

CERTIFIKOVANÁ METODIKA

Rozhodovací proces pro navařování a výměnu kolejnic

Autoři: doc. Ing. Otto Plášek, Ph.D., Vysoké učení technické v Brně
Ing. Miroslava Hruzíková, Ph.D., Vysoké učení technické v Brně
doc. Ing. Jana Korytářová, Ph.D., Vysoké učení technické v Brně
Ing. Miloslav Výskala, Ph.D., Vysoké učení technické v Brně

Certifikovaná metodika je výstupem z řešení projektu smluvního výzkumu HS 12557177 „Rozhodovací proces pro navařování a výměnu kolejnic“ a projektu č. LO1408 „AdMaS UP Pokročilé stavební materiály, konstrukce a technologie“ podporovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy v rámci účelové podpory programu „Národní program udržitelnosti I“.

OBSAH:

1. Úvod	3
2. Cíl metodiky	4
3. Pojmy a zkratky	4
4. Popis metodiky.....	5
5. Novost postupů a zdůvodnění metodiky	13
6. Popis uplatnění Certifikované metodiky:.....	13
7. Ekonomické aspekty	13
8. Seznam použité literatury:.....	14
9. Seznam publikací, které předcházely metodice	14

1 Úvod

Navařování kolejnic se provádí za účelem prodloužení životnosti kolejnic. Navařování svislé pojezdové plochy hlavy žlábkových kolejnic u tramvajových tratí řeší technologický postup TP 9701 „Navařování opotřeбенých svislých ploch hlavy kolejnic automatem pod tavidlem“.

Rozhodování o navařování nebo výměně kolejnice je komplexní činnost ovlivňována mnoha parametry, které je žádoucí vzít do úvahy, jelikož mají vliv na cenu navrženého opatření, na životnost konstrukce, na efektivitu návrhu, na budoucí náklady na údržbu, apod.

2 Cíl metodiky

Tato metodika poskytuje návod, jak při rozhodování o navařování nebo výměně kolejnic postupovat, které faktory při rozhodovacím procesu vzít do úvahy. Posuzuje vhodnost navařování s ohledem na technické požadavky a finanční porovnání.

3 Pojmy a zkratky

Pojmy:

Jsou vysvětleny dále v textu této metodiky.

Zkratky:

DPmB	Dopravní podnik města Brna
LCC	Life Cycle Cost (náklady životního cyklu)
MHD	městská hromadná doprava
MS	Microsoft
VUT	Vysoké učení technické

4 Popis metodiky

4.1 Přehled vlivů vstupujících do rozhodovacího procesu

Uveden je přehled faktorů, které ovlivňují opotřebení kolejnic, proces navařování kolejnic či jejich výměnu. Při rozhodování o volbě navařování nebo výměně kolejnice je žádoucí vzít uvedené faktory do úvahy, jelikož mají vliv na cenu navrženého opatření, na životnost konstrukce, na efektivitu návrhu, na budoucí náklady na údržbu, apod. Faktory jsou rozděleny do systematických skupin.

- Kolejnice
 - Tvar (širokopatní, žlábková)
 - Materiál (jakost a kvalita oceli)
 - Stáří, předpokládaná životnost
 - Míra a tvar deformace (ojetí)
 - Předchozí úprava hlavy kolejnice
 - Kolejnicové vady
- Tramvajový svršek
 - Kryt (typ, rozebíratelnost, aktuální technický stav)
 - Kolejové lože nebo pevná jízdní dráha
 - Stáří konstrukce
 - Předpokládaná životnost
 - Použití bokovnic a jejich typ
- Tramvajový spodek
 - Aktuální technický stav
- Geometrické parametry koleje
 - Směrové poměry (poloměr oblouku)
 - Sklonové poměry (sklon nivelety)
 - Převýšení koleje
 - Nedostatek (resp. přebytek) převýšení koleje
- Lokalita
 - Dostupnost
 - Sdružené zemní těleso s pozemní komunikací (pojždění/nepojždění silničními vozidly)
 - Běžná trať nebo výhybka

- Provoz
 - Provozní zatížení, zatížení na nápravu
 - Pískování
 - Rychlost
 - Úsek s častým rozjížděním a brzděním souprav
 - Frekvence (hustota) dopravy
 - Možnosti výluky
 - Typy vozidel pojíždějící úsek (např. homogenní provoz x různé typy souprav, parametry vozidel)
- Navařování
 - Metoda navařování
 - Materiál použitý pro navařování
 - Rozsah navařování
 - Opakovatelnost (předchozí úprava hlavy kolejnice)
- Výměna kolejnic
 - Použitá mechanizace
 - Technologie prací

4.2 Struktura rozhodovacího procesu

Rozhodovací proces je rozdělen do tří vrstev. První vrstva obsahuje „vylučující kritéria“, kterými lze vyloučit jednu z variant (výměnu kolejnice nebo navaření kolejnice). Jedná se o kritéria, která v procesu rozhodování stojí nejvýše, jimiž lze jednoznačně vyloučit výměnu nebo navaření kolejnice z hlediska technického či ekonomického. V dalším kroku lze do rozhodování zařadit „kontrolní kritéria“, což jsou doplňující kritéria, kterými lze přesněji stanovit efektivitu a hospodárnost zvoleného řešení. Kontrolní kritéria slouží pro podrobný technický rozbor. Může se stát, že se podrobnějším rozbohem dojde k jinému závěru než v prvním kroku. V případě, že předchozí kroky nevedou k jednoznačnému doporučení, je nezbytné do rozhodovacího procesu zahrnout také ekonomický rozbor.



Obr. 1 – Zjednodušené schéma rozhodovacího procesu



Obr. 2 – Přehled základních kritérií rozhodovacího procesu

4.3 Vylučující kritéria

Vylučující kritéria leží v nejvyšší vrstvě rozhodovacího procesu. Mají za úkol vyřadit jednu z možných variant opravy (navaření nebo výměnu kolejnice). Jedná se o kritéria, která jednoznačně zapovídají použití jedné z variant, a to z důvodu technického, případně ekonomického, kdy použití jedné varianty je značně nevhodné, neefektivní nebo přímo nemožné.

Jakost kolejnicové oceli

- Materiál žlábkových kolejnic vhodný pro navařování: UIC 700 (75 ČSD-Vk, R220), 85 ČSD-Vk, UIC 900 A (95 ČSD-Vk, R260)
- Materiál srdcovek vhodný pro navařování: 90 ČSD-Vk, 42 2711, UIC 900 A (95 ČSD-Vk, R260), UIC 866
- Materiál jazyků výhybek vhodný pro navařování: UIC 900 A (95 ČSD-Vk, R260), 14 331, 11 600, UIC 866

Opotřebení hlavy kolejnice

- Maximální boční opotřebení žlábkových kolejnic vhodné pro navařování: 10 mm
- Maximální opotřebení jazyků výhybek vhodné pro navařování: 15 mm
- Rozsah (plocha) určená pro navaření: efektivitu navařování stanoví technolog svařování
- Opravitelnost vady: smysluplnost opravy vady navařením stanoví technolog svařování

Předchozí úprava kolejnice

- Maximální počet navaření kolejnice v běžné koleji: 3x
- Maximální počet navaření srdcovky výhybky: 10x
- Maximální počet navaření jazykové kolejnice: 2x

Lokalita

- Dotčený úsek se ne/nachází v místě dopravně vytíženém (centrum, dopravní uzel), které nelze zatížit výlukou koleje.

Teplota

- Přípustná minimální teplota vzduchu (u kolejnice) pro navařování: +5°C

4.4 Kontrolní kritéria

Kontrolní kritéria slouží pro podrobný rozbor daného stavu. Rozšiřují vylučující kritéria. Představují skupinu faktorů, které mají na rozhodování o navaření kolejnice významný vliv. Zpřesňují a propracovávají rozhodovací proces.

Na následujících řádcích jsou uvedeny oblasti, které je potřeba v rozhodovacím procesu vzít do úvahy. U každého faktoru je následně uvedena poznámka, která blíže specifikuje jeho vliv.

Kryt tramvajové trati

- Tramvajová trať bez krytu x s krytem

Pozn.: Přítomnost krytu zvyšuje náklady na výměnu kolejnice.

- Typ tramvajového krytu

Pozn.: Typ krytu rozhoduje o náročnosti prací při jeho rozebírání a položení. Např. zákrytové panely a dlažba jsou rozebíratelné a dají se do koleje zpětně vrátit; asfaltový kryt není rozebíratelný, musí se položit nový.

- Stav tramvajového krytu

Pozn.: Rozhoduje u rozebíratelných krytů, které lze vrátit zpět do koleje. Míra poškození prvků krytu zvyšuje náklady na opravu.

Kolejnice

- Stav kolejnic – míra opotřebení

Pozn.: Posoudí se velikost ojetí kolejnice (boční ojetí, ojetí žlábků) a rozsah (délka) opotřebení. Technolog svařování doporučí (ve vztahu k vyhodnocení dalších kritérií) efektivitu navařování.

- Stav kolejnice – vady

Pozn.: Kolejnice jsou zatíženy takovými vadami, které neumožňují jejich navaření. Potřeba úpravy kolejnice před jejím navařením (např. broušení kolejnic při výskytu vlnovitosti nebo skluzových vln).

- Rozchodnice

Pozn.: Jsou-li ve svršku rozchodnice, je potřeba počítat se složitější demontáží, případně pak s opětovným osazením rozchodnic (v případě použití principiálně stejné konstrukce svršku).

- Bokovnice

Pozn.: Kolejnice mohou být opatřeny bokovnicemi, které je potřeba při výměně kolejnic z kolejnic sundat a/nebo na kolejnice osadit. Typ bokovnice (způsob jejího osazení na kolejnici) předurčuje časovou náročnost práce.

Životnost (stav) koleje

- Životnost kolejnice určené k opravě

Pozn.: V případě, že je kolejnice na konci své životnosti zvážit efektivitu navařování oproti výměně kolejnice.

- Životnost koleje

Pozn.: V případě špatného podloží nebo tramvajového svršku zvážit rekonstrukci koleje v odpovídajícím rozsahu. Tramvajový svršek je na konci své životnosti, případně některé součásti svršku jsou ve špatném stavu. Je žádoucí plánovat výměnu kolejnic současně s výměnou jiných součástí koleje.

Lokalita

- Místa vykazující větší míru opotřebení kolejnice

Pozn.: V místech častého brzdění a rozjíždění (např. zastávky), v místech s větší hodnotou nedostatku nebo přebytku převýšení (např. směrové oblouky, ve kterých se nevyužívá traťové rychlosti) apod. jsou kolejnice více namáhané. Je žádoucí zvážit efektivitu zvoleného řešení, možnosti použití jiného materiálu pro navaření nebo jiné technologie (viz tvrdonávar), případně výměnu kolejnice z kolejnicové oceli jiných vlastností (s ohledem na větší opotřebení kolejnice a/nebo účinnější navařování).

- Dostupnost

Pozn.: Omezená (ztížená) dostupnost pro zvolenou technologii či mechanizaci (např. z důvodu směrových nebo sklonových poměrů, převýšení koleje, omezení nasazení nedrážní techniky apod.).

- Běžná trať x výhybka

Pozn.: V oblasti výhybky je výměna kolejnic (části nebo celé výhybky) náročnější a dražší.

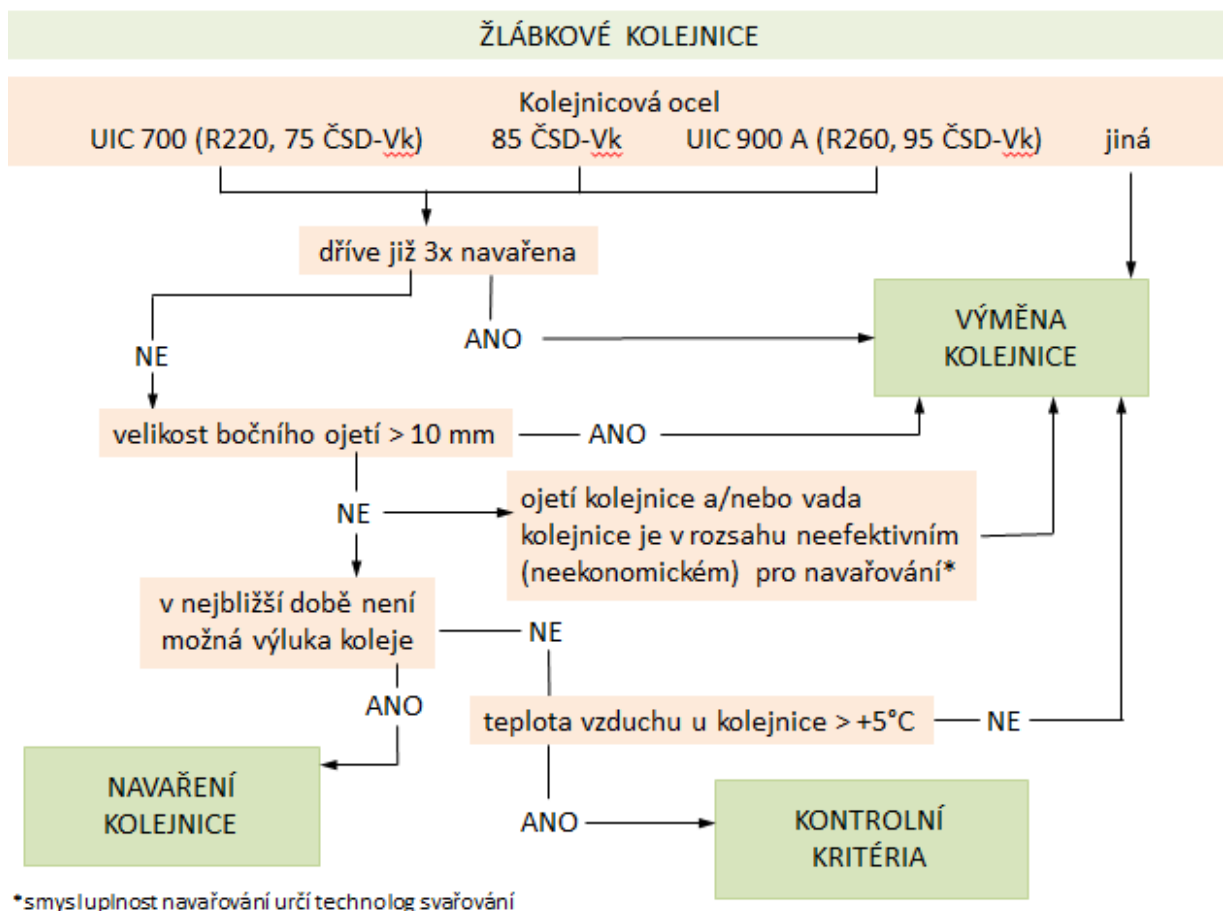
Provoz

- Dopravní vytížení, výluka

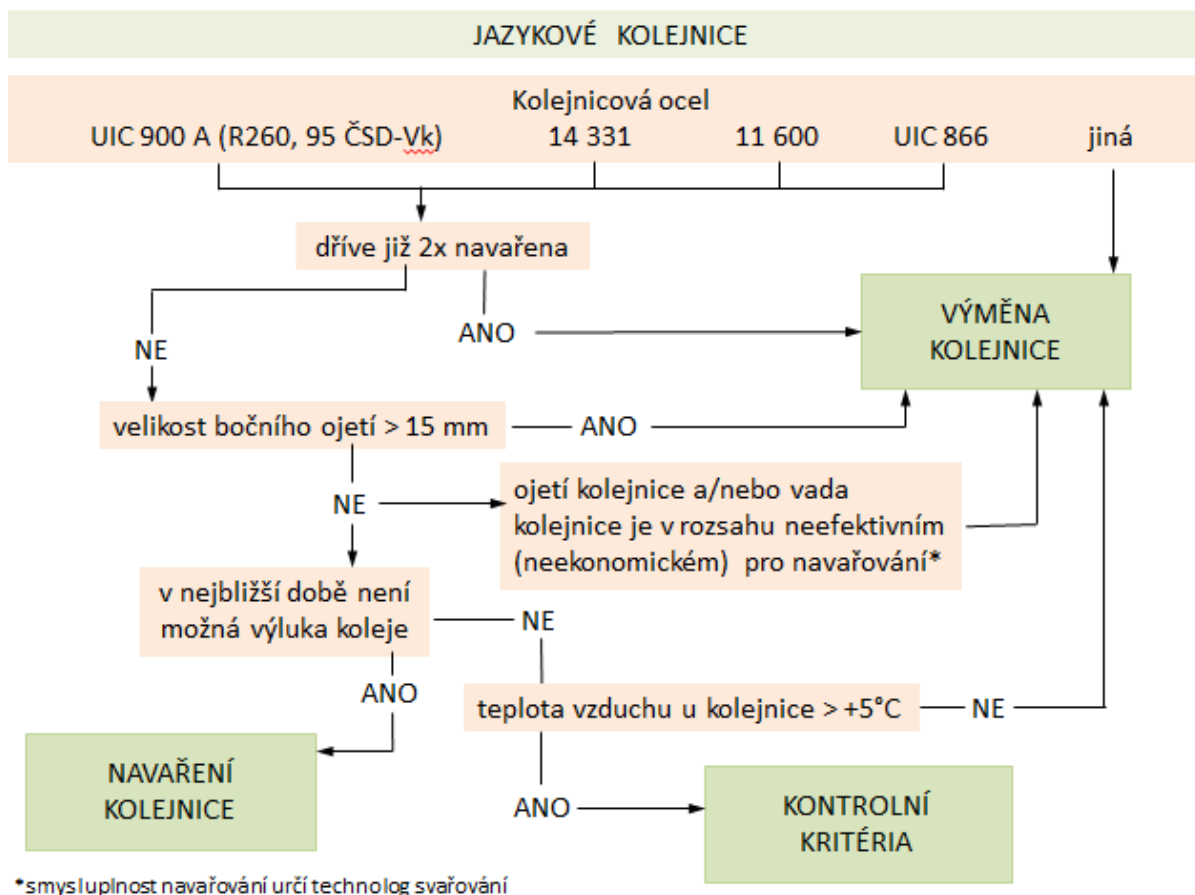
Pozn.: Úsek se nachází v dopravně exponovaném místě s vysokým dopravním zatížením kolejovou dopravou, v místě dopravního uzlu. V dané lokalitě je vysoká intenzita nekolejové dopravy s možností pojiždění tramvajového pásu. Uzavření tramvajového pásu by mělo významný vliv na omezení automobilové dopravy.

Na Obr. 3 a Obr. 4 je uvedeno schéma rozhodovacího stromu pro navařování, případně výměnu žlábkové a jazykové kolejnice.

Jedná se o příklad možného postupu, který je možné podle potřeby doplnit nebo upravit. Do procesu vstupuje řada faktorů, které mají na výsledné stanovisko vliv. V mnoha případech nelze dané kritérium paušalizovat a stanovit konkrétní míru vhodnosti pro danou technologii (navářování nebo výměnu). Řada kritérií spolu vzájemně souvisí a ovlivňují se navzájem. Nelze tedy stanovit konkrétní hodnoty, rozsah či situaci bez zvážení dalších souvislostí.



Obr. 3 Příklad rozhodovací strom pro navařování nebo výměnu žlábkových kolejnic



Obr. 4 Příklad rozhodovací strom pro navařování nebo výměnu jazykových kolejnic

4.5 Ekonomické zhodnocení

Ekonomické posouzení variant technického provedení tramvajových tratí je zpracováno na základě výpočtu nákladů životního cyklu (Life Cycle Cost, LCC).

Výši celkových nákladů životního cyklu stavby lze stanovit následujícím vztahem.

$$LCC = \sum_{i=0}^n \frac{1}{(1+r)^i} \sum_{j=1}^t C_{ij} \quad (1)$$

kde LCC jsou náklady životního cyklu stavby v Kč, C_{ij} je j -tý náklad spojený s technickými parametry stavby v i -tém roce v Kč, i je rok, ve kterém vzniká náklad, n je délka životního cyklu stavby v letech a r je diskontní sazba v %/100.

Při stanovení LCC v konkrétním případě se postupuje takto:

- 1) ověří se hodnota diskontní sazby r
- 2) stanoví se délka životního cyklu n , tj. rok, ve kterém se LCC vyhodnotí

- 3) pro každou hodnocenou variantu a každý rok i až po rok n se stanoví náklady c_{ij} , které mohou být:
- pořizovací náklady pro výměnu kolejnic pro příslušnou variantu trati podle Tab. 1; pořizovací náklady jsou vyčísleny na základě ocenění výkazu výměr, jednotkové ceny se váží k měrné jednotce, která je u jednotlivých položek rozpočtu uvedena, pořizovací náklady jsou uvažovány v roce 0;
 - náklady na rekonstrukci; v roce ukončení životnosti jsou pořizovací náklady zvýšeny o 30 % - demontáže stávající tratě, koeficient rekonstrukce je tedy uvažován jednotně ve výši 1,3;
 - náklady na údržbu, neuvažují se v roce pořízení a v roce rekonstrukce; roční náklady na opravy a udržování jsou počítány jako 2,5 % z pořizovací ceny; výši je možné upravit podle získaných podkladů;
 - náklady na navařování kolejnic podle **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**;
 - náklady na údržbu vegetačního krytu; náklady na provoz jsou zvýšeny o nutnou závlahu.

- 4) pro hodnocenou variantu se všechny náklady c_{ij} v daném roce i sečtou

$$\sum_{j=1}^t C_{ij} \quad (2)$$

- 5) ze součtu nákladů za každý rok se vypočtou diskontované náklady podle vzorce

$$\frac{1}{(1+r)^i} \sum_{j=1}^t C_{ij} \quad (3)$$

- 6) sečtou se diskontované náklady za celé sledované období podle vzorce (1)

$$LCC = \sum_{i=0}^n \frac{1}{(1+r)^i} \sum_{j=1}^t C_{ij} \quad (4)$$

- 7) postup podle 4) až 6) se opakuje pro všechny hodnocené varianty
 8) zvolí se varianta, jejíž LCC jsou za hodnocené období nejmenší

Tab. 2 Pořizovací náklady tramvajových tratí cenové úrovně II/2015 (dle údajů DPmB)

P. č.	Popis varianty tramvajové trati	Základní rozpočtové náklady v Kč/m	Vedlejší rozpočtové náklady v Kč/m	Náklady celkem bez DPH v Kč/m	Náklady celkem vč. 21 % DPH v Kč/m
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
001	s otevřeným krytem	10 748	484	11 232	13 591
002	se zádlažbovými panely	23 618	1 063	24 681	29 864
003	s asfaltovým krytem	18 318	824	19 142	23 162
004	se štěrkovým zásypem	11 972	539	12 511	15 138
005	se zatravněním	12 701	571	13 272	16 060
006	s navařovanými kolejnicemi do 10 mm	3 750	168	3 919	4 742
007	s navařovanými kolejnicemi do 20 mm	6 151	276	6 427	7 777

5 Novost postupů a zdůvodnění metodiky

Jedná se o zcela nový postup, který doposud nebyl nikde uplatněn.

Metodika je zaměřena na hodnocení efektivnosti navařování kolejnic ve vztahu k alternativnímu řešení výměny kolejnic. Definuje hodnotící kritéria ovlivňující rozhodovací proces – jedná se o faktory ovlivňující opotřebení kolejnic, proces navařování kolejnic či jejich výměnu. Uvedené faktory mají vliv na cenu navrženého opatření, na životnost konstrukce, na efektivitu návrhu, na budoucí náklady na údržbu, apod.

6 Popis uplatnění certifikované metodiky

Záměrem metodiky je poskytnout nástroj pro efektivní řízení údržbových prací tramvajových tratí s ohledem na hospodárnost prací. Metodika se zaměřuje na problematiku navařování kolejnic versus výměna kolejnic. Hodnotí, zda je navařování kolejnice ještě efektivní a není ztrátové.

Certifikovaná metodika se uplatní u provozovatelů nebo správců infrastruktury tramvajových drah.

7 Ekonomické aspekty

Zavedení této metodiky nevyžaduje pořízení speciálních vyhodnocovacích softwarů. Vyhodnocení je možné provádět běžným kancelářským softwarem (MS Excel apod.).

Ekonomický přínos spočívá ve snížení nákladů životního cyklu tramvajové tratě. Úspory LCC v důsledku správné volby mohou činit ve dvacátém roce životnosti konstrukce tramvajové trati až 10 % pořizovacích nákladů, což znamená úsporu 1.000 – 2.400 Kč na 1 m délky koleje, viz zpráva [1].

8 Seznam použité literatury

[1] PLÁŠEK O., KORYTÁROVÁ J., HRUZÍKOVÁ M., VÝSKALA M.: *Rozhodovací proces pro navařování a výměnu kolejnic*. Závěrečná zpráva. Vysoké učení technické v Brně, 2015.

9 Seznam publikací, které předcházely metodice

1. Renoweld, a.s. Technologický postup 9701 *Navařování opotřebených svislých ploch hlavy kolejnic automatem pod tavidlem*. 1999. 4 str.
2. Sdružení dopravních podniků ČR. *T1/2 Předpis pro svářečské práce na součástech kolejového svršku MHD*. 2009, 3. vydání. 15 str., 35 p.
3. Fakulta stavební, VUT v Brně. *Studie konstrukce trati tramvajové dráhy z hlediska ochrany okolí dráhy proti emisím hluku a vibrací od kolejové dopravy*. Závěrečná zpráva. 2009. 76 str., 3 p.