení na základě dostupných skutečností. První skutečností je podmínka stanovená přílohou 3 prováděcí vyhlášky dopravního řádu drah, která se věnuje požadavkům na drážní vozidla. V části IV zaměřené na vozidla tramvajová se uvádí, že provozní brzda musí umožnit zastavení prázdného vozidla (resp. zatíženého záteží nejvíce 0,5 t) se střední hodnotou brzdného zpomalení alespoň  $1,12 \text{ m/s}^2$ . [26]

Druhým podkladem jsou pak tabulky zábrzdných vzdáleností vybraných typů tramvají (T3, T3 M a KT8 D5), které byly vydány na konci osmdesátých, resp. začátkem devadesátých let. Tabulky obsahovaly brzdné dráhy uvedených vozidel pro několik podélných sklonů trati (včetně nulového), několik stavů zatížení a rovněž pro několik různých hodnot rychlosti, přičemž nejvyšší testovaná rychlost byla  $55 \text{ km/h}$ . Zkoušky byly rovněž prováděny za ideálních podmínek (suchá kolejnice i plochy kol). Aby bylo možné dát tyto údaje do souvislosti s hodnotou uvedenou ve vyhlášce, posuzoval autor brzdné dráhy prázdných vozidel při nulovém sklonu, přičemž hodnota brzdného zpomalení byla spočtena pomocí vzorce 4 dosazením počáteční rychlosti a brzdné dráhy. Z výše uvedených typů tramvají dosa-

hovala nejhorší brzdné dráhy tramvaj typu T3 M, přičemž její nejhorší brzdné zpomalení (z rychlosti 55 km/h) činilo přibližně  $1,23 \text{ m/s}^2$  při prázdném vozidle. [9, 10]

Třetím podkladem je pak publikace o kolejových vozidlech pražské MHD, která však u jednotlivých typů vozidel uvádí pouze hodnotu provozního zpomalení prázdného vozu bez dalšího upřesnění. Navíc vzhledem k roku vydání publikace (2005) v ní nejsou zařazeny novější typy vozidel. U typu T3 M je zde uvedena hodnota  $1,8 \text{ m/s}^2$ , která je však v rozporu s tabulkami brzdných drah. Při provozním brzdění nebylo dle tabulek při zkouškách této hodnoty dosaženo ani při provozním brzdění z nejnižší testované rychlosti (tj. 15 km/h). V publikaci je jako nejnižší hodnota uvedeno brzdné zpomalení  $1,2 \text{ m/s}^2$ , a to u vozů KT8 D5. Tato hodnota je rovněž v rozporu s tabulkami zábrzdných drah, podle kterých vozy KT8 D5 dosahovaly lepšího brzdného zpomalení. Vozy KT8 D5 nicméně již nejsou v pravidelném provozu, nahradila je jejich modernizovaná varianta KT8 D5R.N2P, jejíž brzdné dráhy se autorovi nepodařilo zjistit. [3]

Čtvrtým a posledním zdrojem, který oproti výše uvedeným podkladům bude mít spíše doplňkovou funkci, je diplomová práce Venduly Hlavové z VUT v Brně, která se zabývala stanovením komfortní a bezpečné jízdy vozidel MHD na základě měření zrychlení vozidel a subjektivního hodnocení cestujících. V případě tramvaje byla pro stojící cestující stanovena jako mez komfortní jízdy hodnota zrychlení  $1,05 \text{ m/s}^2$ , resp.  $1,61 \text{ m/s}^2$  jako mez rizikové jízdy. [52]

Na základě výše uvedených skutečností se autor rozhodl použít hodnotu  $1,2 \text{ m/s}^2$ , která není vzdálena limitním hodnotám z prvních tří použitých zdrojů, v případě čtvrtého zdroje pak leží v pásmu mezi komfortní a rizikovou jízdou, což dle subjektivního názoru autora práce odpovídá skutečnosti. Zjištěný interval podélného zrychlení komfortní jízdy navíc nemá průnik s intervalem přípustných středních hodnot brzdného zrychlení dle vyhlášky, což vlastně znamená, že plné provozní brzdění nikdy nemůže být považováno za komfortní jízdu. Vypočítané hodnoty zábrzdné vzdálenosti jsou pak uvedeny v tabulce 2, přičemž je uvedena horní celá část výsledku v metrech.

Tab. 2: Zábrzdné vzdálenosti prázdného vozu na rovině pro brzdné zpomalení  $1,2 \text{ m/s}^2$ .

Počáteční rychlost [km/h]	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Zábrzdná vzdálenost [m]	8	13	21	29	40	52	66	81	98	116

## 4.5 Rozřez ve vyšších rychlostech

Aby bylo možné pojíždět vyšší rychlostí i výhybky sjezdové, je třeba se zabývat problematikou rozřezu těchto výhybek při vyšších rychlostech. Současné sjezdové výhybky jsou vybaveny tlumiči, které zabraňují nežádoucím rázům při přestavování koly vlaku, čímž snižují hluk při přestavování a dále také zvyšují životnost jazyků. Sjezdové výhybky jsou rovněž osazeny pružinou, která zde zajišťuje fixaci jazyků v koncových polohách.

Otázkou, kterou je třeba se v tomto případě zabývat, je přípustná rozřezná síla působící na tlumiče. Pokud by tato síla byla překročena, docházelo by k destrukci tlumičů a následně i rychlému opotřebení jazyků výhybky a celé konstrukce výměny, což je nežádoucí. Autor práce se nezabýval zkoumáním přesné velikosti síly, která může na tlumiče působit, popř. zda jsou tlumiče dimenzovány na vyšší rozřeznou sílu, ale vycházel z možností v současnosti používané techniky. Základní předpoklad je, že tlumiče výhybky odolají rozřezné síle odpovídající rychlosti tramvaje při rozřezu 30 km/h, což je nejvyšší rychlost, která je v pražském provozu do sjezdové výhybky povolena (z přímého směru). Dále autor předpokládá, že bude-li sjezdová výhybka s hlubokou srdcovkou postavena do správného směru (tj. nebude docházet k jejímu rozřezu), lze ji pojíždět libovolně vysokou rychlostí (s ohledem na současné pražské provozní předpisy tedy rychlostí do 60 km/h včetně), protože v tu chvíli nebude pohyb kol tramvaje výrazně odlišný od jízdy po běžné koleji mimo prostor výhybky.

První možností je přestavět sjezdové výhybky, u kterých by se předpokládalo pojíždění vyšší rychlostí, na elektrické stavění s možností uzamčení, čímž by bylo zajištěno, že při vyšších rychlostech nebude docházet k rozřezu výhybky koly vlaku. Toto řešení však skýtá celou řadu nevýhod. První nevýhodou je nutnost instalace elektrického přestavníku a s ním souvisejícího vybavení, například stavěcích kontaktů (resp. přijímačů rádiového signálu), kolejových obvodů a návěstidel, což by značně zvýšilo náklady na realizaci tohoto řešení. Další nevýhodou je samotný fakt, že by výhybka musela být uzamykatelná, což by v případě jejího nepřestavení do požadovaného směru vyžadovalo nutnost zastavení a následného ručního přestavení, v opačném případě by došlo k jejímu rozřezu, což je nežádoucí a v případě uzamykatelné výhybky ve vyšší rychlosti i potenciálně nebezpečné (v nižších rychlostech by měla vykolejení zabránit rozřezná pojistka). Poslední nevýhodou je fakt, že se v pražském provozu jezdí pouze dle rozhledových poměrů, tj. vlaková cesta tramvaje není kryta návěstidly, výjimku tvoří pouze ojedinělé krátké úseky trati či obvody výhybek. Aby v případě sjetí dvou vlaků z obou kolejových větví výhybky nedošlo k potenciálně nebezpečné situaci, musel by být obvod sjezdové výhybky krytý návěstidly podobně jako u výhybek rychlostních, což by snížilo propustnost trati – v současnosti mohou do sjezdové výhybky tramvajové vlaky vjíždět v těsném sledu za sebou, což by po instalaci návěstidel umožněno nebylo. Prakticky jedinou výhodou tohoto řešení by byla možnost výhybku pojíždět vysokou rychlostí

z obou kolejových větví, využití této přednosti by však bylo v pražských podmínkách velmi omezené, až téměř žádné. Důvodem je skutečnost, že jedna z kolejových větví sjezdové výhybky je obvykle tvořena obloukem o poloměru, který by vyšší rychlostí (nad 30 km/h) neumožňoval, oblouk bývá navíc v případě sjezdové výhybky situován v bezprostřední blízkosti výhybky. Potenciálně jediným místem, kde by se v Praze dala zřídit sjezdová výhybka s vysokou rychlostí poježdění z obou kolejových větví, je výjezd na trať z obratiště Nádraží Braník, zde by ale bylo nutné vyřešit rozhledové poměry.

Druhou možností je upravit sjezdové výhybky na zajišťovací s tím, že jazyky výhybky budou v základní poloze postaveny do směru, ze kterého bude výhybka poježděna vyšší rychlostí, čímž dojde ke splnění výše uvedených předpokladů nutných pro rychlý průjezd výhybkou. Při jízdě z druhého směru, který bude poježděn běžnou rychlostí, dojde vždy k nedestruktivnímu rozřezu jazyků výhybky. Aby bylo v případě selhání samovratné funkce přestavníku, kdy by hrozil rozřez výhybky koly vlaku ve vyšší rychlosti, možné na tuto skutečnost včas upozornit řidiče tramvaje, je možné výhybku dodatečně vybavit návěstidlem, které signalizuje dolehnutí jazyků v koncové poloze. Tuto možnost umožňují dle webových stránek přinejmenším výrobci Pražská strojírna a. s. a Elektrolina a. s. Výhodou je v tomto případě značná jednoduchost opatření, které přináší jen minimální náklady navíc, a to jen v případě instalace návěstidla. Nevýhodou naopak může být zřízení zajišťovací výhybky, která může v některých případech (zejména při rychlé likvidaci následků MU) komplikovat manipulaci s vlaky.

## 4.6 Návrhy návěstí

Důležitou součástí návrhu kolejových konstrukcí s možností poježdění vyšší rychlostí je také návrh návěstí, které budou na takovou konstrukci řidiče tramvaje a ostatní pracovníky provozu upozorňovat. Návěst by pokud možno měla být jasně a včas identifikovatelná, její význam by měl být jednoznačný a především by neměla být zaměnitelná s již existujícími návěstmi.

V případě rozjezdových výhybek by autor práce navrhoval používat návěstí a návěstidla, která se již osvědčila u rychlostních výhybek. Ostatně jakoukoliv výhybku lze obecně považovat za rychlostní, lze-li ji projíždět vyšší rychlostí, než je tomu u běžných výhybek. Použitím stávajících prvků se situace značně zjednoduší, protože nebude nutné přidávat nové návěstí a zároveň bude pro řidiče tramvaj jasně srozumitelné, že výhybka označená jako  $R_{xy}$  doplněná o bílá návěstidla je spojena s možností vyšší rychlosti průjezdu alespoň jedním směrem. Aby bylo možné stávající návěstí a návěstidla použít i v situacích, kdy se za výhybkou nachází kolejové křížení s protisměrnou kolejí, bylo by nutné doplnit, že návěstěná rychlost platí pro výhybku a kolejovou konstrukci bezprostředně přilehlou k výhybce (formulace zde musí být natolik jednoznačná, aby nebylo možné si ji vykládat tak, že vyšší rychlost je povolena přes celou kolejovou křižovatku, ale skutečně pouze pro kolejovou konstrukci nacházející se

u jedné křižovatkové větvi).

U sjezdových výhybek je situace horší, protože vhodná návěst dosud není v předpisu D 1/2. Pokud by navíc byla použita metoda přestavby sjezdové výhybky na výhybku zajišťovací (viz kapitola 4.5), bylo by nutné výhybku dále doplnit o návěst „Zajišťovací výhybka“ umístěnou tak, aby byla čitelná z obou směrů pojezdění. Návrh návěsti lze pojmout buď způsobem, který bude jasně odkazovat na kolejovou konstrukci, například použitím jejího schematického obrázku přímo na návěsti, jako je tomu například v Budapešti, viz. 28. [5]



Obr. 28: Ukázka návěstí stanovujících rychlost přes výhybky v maďarské Budapešti. Pravá návěst stanovuje rychlost jízdy přes sjezdovou výhybku poježděnou z přímého směru, zatímco levá návěst umístěna u protisměrné koleje stanovuje rychlost jízdy přes kolejovou spojku, která je bezprostředně za návěstmi umístěna (8/2016, archiv J. Hradila).

Další možností je použití stávajících návěstidel pro rychlost obsažených v předpisu D 1/2 s tím, že dojde k úpravě barevného schématu návěsti, aby nebyla možná záměna se stávajícími návěstmi pro rychlost. Autor práce by navrhoval použití černé barvy, která je dostatečně odlišná od stávající barvy žluté, navíc je barevné schéma návěsti podobné rychlostnímu návěstidlu rychlostních výhybek, což může vyvolat asociaci s těmito návěstidly. Navržená podoba takové návěsti je na obrázku 29. I v případě této návěsti by bylo nutné jasně vymežit rozsah její platnosti, kdy by návěst platila pouze pro nejbližší (avšak celou) kolejovou konstrukci nacházející se za návěstí. [5]

V případě, že by bylo požadováno proměnné návěstidlo (viz 4.5), nabízelo by se použití návěstidla z rychlostních výhybek, které by zde ale bylo tvořeno pouze číslem (dolní box návěstidla rychlostní výhybky), které by se rozsvítilo v případě, že by jazyky sjezdové výhybky v požadovaném směru řádně dolehly, v opačném případě by návěstidlo zůstalo zhasnuté a výhybku by tak bylo možné pojezdit pouze běžně dovolenou rychlostí.





Obr. 29: Možná podoba návěsti, která by umožňovala vyšší rychlost jízdy přes kolejovou konstrukci vycházející z návěsti pro nejvyšší dovolenou rychlost z předpisu D 1/2. (Zdroj původního obr.: [5])

## 5. Výběr míst v pražské tramvajové síti vhodných k aplikaci navrhovaného řešení

V této kapitole je nastíněno 20 lokalit v pražské tramvajové síti, kde by dle autorova názoru bylo technicky možné zřídit kolejové konstrukce popsané v kapitole 4. Na tomto místě je třeba zdůraznit, že se jedná pouze o návrhy, které nejsou podloženy jakýmkoliv přesným měřením. Prostorové poměry autor odhadoval na základě vlastních pěších pochůzek, přičemž konkrétní hodnoty délek a poloměrů byly odměřeny s pomocí internetových mapových podkladů uvedených ve zdrojích. Návrh dále zohledňuje polohy zastávek vůči kolejovým konstrukcím. [50, 51]

### 1. Obratiště Královka

Úprava poloměru odbočení ve výhybce 673 (vjezd do obratiště zc) na hodnotu, která dovolí instalaci hluboké srdcovky, což umožní zvýšit rychlost průjezdu přímým směrem na 30 km/h. U navazujícího křížení s protisměrnou kolejí patrně nebude s ohledem na prostorové poměry úprava možná.

### 2. Obratiště Dlabačov

Úprava úhlu kolejového křížení (vjezdová kolej do obratiště x protisměrná traťová kolej) pro použití hlubokých srdcovek, což umožní od Malovanky směrem dc souvislý průjezd kolejovými konstrukcemi rychlostí 30 km/h. Návrh vyžaduje posunutí výhybky číslo 518, kterou je v rámci možností též možné upravit na průjezd přímým směrem rychlostí 30 km/h.

### 3. Spojovací kolej v ulici Hládkov

Úprava poloměru odbočení ve výhybce U12 (v Myslbekově ulici) na hodnotu, která dovolí instalaci hluboké srdcovky, což umožní zvýšit rychlost průjezdu přímým směrem na 30 km/h. Podmínkou je dále změna typu výhybky z ruční uzamykatelné na dálkově ovládanou (rychlostní).

Úprava poloměru oblouku na výjezdu do ulice Keplerovy, která dovolí osazení křížení s hlubokou srdcovkou, což umožní zvýšení rychlosti průjezdu na hlavní trati na 30 km/h. Je možné upravit i navazující sjezdovou výhybku, ke zvýšení rychlosti by ale vzhledem ke směrovému oblouku v blízkosti výhybky patrně nedošlo.

### 4. Vjezd do vozovny Střešovice

Úpravy popsané v kapitole 1.7.3.2, které by odstranily rychlostní propad (lokální zpomalení na 15 km/h) a umožnily průjezd celou kolejovou konstrukcí směrem zc konstantní rychlostí 30 km/h.

#### 5. Křižovatka Střešovická x Patočkova

Úprava vrcholu křižovatky od zastávky Vozovna Střešovice tak, aby bylo možné v kolejovém křížení, sjezdové výhybce a rozjezdové výhybce 633 použít hluboké srdcovky a upravit poloměr odbočení výhybek a navazujících oblouků na hodnotu 100 m, což umožní zvýšit rychlost průjezdu přímým směrem zc na 30 km/h, resp. od Sibeliovy na 25 km/h oběma směry. [50, 51]

#### 6. Křižovatka Milady Horákové x Badeniho

Úprava obou vrcholů křižovatky v ulici Milady Horákové navýšením poloměrů oblouků tak, aby bylo možné všechny konstrukce v obou vrcholech osadit hlubokými srdcovkami (včetně srdcovky u rozpletu rozřazovacích kolejí od Hradčanské), což by umožnilo v přímém směru navýšit rychlost průjezdu křižovatkou na 30 km/h oběma směry.

#### 7. Křižovatka Klapkova x Střelnická

Kolejové konstrukce ve vrcholu křižovatky přiléhajícímu k zastávce Kobylisy jsou v současnosti již osazeny hlubokými srdcovkami. Vzhledem k dostatečně velkému poloměru odbočení (100 m) se nabízí zvýšení nejvyšší dovolené rychlosti do odbočné kolejové větve na 25 km/h oběma směry, resp. na 25–30 km/h v přímém směru zc (výhybka 658). Diskutabilní je zde velká blízkost zastávky Kobylisy, nicméně vezme-li se v potaz větší plocha křižovatky, lze předpokládat, že by tramvaj vyšší rychlost dokázala využít. [50, 51]

#### 8. Obratiště Harfa

Úprava poloměru odbočení ve výhybce 564 (vjezd do obratiště dc) na hodnotu, která dovolí instalaci hluboké srdcovky, což umožní odstranit rychlostní propad a zvýšit rychlost průjezdu přímým směrem na 30 km/h. U navazujícího křížení s protisměrnou kolejí patrně nebude s ohledem na prostorové poměry úprava možná. Úprava má také za následek znemožnění plnohodnotného využití výstupní zastávky vlaky od Starého Hlobětína jedoucí na vnitřní kolej obratiště. Využití obratiště z tohoto směru je však velmi ojedinelé.

#### 9. Obratiště Nádraží Vysočany (Náměstí OSN)

Nahrazení sjezdové výhybky z obratiště výhybkou o větším poloměru odbočení s hlubokou srdcovkou, která by umožnila vlakům jedoucím z obratiště průjezd rychlostí 30 km/h.

#### 10. Křižovatka Olšanské náměstí

Úprava vrcholu křižovatky s kolejovými konstrukcemi tak, aby bylo možné použití hlubokých srdcovek, což umožní zvýšit rychlost průjezdu v přímém směru zc na 30 km/h, popř. na 20 km/h v odbočné kolejové větvi oběma směry (při předpokládaném poloměru oblouku 50 m, který je v současnosti v křižovatce umístěn). [50, 51]

#### 11. Obratiště Černokostelecká

Úprava poloměrů odbočení v kolejové konstrukci (případně použití výhybek s přímou srdcovkou) na vjezdu do obratiště tak, aby bylo možné rychlost v přímém směru zvýšit až na hodnotu 50 km/h oběma směry. Při předpokládaném poloměru odbočení směrem do obratiště (výhybka 548) 50 m lze zvýšit i rychlost do odbočné kolejové větve směrem zc na 20 km/h. [50, 51]

#### 12. Křižovatka Vršovická x Minská

Úprava vrcholu křižovatky od zastávky Bohemians tak, aby bylo možné v kolejovém křížení, sjezdové výhybce a rozjezdové výhybce 726 použít hluboké srdcovky a upravit poloměr odbočení výhybek a navazujících oblouků na hodnotu 50 m, což umožní zvýšit rychlost průjezdu v přímém směru na 30 km/h oběma směry, resp. na 20 km/h při jízdě do/z odbočné kolejové větve. [50, 51]

#### 13. Křižovatka Otakarova x Na Zámecké

Úprava poloměru odbočení ve výhybce U08 (vjezd do ulice Zámecké od Nádraží Vršovice) na hodnotu, která dovolí instalaci hluboké srdcovky, což umožní odstranit rychlostní propad a zvýšit rychlost průjezdu přímým směrem na 30 km/h. U navazujícího křížení s protisměrnou kolejí patrně nebude s ohledem na prostorové poměry úprava možná.

#### 14. Nuselská ulice v místě zaústění do náměstí Bratří Synků

Úprava kolejové konstrukce tak, aby bylo možné použití hlubokých srdcovek, což umožní zvýšit rychlost průjezdu v přímém směru dc na 30 km/h, popř. na 20 km/h v odbočné kolejové větvi oběma směry (za předpokladu použití oblouku o poloměru 50 m). [50, 51]

#### 15. Obratiště Dvorce

Změna směru průjezdu obratištěm, díky které dojde k výraznému posunu některých kolejových konstrukcí do míst, kde lze docílit úhlu křížení, který umožní instalaci hlubokých srdcovek. To umožní při jízdě směrem zc projet všechny kolejové konstrukce (rozjezdovou a sjezdovou výhybku) rychlostí 50 km/h, která je v místě na širé trati běžně dovolena. V případě směru dc dojde k výraznému zkrácení délky úseku s omezenou rychlostí 15 km/h z 80 m na přibližně 10 m (délka jedné výhybky s nízkým poloměrem odbočení), zcela však rychlostní propad s ohledem na poloměr navazujícího oblouku (který se bude pohybovat okolo mezní hodnoty 20 m) není možné odstranit. [50, 51]

#### 16. Vjezd do obratiště Nádraží Braník

Úprava všech kolejových konstrukcí v místě vjezdu do obratiště na možnost použití hlubokých srdcovek. V přímém směru je možné zvýšit rychlost až do hodnoty 60 km/h (reálná hodnota však

bude ovlivněna maximální rychlostí průjezdu v sousedním oblouku), do odbočné kolejové větve je možné zvýšit rychlost v závislosti na použité výhybce a poloměru oblouku. Je zde ale nutné vyřešit zásadní problém v podobě zhoršených rozhledových poměrů, které by mohly způsobit srážku tramvaje odbočující do obratiště s tramvají jedoucí od Modřan ve vysoké rychlosti. Ke krytí úseku bude patrně nutné použít pražcová návěstidla.

#### 17. Obratiště Kotlářka

Úprava výhybky 567 (vjezd do obratiště zc), která v současnosti již disponuje hlubokou srdcovkou, na možnost průjezdu přímým směrem rychlostí 50 km/h. V případě rekonstrukce obratiště, při které dojde k redukci výstupních zastávek na jednu a tím i odstranění výhybky 678 (v současnosti jediná dálkově ovládaná výhybka v obratišti) je vhodné uvážit i osazení výhybky s větším poloměrem odbočení (150 m), která by umožnila vjíždět do obratiště z trati rychlostí 30 km/h. Snížení kapacity obratiště, ke kterému by redukcí výstupních zastávek došlo, by bylo možné kompenzovat úplným odstraněním nástupních zastávek v obratišti. Nástup cestujících by pak probíhal v nácestné zastávce dc. [50, 51]

#### 18. Vjezd do vozovny Motol

Úprava výhybky 568 (vjezd do vozovny zc) na typ, který dovolí instalaci hluboké srdcovky (patrně se bude jednat o výhybku s poloměrem odbočení 25 m s přímou srdcovkou), což umožní odstranit rychlostní propad a zvýšit rychlost průjezdu přímým směrem až na 50 km/h. U navazujícího křížení s protisměrnou kolejí patrně nebude s ohledem na prostorové poměry úprava možná. Úprava má také za následek snížení poloměru navazujícího oblouku vedoucího do vozovny Motol. [50, 51]

#### 19. Obratiště Sídliště Řepy

Sjezdová výhybka ve výjezdu z obratiště již hlubokou srdcovkou a patřičným poloměrem oblouku (100 m) disponuje. Nabízí se tedy zvýšit rychlost průjezdu z odbočné kolejové větve na 25 km/h. Výhybka je umístěna v nevelké vzdálenosti od nástupní zastávky Sídliště Řepy, nicméně úprava je vzhledem ke svému rozsahu (pouhé osazení návěsti) dle názoru autora ospravedlnitelná. [50, 51]

#### 20. Křižovatka nábřeží Kapitána Jaroše x Štefánikův most

Úpravy popsané v kapitole 1.7.3.3, které by umožnily průjezd v přímém směru (do zastávky Čechův most) rychlostí 50 km/h s následným zpomalením na rychlost 30 km/h do sjezdové výhybky na druhé straně křižovatky, resp. 30 km/h do odbočné kolejové větve (směrem k zastávce Dlouhá třída), kde je nutno zpomalit kvůli směrovému oblouku a kolejové konstrukci až na rychlost 15 km/h. [50, 51]

## 6. Zhodnocení efektivity a ekonomické návratnosti navrhovaných úprav

### 6.1 Úspora času

Prvním aspektem, jehož dopad bude na úsporách asi nejnápadnější, je úspora času při průjezdu přes kolejovou konstrukci. Pokud si při výpočtu definujeme stejné předpoklady, jako v kapitole 4.4, a budeme předpokládat konstrukci v přímé, můžeme průjezd přes kolejovou konstrukci rozdělit na tři části.

První částí je zpomalení z traťové rychlosti na rychlost dovolenou v kolejové konstrukci – tramvaj zde rovnoměrně zpomalí z počáteční rychlosti  $V_p$  [km/h] na rychlost v kolejové konstrukci  $V_{OR}$  [km/h], přičemž tento děj proběhne za čas  $t_B$  [s] na dráze  $s_B$  [m] s brzdným zpomalením  $a_B$  [m/s<sup>2</sup>]. Na základě kombinace vzorců 2 a 3 dostáváme pro čas a dráhu vzorce:

$$t_B = \frac{V_p - V_{OR}}{3,6 \cdot a_B} \quad (5)$$

$$s_B = \frac{V_p^2 - V_{OR}^2}{25,92 \cdot a_B} \quad (6)$$

Druhou etapou je vlastní průjezd přes kolejovou konstrukci omezenou rychlostí – zde se zjednodušeně jedná o rovnoměrný přímočarý pohyb. Tramvaj zde projíždí omezenou rychlostí  $V_{OR}$  [km/h] úsekem o délce  $s_{OR}$  [m], který definujeme jako délku samotné konstrukce  $L_{OR}$  [m], ke které musíme přičíst délku vlaku  $L_T$  [m], protože za kolejovou konstrukcí je povoleno zrychlovat teprve tehdy, když ji vlak projede celou svou délkou. Pro čas a zrychlení zde tedy platí:

$$t_{OR} = \frac{s}{v} = \frac{3,6 \cdot (L_{OR} + L_T)}{V_{OR}} \quad (7)$$

$$s_{OR} = L_{OR} + L_T \quad (8)$$

Třetím a posledním úsekem průjezdu je postupné zrychlení z omezené rychlosti přes kolejovou konstrukci na původní či novou traťovou rychlost. Přitom předpokládáme rovnoměrně zrychlený pohyb, kdy tramvaj z omezené rychlosti  $V_{OR}$  [km/h] začne zrychlovat na rychlost  $V_k$  [km/h] s rozjezdovým zrychlením  $a_R$  [m/s<sup>2</sup>], což proběhne za čas  $t_R$  [s] na dráze  $s_R$  [m]. Vzorce svou strukturou odpovídají vzorcům 5 a 6, liší se pouze dosazovanými hodnotami. Platí:

$$t_R = \frac{V_k - V_{OR}}{3,6 \cdot a_R} \quad (9)$$

$$s_R = \frac{V_k^2 - V_{OR}^2}{25,92 \cdot a_R} \quad (10)$$

Sečteme-li všechny tři části průjezdu dohromady, dostaneme celkový čas průjezdu přes kolejovou konstrukci  $t_c$  [s] a dráhu  $s_C$  [m], kterou při průjezdu tramvaj urazí. Kombinací vzorců 5, 7 a 9 tedy vznikne vzorec 11, respektive kombinací vzorců 6, 8 a 10 vzorec 12:

$$t_c = t_B + t_{OR} + t_R = \frac{V_p - V_{OR}}{3,6 \cdot a_B} + \frac{3,6 \cdot (L_{OR} + L_T)}{V_{OR}} + \frac{V_k - V_{OR}}{3,6 \cdot a_R} \quad (11)$$

$$s_c = s_B + s_{OR} + s_R = \frac{V_p^2 - V_{OR}^2}{25,92 \cdot a_B} + (L_{OR} + L_T) + \frac{V_k^2 - V_{OR}^2}{25,92 \cdot a_R} \quad (12)$$

Pokud budeme porovnávat variantu, kdy musí tramvaj před kolejovou konstrukcí zpomalit, resp. za ní zrychlit s variantou, kdy celým úsekem může projet konstantní (traťovou) rychlostí, použijeme pro výpočet doby průjezdu konstantní rychlostí  $t_p$  [s] vztah 13: [4]

$$t_p = \frac{3,6 \cdot s_c}{V_p} \quad (13)$$

V případě, že budeme porovnávat dvojici variant, kdy musí tramvaj před kolejovou konstrukcí zpomalit, resp. za ní zrychlit, pak použijeme pro každou variantu nejprve vzorec 12, přičemž pokud se budou lišit hodnoty uražené dráhy, je nutné uvažovat větší z hodnot a druhou hodnotu patřičně upravit, jinak by nebyly porovnávány stejně dlouhé úseky a srovnání jízdních dob by tedy nemělo smysl. Označíme-li takovou dvojici variant indexy  $i$  a  $j$ , přičemž platí, že  $s_{c_j} > s_{c_i}$ , pak čas průjezdu  $t_{c_j}$  spočteme klasicky dle vzorce 11, ale pro  $t_{c_i}$  je třeba k času průjezdu ještě přičíst úseky trati na začátku či konci, které doplní uraženou vzdálenost na  $s_{c_j}$ . V těchto úsecích tramvaj pojede rovnoměrným přímočarým pohybem. Pro čas průjezdu  $t_{c_i}$  tak bude platit vzorec 14:

$$t_c = \frac{3,6 \cdot (s_{B_j} - s_{B_i})}{V_p} + \frac{V_p - V_{OR}}{3,6 \cdot a_B} + \frac{3,6 \cdot (L_{OR} + L_T)}{V_{OR}} + \frac{V_k - V_{OR}}{3,6 \cdot a_R} + \frac{3,6 \cdot (s_{R_j} - s_{R_i})}{V_k} \quad (14)$$

Autor práce provedl ukázkový výpočet pro různé konfigurace traťových rychlostí a dovolených rychlostí přes výhybku, výsledky jsou zaznamenány v tabulce 3. Traťové rychlosti byly dosazovány po desítkách od 30 do 60 km/h, u dovolených rychlostí ve výhybce byla jako nejnižší hodnota stanovena běžně

dovolená rychlost 15 km/h, dále pak byly použity rovněž hodnoty od 30 do 60 km/h s krokem po deseti.

Při výpočtu byla za brzdné zpomalení  $a_B$  dosazována hodnota  $1,2 \text{ m/s}^2$  z kapitoly 4.4, pro rozjezdové zrychlení  $a_R$  byla použita hodnota  $1,35 \text{ m/s}^2$ , která odpovídá 75% hodnotě maximálního zrychlení starších typů provozovaných tramvají dle literatury a zároveň, obdobně jako u brzdného zpomalení, leží tato hodnota v intervalu mezi komfortní a rizikovou jízdou. Autor práce na základě vlastních subjektivních zkušeností nepozoruje, že by bylo běžné, aby se tramvaj rozjížděla plným zadáním jízdy (která by odpovídala plnému zrychlení), navíc u moderních tramvají, jejich maximální zrychlení autor nezná, je tato hodnota softwarově omezena s ohledem na komfort cestujících. Za délku tramvajového vlaku  $L_T$  bylo dosazováno 30 m a za délku kolejové konstrukce  $L_{OR}$  20 m. Doba jízdy je počítána na dráze 255 m, která odpovídá největšímu rychlostnímu propadu v tabulce, tedy zpomalení do výhybky na rychlost 15 km/h z traťové rychlosti 60 km/h. Výsledky jsou zaokrouhleny na celé sekundy. [3, 52]

Tab. 3: Doby průjezdu úsekem s výhybkou přepočtené na stejnou uraženou dráhu v sekundách.

		Traťová rychlost [km/h]			
		30	40	50	60
Dovolená rychlost ve výhybce [km/h]	15	38	34	32	32
	30	31	25	23	22
	40	—	23	20	18
	50	—	—	18	16
	60	—	—	—	15

Z tabulky 3 je patrné, že například pro běžnou traťovou rychlost 50 km/h dojde při nejnižší autorem navržené rychlosti 30 km/h oproti původnímu stavu (15 km/h) k úspoře přibližně 9 s, což představuje více než 25 % původně potřebného času.

## 6.2 Úspora energie

Další složku úspor představují úspory na elektrické energii vynaložené na opětovný rozjezd vozidla po průjezdu kolejovou konstrukcí. Vyjdeme-li opět z předpokladů, které byly stanoveny v kapitole 4.4,



lze výpočet značně zjednodušit. Je třeba zmínit, že výpočet se soustředí pouze na elektrickou energii vynaloženou na opětovný rozjezd, nikoliv energii vynakládanou na jízdu vozidla, resp. jeho udržení v pohybu. Dále je třeba podotknout, že výpočet nezohledňuje rekuperaci vozidel, tj. přeměnu kinetické energie vozidla při brzdění na využitelnou elektrickou energii. Důvodem je především skutečnost, že pro efektivní využití rekuperované energie je třeba, aby se ve stejném napájecím úseku nacházelo jiné vozidlo (či spotřebič, např. elektrické vytápění výhybek), které musí v tentýž okamžik energii odebírat. V opačném případě je tato energie zmařena bez užitku v brzdovém odporu tramvaje. Stanovit přesný podíl efektivně využitě rekuperované energie je s ohledem na vzájemně nezávislý pohyb vozidel prakticky nemožné, je tedy snazší předpokládat, že celkově spotřebované energie v delším časovém období bude oproti výpočtu spíše o něco méně.

K výpočtu použijeme vztah 15 pro výpočet kinetické energie  $E_k$  [J]: [4]

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad (15)$$

kde  $m$  [kg] je hmotnost a  $v$  [m/s] je rychlost. Vyjdeme ze skutečnosti, že vykonaná mechanická práce je rovna změně kinetické energie. S použitím vztahu 15 a upravením jednotek na běžně používané tak dostaneme vztah 16 pro výpočet elektrické energie potřebné k rozjezdu  $E_R$  [kWh] z nejvyšší dovolené rychlosti  $V_{OR}$  [km/h] na traťovou rychlost  $V_k$  [km/h] pro tramvajové vozidlo o hmotnosti  $m_T$  [t]: [4]

$$E_R = \Delta E_k = \frac{1}{93\,312}m_T V_k^2 - \frac{1}{93\,312}m_T V_{OR}^2 = \frac{m_T}{93\,312}(V_k^2 - V_{OR}^2) \quad (16)$$

Podobně jako v případě časové úspory bude i zde proveden ukázkový výpočet odhadované spotřeby elektrické energie na rozjezdy tramvaje z různých kombinací rychlostí. Ve výpočtu je uvažována hmotnost prázdné tramvaje  $m_T$  37 t, která má tvořit určitou střední hodnotu mezi hmotnostmi současných vozidel, která se pohybuje od hodnoty 32,5 t (spřažená dvojice vozů T3 R.P) přes 38,5 t (KT8 D5R.N2P) až po 42 t (15 T). Hodnoty spotřebované elektrické energie jsou uvedeny v kWh zaokrouhlených na setiny v tabulce 4. [3, 53]

Tabulka 4 ukazuje, že například pro běžnou traťovou rychlost 50 km/h dojde při nejnižší autorem navržené rychlosti 30 km/h oproti původnímu stavu (15 km/h) k úspoře přibližně 0,27 kWh, což představuje přibližně 30 % původní spotřeby.

Tab. 4: Elektrická energie potřebná k rozjezdu tramvaje z nejvyšší dovolené rychlosti ve výhybce na traťovou rychlost v kWh.

		Traťová rychlost [km/h]			
		30	40	50	60
Dovolená rychlost ve výhybce [km/h]	15	0,27	0,55	0,90	1,34
	30	—	0,28	0,63	1,07
	40	—	—	0,36	0,79
	50	—	—	—	0,44

### 6.3 Úspory ve vypravení

Poslední, na první pohled poněkud nenápadnou úsporou, je potenciální úspora ve vypravení, která se odvíjí od časových úspor v jednotlivých kolejových konstrukcích na trase linky. Dle tabulky 3 je při traťové rychlosti 50 km/h úspora v jedné kolejové konstrukci pojížděné rychlostí 30 km/h (oproti současným 15 km/h) asi 9 s. Vezmeme-li v potaz, že se na trasách linek nachází běžně větší množství (řádově desítky) kolejových konstrukcí a časová úspora je proměnná v závislosti na konkrétní kolejové konstrukci, lze předpokládat, že lze v jízdní době linky mezi konečnými zastávkami ušetřit asi 1–3 minuty jízdní doby v závislosti na lince a počtu a skladbě kolejových konstrukcí. Toto číslo bohužel nedosahuje hodnot linkového intervalu (špičkový interval je 4 minuty u páteřních linek, resp. 8 minut u linek běžných), což ovšem ještě nemusí znamenat, že k úspoře ve vypravení nedojde. Je třeba se zaměřit i na čas, který vlaky prostojí v konečných zastávkách. Ten je tvořen fixními a variabilními složkami.

Mezi fixní složky patří zejména minimální obratový čas, tedy čas, který je potřebný pro obrácení vlaku. Tvoří jej zejména samotný průjezd konečnou zastávkou, dále čas na kontrolu, že z tramvaje vystoupili všichni cestující, případně na další úkony spojené s obratem (např. změna stanoviště u úvratových obratišť). Minimální obratový čas je stanoven individuálně pro každou konečnou zastávku. Další fixní složkou mohou být přestávky řidiče, je-li linka provozována v režimu, kdy jsou tyto přestávky čerpány řidičem v konečné zastávce. Poslední složkou je pak časová rezerva (tzv. „vata“), která se využívá na dorovnání případných zpoždění vlaků na trase. Velikost této rezervy je pro každou linku odlišná

a odvíjí se například od délky (jízdní doby) linky či od přesnosti provozu linky v uplynulém období, která byla zohledněna v návrhu jízdního řádu.

Variabilní složka je pak tvořena časem, který musí tramvaj po uplynutí fixních složek vyčkat, aby odjížděla v intervalu za předchozím spojem. Tento čas je zdola ohraničen 0, což nastane v případě, že po uplynutí času tvořeném fixními složkami nastává přesně okamžik, kdy může tramvaj odjet na interval za předchozím spojem. Horní hranici pak tvoří hodnota intervalu zmenšená o jednu minutu, takový případ naopak nastane, pokud minutu před uplynutím fixních složek odjede předchozí spoj. Tento čas může být v případě, že je na trati z konečné zastávky provozováno více linek v prokladu, dále doplněn o podmínku, aby tramvaj krom odjezdu v intervalu po předchozím spoji téže linky odjížděla navíc v takovém čase, aby zároveň byla proložena se spoji ostatních linek.

Kombinací úspory v jízdní době a variabilních složek prostožů tramvajů v konečných zastávkách je již teoreticky možné uspořít dostatek času na to, aby z linky mohl být odstraněn jeden vlak, čímž dojde k úspoře trakční energie a zároveň personálních nákladů (souhrnně lze také mluvit o úspoře vozokm). Dále se tím zefektivní oběžná doba ostatních vlaků vypravených na linku.

## Závěr

První část práce si kladla za cíl uvést čtenáře do problematiky tramvajových konstrukcí, a to pomocí jejich podrobnějšího popisu. Ukázalo se, že tato problematika je rozsáhlejší, než si autor původně představoval, nicméně vzhledem k provázanosti jednotlivých skutečností nebylo možné popis zkrátit bez újmy na jeho celkové výpovědní hodnotě. Pro dostatečnou názornost byl popis také doplněn množstvím obrazového materiálu, fotografiemi a obrazovou přílohou popisující návěsti, které se pro označování kolejových konstrukcí používají.

Další kapitola, věnovaná srovnání pražských kolejových konstrukcí s ostatními, přinesla autorovi určité zklamání, protože z oslovených dopravních podniků jich mnoho na zaslané dotazy nereagovalo. Na druhou stranu i přes tento nezdar má tato kapitola výsledky, protože ukázala, že v jiných provozech dokázali, nebo v blízké budoucnosti dokáží posunout hranice rychlosti dále a že tedy má smysl se touto problematikou nadále zabývat.

V otázce norem a předpisů souvisejících s kolejovými konstrukcemi se rovněž ukázalo, že pomyslná hranice stále nebyla překročena a je tedy i nadále možné ji posunout kupředu.

Následně byl přednesen vlastní návrh, který nakonec nepředstavoval zcela nový nápad, spíše využil stávající koncepce rychlostních výhybek, kterou nasměroval trochu jiným směrem. Při následné konfrontaci s vybranými problémy, které jsou překážkou pro realizaci tohoto řešení, se povedlo navrhnout taková opatření, aby se i s těmito problémy dalo do budoucna vypořádat.

Jako určitý příslib do budoucna, ale zároveň pro potvrzení potenciálu samotného návrhu, byly v pražské kolejové síti vytipovány dvě desítky míst, kde by tento návrh bylo možné realizovat. Návrhy se nicméně zakládají jen na velmi obecných pozorováních, jejich konkrétní realizaci by ještě muselo předcházet podrobnější prověření, které představuje onen příslib do budoucna.

V závěrečné kapitole byl stanoven rámcový postup, jak při návrhu zhodnotit efektivitu (a tedy smysluplnost realizace) obecného návrhu. Při dosažení vzorových hodnot se potvrdilo, že realizace tohoto opatření může přinést i další, na první pohled skryté úspory.

Co se týče zhodnocení dostupných zdrojů, pak musím vyjádřit jisté zklamání, že k této problematice existuje jen velice omezené množství zdrojů, a to obvykle jen na úrovni jednotlivých dopravních podniků či výrobců kolejových konstrukcí. Značná část těchto zdrojů navíc není veřejně dostupná. Velmi cenným zdrojem se tak stali zejména provozní pracovníci – řidiči, dispečeri a další, kteří se byli ochotni podělit o část svých znalostí či materiálů souvisejících s problematikou. Autor práce do jisté míry mohl využívat i své vlastní vzpomínky, poznatky a zkušenosti, které jsou dobře dokumentovány

obrazovými přílohami pocházejícími z vlastního fotoarchivu. Velký význam měly i autorovy poznámky z přednášek z některých předmětů, které v rámci bakalářského studia na fakultě absolvoval.

Věřím, že veškeré poznatky a zjištění získaná při tvorbě této práce mohou v budoucnu použít i ve své další práci, například zpracováním návrhu konkrétní realizace navrženého opatření v jedné z vytipovaných lokalit, a to včetně následného ekonomického zhodnocení efektivity tohoto opatření.

## Použité zdroje

- [1] KUBÁT, B., J. PEJŠA, M. JACURA a O. TREŠL. *Městská a příměstská kolejová doprava*. Praha: Wolters Kluwer ČR, 2010, 352 s. ISBN 978-80-7357-539-7.
- [2] VLASÁK, J. a kol. *Výhybky a výhybková spojení*. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1983, 320 s.
- [3] LINERT, S., P. FOJTÍK a I. MAHEL. *Kolejová vozidla pražské městské hromadné dopravy*. Praha: Dopravní podnik hlavního města Prahy, 2005, 372 s. ISBN 80-239-5463-6.
- [4] ŠTOLL, I. *Mechanika*. Praha: Česká technika, 2010, 209 s. ISBN 978-80-01-04554-1.
- [5] *Dopravní a návěstní předpis pro tramvaje D1/2*. Interní předpis. 3. novelizované vyd. Praha: Dopravní podnik hlavního města Prahy, 2012.
- [6] *Dopravní a návěstní předpis pro tramvaje D1/2*. Interní předpis. 2. novelizované vyd. Praha: Dopravní podnik hlavního města Prahy, 1998.
- [7] *Postup zatahování vlaků do všech vozoven tramvajů*. Interní předpis. Praha: Dopravní podnik hlavního města Prahy, 2016.
- [8] *Palubní počítač DT-01 – návod k obsluze*. Interní dokument. Praha: Dopravní podnik hlavního města Prahy, 2010.
- [9] *Zábrzdné dráhy tramvajů typu T3 a T3 M*. Interní dokument. Praha: Dopravní podnik hlavního města Prahy, 1988.
- [10] *Zábrzdné dráhy tramvajů typu KT8 D5*. Interní dokument. Praha: Dopravní podnik hlavního města Prahy, 1990.
- [11] PENC, M. Když přijde zima do metropole: Co na to výhybky? *DP-kontakt*. Praha: Dopravní podnik hlavního města Prahy, 2013, **18**(1), s. 13. ISSN 1212-6349.
- [12] PAVLÍČEK, L. a L. ČIHÁKOVÁ. Nový typ tramvajových výhybek v Praze. *DP-kontakt*. Praha: Dopravní podnik hlavního města Prahy, 2009, **14**(3), s. 7. ISSN 1212-6349.
- [13] NEPILÝ, M. Elektricky ovládané výměny v síti Dopravního podniku hlavního města Prahy. *DP-kontakt*. Praha: Dopravní podnik hlavního města Prahy, 2009, **14**(1), s. 12–13. ISSN 1212-6349.
- [14] RYŠKA, J. Světová rarita kolejové dopravy. *DP-kontakt*. Praha: Dopravní podnik hlavního města Prahy, 2009, **14**(1), s. 28–29. ISSN 1212-6349.

- [15] ROJTOVÁ, M. Střešovice: Další autobusy na kolejích. *DP-kontakt*. Praha: Dopravní podnik hlavního města Prahy, 2016, **21**(1), s. 10. ISSN 1212-6349.
- [16] GROSSMAN, M. Ve výhybkách 15 km/h i do odbočky. *DP-kontakt*. Praha: Dopravní podnik hlavního města Prahy, 2015, **20**(11), s. 5. ISSN 1212-6349.
- [17] GROSSMAN, M. Do výhybky rychleji!. *DP-kontakt*. Praha: Dopravní podnik hlavního města Prahy, 2013, **18**(9), s. 10–11. ISSN 1212-6349.
- [18] GROSSMAN, M. Rychlovýhybka pod Letenským tunelem. *DP-kontakt*. Praha: Dopravní podnik hlavního města Prahy, 2016, **21**(9), s. 4. ISSN 1212-6349.
- [19] PENC, M. Projekt Kolo-kolejnice. *DP-kontakt*. Praha: Dopravní podnik hlavního města Prahy, 2010, **15**(4), s. 11–13. ISSN 1212-6349.
- [20] ŠUROVSKÝ, J. Vztah kolo-kolejnice u tramvají. *DP-kontakt*. Praha: Dopravní podnik hlavního města Prahy, 2009, **14**(1), s. 10–11. ISSN 1212-6349.
- [21] ČSN 28 0318. *Průjezdni průřezy tramvajových tratí*. Praha: Český normalizační institut, 2015.
- [22] ČSN 73 6405. *Projektování tramvajových tratí*. Praha: Český normalizační institut, 1996.
- [23] ČSN 73 6412. *Geometrické uspořádání koleje tramvajových tratí*. Praha: Český normalizační institut, 2017.
- [24] ČSN 73 6413. *Průjezdni průřezy tramvajových tratí*. Praha: Český normalizační institut, 1996.
- [25] Zákon č. 266/1994 Sb. o drahách, ve znění posledních předpisů (platné znění)
- [26] Vyhláška č. 173/1995 Sb. Ministerstva dopravy, kterou se vydává dopravní řád drah (platné znění)
- [27] Vyhláška č. 177/1995 Sb. Ministerstva dopravy, kterou se vydává stavební a technický řád drah (platné znění)
- [28] Výhybky. *Pražské tramvaje* [online]. [cit. 2017-08-12]. Dostupné z: <http://www.prazsketramvaje.cz/view.php?cisloclanku=2006041496>
- [29] Rychlostní výhybka. *Pražské tramvaje* [online]. [cit. 2017-08-12]. Dostupné z: <http://www.prazsketramvaje.cz/view.php?cisloclanku=&cisloclanku=2013041401>
- [30] Jednojazykové výhybky. *Pražské tramvaje* [online]. [cit. 2017-08-12]. Dostupné z: <http://www.prazsketramvaje.cz/view.php?cisloclanku=&cisloclanku=2006041497>

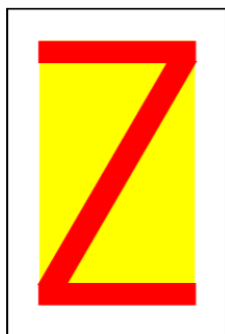
- [31] Radiově ovládané výhybky. *Pražské tramvaje* [online]. [cit. 2017-08-12]. Dostupné z: <http://www.prazsketramvaje.cz/view.php?cisloclanku=&cisloclanku=2006041278>
- [32] Elektricky ovládané výhybky návěstidla a návěsti. *Pražské tramvaje* [online]. [cit. 2017-08-12]. Dostupné z: <http://www.prazsketramvaje.cz/view.php?cisloclanku=&cisloclanku=2006041276>
- [33] Elektricky ovládané výhybky evidenční čísla. *Pražské tramvaje* [online]. [cit. 2017-08-12]. Dostupné z: <http://www.prazsketramvaje.cz/view.php?cisloclanku=&cisloclanku=2006041261>
- [34] Uzamykatelné výhybky s pomocným světelným návěstidlem evidenční čísla. *Pražské tramvaje* [online]. [cit. 2017-08-12]. Dostupné z: <http://www.prazsketramvaje.cz/view.php?cisloclanku=2010083001>
- [35] Trojcestné výhybky. *Pražské tramvaje* [online]. [cit. 2017-08-12]. Dostupné z: <http://www.prazsketramvaje.cz/view.php?cisloclanku=2011021601>
- [36] Povrchová kolejová spojka Californien. *Pražské tramvaje* [online]. [cit. 2017-08-12]. Dostupné z: <http://www.prazsketramvaje.cz/view.php?cisloclanku=2006041299>
- [37] Tramvajové výhybky. *MHD Ostrava* [online]. [cit. 2017-08-12]. Dostupné z: [http://www.mhd-ostrava.cz/?s=tramvajove\\_vyhybky](http://www.mhd-ostrava.cz/?s=tramvajove_vyhybky)
- [38] Reference: Poznan / Franowo Depot. In: *Elektroline* [online]. [cit. 2017-08-13]. Dostupné z: <http://www.elektroline.cz/references.php?page=detail&id=89>
- [39] Funkční bezpečnost EN 61508 a 61511. In: *TÜV SÜD Czech* [online]. [cit. 2017-08-18]. Dostupné z: <https://www.tuv-sud.cz/uploads/images/1233668132829346310620/2008-10.PL.Funkcni.bezpecnost.pro.net.pdf>
- [40] Mobilní přejezd. *Pražská strojírna* [online]. [cit. 2017-08-12]. Dostupné z: <http://pstroj.cz/mobilniPrejezd/>
- [41] Výhybkové systémy. *Pražská strojírna* [online]. [cit. 2017-08-12]. Dostupné z: <http://pstroj.cz/vyhybkoveSystemy/>
- [42] Výhybky. *Pražská strojírna* [online]. [cit. 2017-08-12]. Dostupné z: <http://pstroj.cz/vyhybky/>
- [43] Výměny. *Pražská strojírna* [online]. [cit. 2017-08-12]. Dostupné z: <http://pstroj.cz/vymeny/>



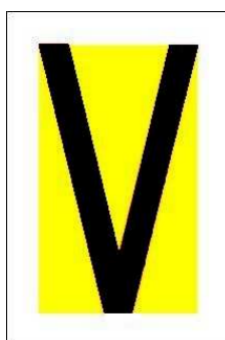
- [44] Vztah kolo-kolejnice v podmínkách tramvajového provozu. *Sdružení dopravních podniků ČR* [online]. [cit. 2017-08-12]. Dostupné z:  
<http://www.sdp-cr.cz/odborne-skupiny/odborna-skupina-tramvajove-trate/>
- [45] Pojednání o styku kola a kolejnice. *ŽelPage* [online]. [cit. 2017-08-12]. Dostupné z:  
<http://www.zelpage.cz/clanky/pojednani-o-styku-kola-a-kolejnice?lang=cs>
- [46] *Dopravní a návěstní předpis pro dvounápravové tramvaje D2/2*. Interní předpis. Praha: Dopravní podnik hlavního města Prahy, 2009.
- [47] Elektro-hydraulické a mechanické přestavníky. *Elektroline* [online]. [cit. 2017-08-12]. Dostupné z:  
<http://www.elektroline.cz/wiki.php?wp=prodprg+tram3>
- [48] VETRA communication system (EN). *Elektroline* [online]. [cit. 2017-08-12]. Dostupné z:  
[http://www.elektroline.cz/download\\_area.php](http://www.elektroline.cz/download_area.php)
- [49] Tramvajové výhybky a kolejové konstrukce pro tramvajovou dopravu. *DT – Výhybkárna a strojárna* [online]. [cit. 2017-08-12]. Dostupné z:  
<http://www.dtmv.cz/dtvs/cz/produkty/tramvajove-vyhybky/>
- [50] *Mapy.cz. Seznam* [online]. [cit. 2017-08-12]. Dostupné z:  
<http://www.mapy.cz>
- [51] Mapová služba. *Mapsnavi.com* [online]. [cit. 2017-08-12]. Dostupné z:  
<http://mapsnavi.com/cs/measure-radius.php>
- [52] HLAVOVÁ, V. *Měření jízdních manévrů vozidel hromadné přepravy osob, pro stanovení komfortní a bezpečné jízdy* [online]. Brno, 2017 [cit. 2017-08-28]. Dostupné z: [https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/67015/DP\\_Hlavova.pdf?sequence=12](https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/67015/DP_Hlavova.pdf?sequence=12). Diplomová práce.
- [53] Tramvaj ForCity Alfa Praha. In: *Škoda transportation* [online]. [cit. 2017-08-18]. Dostupné z:  
<https://www.skoda.cz/data/catalog/6/42/439.pdf>

## A. Výhybkové návěsti a návěstidla

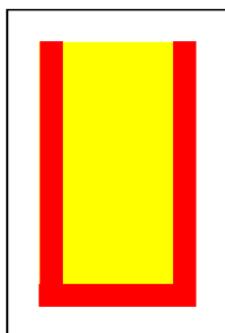
V této grafické příloze jsou znázorněny návěsti z dopravního a návěstního předpisu D 1/2 spjaté s výhybkami v pražské tramvajové síti. Uvedeny jsou všechny návěsti viditelné v běžných provozních situacích. Naopak záměrně nejsou uvedeny návěsti, které se používají při vyloučení výhybek (nebo jejich částí) z provozu nebo návěsti, které běžné výhybkové návěsti a návěstidla zneplatňují, protože se jim tato práce nevěnuje.



Obr. 30: Návěst „Zajišťovací výhybka“ (Zdroj obr.: [5]).



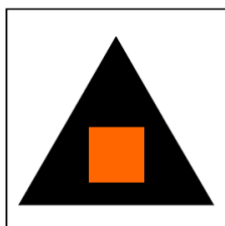
Obr. 31: Návěst „Rychlost přes výhybku“ (Zdroj obr.: [5]).



Obr. 32: Návěst „Uzamykatelná výhybka“ (Zdroj obr.: [5]).

**U07**

Obr. 33: Návěst „Číselné označení výhybky s pomocným návěstidlem“, která slouží k identifikaci výhybky a umísťuje se zpravidla pod pomocné výhybkové návěstidlo (Zdroj obr.: [5]).



Obr. 34: Návěst „Pracovní trolejový kontakt“ (Zdroj obr.: [5]).



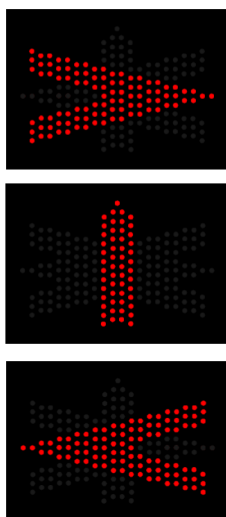
Obr. 35: Návěst „Přijímač rádiového signálu“ (Zdroj obr.: [5]).



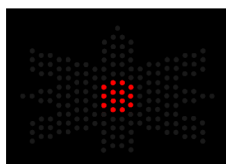
Obr. 36: Doplnková označení výhybkových návěstidel pro dvojice výhybek (Zdroj obr.: [5]).

**527**

Obr. 37: Návěst „Číselné označení dálkově ovládané výhybky“, která slouží k identifikaci výhybky a umísťuje se zpravidla pod výhybkové návěstidlo (Zdroj obr.: [5]).



Obr. 38: Návěsti „Postavení vlakové cesty vpravo/přímo/vlevo“ (Zdroj obr.: [5]).



Obr. 39: Návěst „Neurčitá vlaková cesta“ pro návěstidla dálkově ovládaných výhybek (Zdroj obr.: [5]).



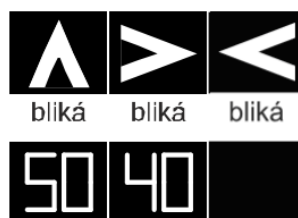
Obr. 40: Návěst „Číselné označení rychlostní výhybky“ (Zdroj obr.: [5]).



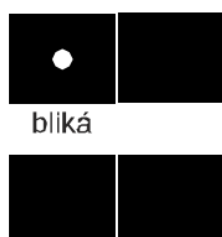
Obr. 41: Návěsti „Výzva přímo/vpravo/vlevo“. Návěst informuje řidiče tramvaje, že výhybka zaregistrovala vlak a požadavek na postavení vlakové cesty do směru, který je zobrazen na návěstidle (Zdroj obr.: [5]).



Obr. 42: Pražcové návěstidlo ohraničující kolejové obvody rychlostní výhybky, vlevo návěst „Stůj přímo“, vpravo návěst „Volno přímo“ (Zdroj obr.: [5]).



Obr. 43: Návěsti „Postavení vlakové cesty přímo/vpravo/vlevo“. Pokud je při postavení vlakové cesty zobrazeno i číslo, lze ve směru postavení vlakové cesty pokračovat přes výhybku rychlostí až do výše hodnoty zobrazeného čísla (Zdroj obr.: [5]).



Obr. 44: Návěst „Neurčitá vlaková cesta“ pro návěstidla rychlostních výhybek (Zdroj obr.: [5]).