



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV ŽELEZNIČNÍCH KONSTRUKCÍ A STAVEB

INSTITUTE OF RAILWAY STRUCTURES AND CONSTRUCTIONS

**ZAČLENĚNÍ TRAMVAJOVÉ TRATĚ S VEGETAČNÍM
KRYTEM DO VEŘEJNÉHO PROSTORU MĚSTA BRNA**

INTEGRATION OF A TRAM LINE WITH A VEGETATION COVER INTO THE PUBLIC AREA
OF BRNO

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. David Foldyna

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. OTTO PLÁŠEK, Ph.D.

BRNO 2020



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3656 Městské inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program
Studijní obor	3656T025 Městské inženýrství
Pracoviště	Ústav železničních konstrukcí a staveb

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. David Foldyna
Název	Začlenění tramvajové tratě s vegetačním krytem do veřejného prostoru města Brna
Vedoucí práce	doc. Ing. Otto Plášek, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2019
Datum odevzdání	10. 1. 2020

V Brně dne 31. 3. 2019

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

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Digitální mapa města Brna (polohopisné a výškopisné zaměření)

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

ČSN 73 6405 Projektování tramvajových tratí

ČSN 28 0318 Průjezdny průřezy tramvajových tratí a obrysy pro vozidla provozovaná na tramvajových dráhách

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

Doporučené veřejně přístupné informační zdroje:

<http://www.greener-cities.eu/>

projekt HOSANNA

<https://www.railway-technology.com/projects/athens-trams/>

Athens Trams Project in Greece by Sirio LRV

<https://www.edilonsedra.com/>

edilon)(sedra GRASS TRACK

<https://www.brens.cz/>

absorbéry BRENS

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Základní požadavky:

- zpracovat přehled dosavadních systémů "zelených tramvajových tratí" v Evropě, zejména v Německu, Rakousku, Francii, Řecku, Španělsku a v Česku;
- analyzovat výhody a nevýhody jednotlivých konstrukčních řešení stavby dráhy ve vztahu na udržitelnost vegetačních pokryvů v podmínkách městského klimatu;
- stanovit ekonomická kritéria pro intenzivně a extenzivně udržované vegetační plochy a pro plochy s umělým travním kobercem;
- vypracovat konkrétní dispoziční a stavebně-technický návrh zklidnění prostoru ulice Nové sady mezi křižovatkami s ulicemi Hybešovou a Křídlovickou - začlenění stávající vzrostlé zeleně do nového, funkčního, vegetačního a parkově uspořádaného prostoru městského bulváru a to na úrovni úvodní studie.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá problematikou tramvajových tratí s vegetačním krytem. Rešeršní část této práce obsahuje přehled současných systémů zelených tramvajových tratí v Evropě a jejich výhod a nevýhod s ohledem na udržitelnost vegetačního krytu. V praktické části jsou porovnány 3 konstrukční varianty zelené trati na konkrétním úseku v Brně na ulici Nové Sady. Porovnávány jsou nízkoúdržbové a intenzivně pěstované druhy vegetace jak z hlediska finančního, tak i z hlediska ekologických přínosů a dalších nefinančních kritérií. Pro toto porovnání byla použita analýza nákladů životního cyklu a multikriteriální analýza.

KLÍČOVÁ SLOVA

Zelená tramvajová trať, retence dešťové vody, rozchodník, extenzivní porost, intenzivní porost, syntetický recyklát, kolejový absorbér hluku, multikriteriální analýza, analýza nákladů životního cyklu

ABSTRACT

This diploma thesis deals with problematics of tram tracks with vegetation cover. The research part of the work contains the overview of currently used systems of green tram tracks in Europe and their advantages and disadvantages with respect to sustainability of a vegetation cover. 3 different variations of a green tram track at a particular location in Brno at Nové Sady street are compared in the second part of the thesis. The low maintenance vegetation and intensively planted vegetation are compared from both financial and ecological points of view. Life cycle costs analysis and multicriterial analysis were used for the comparison.

KEYWORDS

Green tram track, rainfall retention, Sedum, extensive planting, intensive planting, synthetic recylate, rail noise absorber, multicriterial analysis, life cycle costs analysis

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. David Foldyna *Začlenění tramvajové tratě s vegetačním krytem do veřejného prostoru města Brna*. Brno, 2019. 71 s., 43 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav železničních konstrukcí a staveb. Vedoucí práce doc. Ing. Otto Plášek, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Začlenění tramvajové tratě s vegetačním krytem do veřejného prostoru města Brna* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 9. 1. 2020

Bc. David Foldyna
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Začlenění tramvajové tratě s vegetačním krytem do veřejného prostoru města Brna* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 9. 1. 2020

Bc. David Foldyna
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Ottovi Pláškoví, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a vstřícný přístup při zpracovávání mé diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat Janu Eisenreichovi za cenné rady a poskytnuté materiály, Ing. Janu Valehrachovi za poskytnuté podklady a konzultace, doc. Ing. Vítu Hromádkovi, Ph.D. za pomoc s ekonomickými analýzami, a společnosti edilon)(sedra za ochotu a pomoc při získávání podkladů. V neposlední řadě bych rád poděkoval své rodině a přítelkyni za podporu po celou dobu mého studia.

OBSAH

1	ÚVOD.....	1
2	ZELENÉ TRAMVAJOVÉ TRATĚ	2
2.1	Typy tratí	2
2.1.1	Typy zeleně.....	2
2.1.2	Rozdělení podle výšky vegetace	4
2.1.3	Technologie	5
2.2	Funkce a požadavky na zelené tramvajové tratě	7
2.2.1	Údržba.....	7
2.2.2	Izolace kolejnic.....	9
2.2.3	Estetická funkce	11
2.2.4	Zlepšení mikroklimatu	12
2.2.5	Retence dešťové vody	13
2.2.6	Odvodnění.....	15
2.2.7	Snižování hluku.....	15
2.2.8	Zachycování polétavého prachu.....	16
2.2.9	Sjízdnost pro záchranná vozidla.....	17
2.2.10	Zastávky	19
2.3	Problémy.....	19
3	SOUČASNÉ SYSTÉMY ZELENÝCH TRAMVAJOVÝCH TRATÍ	21
3.1	Brens STERED.....	22
3.1.1	Ostrava.....	24
3.1.2	Košice	26
3.2	Edilon Sedra.....	26
3.2.1	edilon)(sedra Kassel	26
3.2.2	edilon)(sedra USTS-Infundo	27
3.2.3	edilon)(sedra Mannheim-light a Poznan	30
3.2.4	edilon)(sedra EBS.....	30
3.3	INPLACE.....	31
3.4	RHEDA CITY GREEN	32
3.5	ATD-G.....	33
3.6	Pandrol QTrack	34
3.6.1	Instalace.....	35
3.6.2	Použití.....	36
3.7	Další příklady zelených tratí v Evropě	37
3.7.1	Vídeň	37
3.7.2	Freiburg.....	38

4	NÁVRH ZELENÉ TRAMVAJOVÉ TRATI NA NOVÝCH SADECH.....	40
4.1	Současný stav.....	40
4.2	Navrhovaný stav.....	41
4.2.1	Varianta A - travnatý kryt.....	42
4.2.2	Varianty B a C - kolejové absorbéry hluku BRENS STERED s rozchodníky.....	44
5	EKONOMICKÉ POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH VARIANT	46
5.1	LCC.....	46
5.1.1	Varianta A – travnatý kryt a luční porost	46
5.1.2	Varianta B – kolejový absorbér s rozchodníky a extenzivní trávník.....	46
5.1.3	Varianta C – kolejový absorbér s rozchodníky a štěrková zahrada	47
5.2	Vliv na životní prostředí.....	48
5.2.1	Metodika hodnocení	48
5.2.2	Ohodnocení jednotlivých kritérií	49
5.2.3	Přidělení vah jednotlivým kritériím	58
5.2.4	Výsledky multikriteriální analýzy	58
6	ZÁVĚR.....	61
7	POUŽITÁ LITERATURA.....	62
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	66
	SEZNAM TABULEK	67
	SEZNAM OBRÁZKŮ	68
	SEZNAM PŘÍLOH.....	71

1 ÚVOD

Tramvajové tratě mají jako prakticky jediná městská dopravní plocha potenciál kladně ovlivnit životní prostředí. Díky tomu, že tvoří poměrně významnou plochu v rámci městského prostoru, mohou do určité míry zlepšit kvalitu městského života, jelikož je lze opatřit vegetací a vytvořit tak tzv. „zelené tramvajové tratě“. Tyto tratě jsou od 80. let postupně budovány v Evropě i po celém světě a mají celou řadu výhod, od snížení hluku a prašnosti až po zachytávání dešťové vody. Tyto ekologické problémy jsou obzvláště v dnešní době a současných klimatických podmínkách velmi aktuální. Druhou stránkou věci jsou ovšem ekonomické nároky na konstrukci a údržbu zelených tratí.

Cílem této práce je shrnout používané systémy zelených tratí v Evropě, porovnat výhody a nevýhody zvolených konstrukcí, stanovit ekonomická kritéria pro jednotlivé druhy vegetačních krytů a navrhnout různé technologické varianty a aplikovat je na úseku trati v Brně na ulici Nové sady mezi křižovatkami s ulicemi Hybešovou a Křídlovickou. Jednotlivé technologické varianty budou mezi sebou porovnány a v návaznosti na zjištěné skutečnosti bude vybrána nejvhodnější varianta vegetačního krytu tramvajové trati na posuzovaném úseku při zohlednění finančních nákladů i nefinančních přínosů, týkajících se zejména vlivu na životní prostředí.

První, teoretická část práce se obecně věnuje shrnutí důvodů pro realizaci zelených tramvajových tratí a jejich výhod. Zabývá se požadavky na údržbu zelených tratí z hlediska z technického i ekonomického hlediska a také zpracovává přehled dosavadních systémů "zelených tramvajových tratí" v Evropě. Tato část práce obsahuje rovněž porovnání výhod a nevýhod jednotlivých typů konstrukce a systémů, zejména ve vztahu k udržitelnosti vegetačních pokryvů v podmínkách městského klimatu a k finančním nákladům.

Praktická část práce je zaměřena na návrh 3 technologických variant zelené tramvajové tratě na konkrétním úseku v Brně na ulici Nové Sady. Navržené varianty jsou mezi sebou následně ekonomicky porovnány s ohledem na investiční náročnost i ekologické přínosy jednotlivých typů konstrukcí. Pro porovnání je využita metoda nákladů životního cyklu a multikriteriální analýza. Výsledkem je volba nejvýhodnějšího typu konstrukce zelené trati na daném úseku. Přílohou práce je výkresová dokumentace obsahující vzorové příčné řezy a situační výkresy architektonického a technického řešení jednotlivých variant a položkový rozpočet pro jednotlivé varianty vegetačních úprav. V závěru práce jsou shrnuty zjištěné poznatky a popsána v současné době nejvhodnější technologická varianta na daném úseku trati.

2 ZELENÉ TRAMVAJOVÉ TRATĚ

Zelenou tratí rozumíme tramvajovou trať s vegetačním krytem. Ten může být tvořen různými druhy vegetace, jako jsou druhy trávy nebo rozchodníků, nebo také umělým trávnikem. Tyto tratě, které dělíme podle různých kritérií, mají své specifické požadavky a přínosy pro městské mikroklima. Snažíme se je navrhovat tak, aby zadržely co nejvíce vody ideálně v co nejtenčí vrstvě zeminy, splňovaly bezpečnostní a technologické požadavky, a to při minimalizaci nákladů na údržbu. Vždy je nutné vycházet z lokálních podmínek v místě realizace.

2.1 TYPY TRATÍ

Zelené tratě můžeme rozdělit podle druhu vegetace, podle výšky vegetace a typu konstrukce. Každý typ má své výhody a nevýhody a jeho využití se hodnotí dle místních podmínek a požadavků.

2.1.1 Typy zeleně

Jako vegetační kryt trati se používá zpravidla tráva, nebo rozchodníky rodu *Sedum*. Další možností je použití umělého trávniku. Například v Německu bylo v roce 2009 90% zelených tramvajových tratí s travnatým krytem a 10% s krytem z rozchodníků [1]. Typ vegetace volíme podle místních podmínek, jako je množství osob přecházejících po trati, množství srážek nebo podle požadovaného estetického výsledku. Dalším důležitým kritériem pro výběr vegetace jsou náklady na údržbu, zejména zavlažování a sekání.

2.1.1.1 Přírodní trávník

Mezi výhody trávníků patří snadnost výsevu či pokládky v průběhu téměř celého roku, okamžitý estetický přínos a vysoká hustota porostu. Jsou odolné vůči omezenému přecházení chodci. Nevýhodou je možnost degradace trávniku v důsledku nedostatečného nebo špatného zavlažování a náročnější údržba [2]. Trávník dělíme na intenzivně a extenzivně pěstovaný. Intenzivně pěstovaný trávník vyžaduje stálou údržbu, jako je sekání a zavlažování. Extenzivně pěstovaný trávník potřebuje minimálně 15 cm substrátu kvůli dostatečné kapacitě pro zachycování vody [1]. Jestliže je tato vrstva tenčí, při delším suchu začne trávník degradovat a odumírat. V tomto případě může být na suchých místech spontánně nahrazen odolnými plevely. Přírodní trávník bez zavlažování tedy není vhodné používat na tratě s klasickou konstrukcí s pražci, kde nelze dosáhnout vyšší tloušťky substrátu než 14,5 cm [1]. Druhové složení trávniku závisí na místních podmínkách. Obvykle se používá směs travin (přes 90%) a bylin. Často se používají různé druhy kostřav (Obrázek 2.1), moskytovka převislá nebo štírovník růžkatý [2].



Obrázek 2.1 Kostřava červená [3]

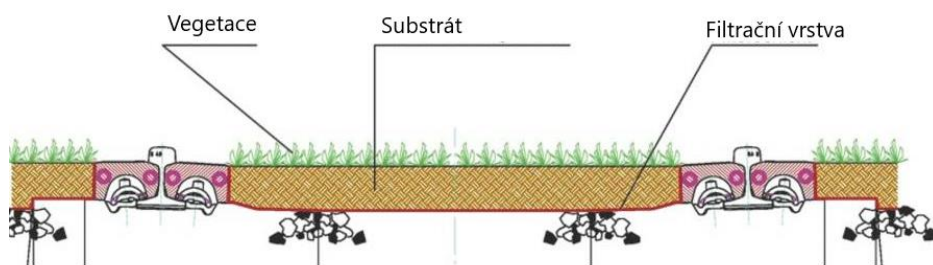
Trávník lze pokládat více způsoby. Prvním způsobem je klasické vysévání semen do speciálního substrátu. Mezi výhody patří nízká cena a velký výběr druhů, nevýhodou je dlouhá

dobu růstu a náročnost (zalévání, teplo, nesmí se přecházet). Hrozí také ztráta semen kvůli větru nebo ptactvu. Nevhodné je také použití tohoto způsobu pokládání trávníku ve větším podélném sklonu trati, odkud mohou být semena snadno odplavena [4].

Druhým způsobem pokládky jsou travní koberce – tenké pásy s vypěstovaným travním drnem. Ty jsou ideálně použitelné právě v místech, kde není vhodný setý trávník, jako jsou větrná a svahovitá místa. Přenosné díly trávníku jsou vypěstované ve venkovním prostředí a zabalené do tvaru válce. Pokládají se buď ručně (obvykle 2 m délky), nebo strojně (nad 5 m). Skládají se z podpůrné vrstvy (zpravidla minerální vlna), na které tráva roste. Podpůrná vrstva slouží jako zádržný systém pro kvalitní substrát, který poskytuje kořenový prostor pro zeleň. Travní koberce jsou pokládány do kolejevého lože na geosyntetickou rohož s ochrannou folií, chránící kořeny a zabráňující prorůstání plevelu [4].

Substrát pro trávník by měl být vodopropustný a zároveň by měl dokázat i vodu zadržet; měl by být rovněž odolný vůči větrné a vodní erozi. Substrát je obvykle tvořen zeminou s nebo bez organických látek. Konkrétní skladba závisí na druhu trávníku a místních podmínkách [5].

Funkční skladba trati s travnatým vegetačním krytem je znázorněna na obrázku 2.2. Pod vrstvou substrátu je tzv. filtrační vrstva tvořená geotextilií, která odděluje substrát od podkladní vrstvy a zabraňuje prorůstání kořenů. Musí být odolná proti mikroorganismům v půdě. Obvyklá gramáž geotextilie je 90-200 g/m². Geotextilie musí být položena v celém prostoru, s přesahy alespoň 10 cm. Protože obvykle není odolná UV záření, musí být co nejrychleji zakryta vrstvou substrátu [5].



Obrázek 2.2 Funkční vrstvy trati s travnatým vegetačním krytem [1]

2.1.1.2 Umělý trávník

Výhodami umělého trávníku je nenáročná údržba a stálá barva po celý rok. Nevýhod je ovšem mnohem více, zejména těch týkajících se ekologických přínosů zelených tratí. Samotný umělý trávník nemá funkci evaporace a transpirace, neabsorbuje CO₂ a nezachycuje dešťovou vodu [2]. Jeho funkce je tedy čistě estetická. Pokud má zelená trať s povrchem z umělého trávníku plnit funkci retence vody, je nutné jako podkladní vrstvu použít například pryžové absorbéry.

2.1.1.3 Rozchodníky

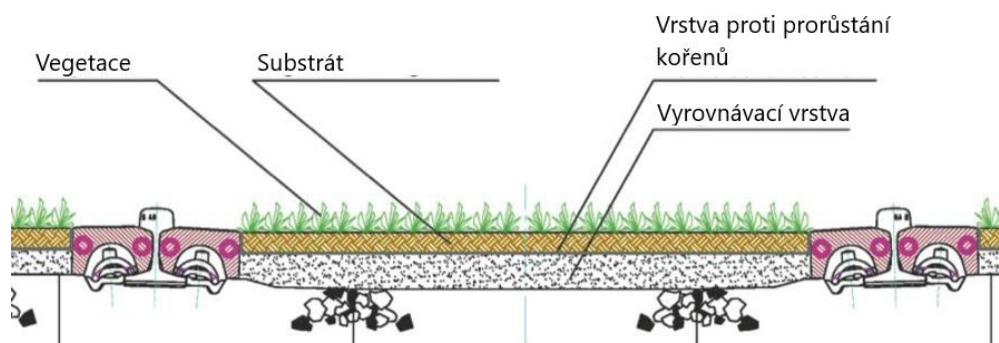
Rozchodníky jsou nízké odolné suchomilné rostliny z čeledi tlusticovitých. Tyto rostliny mají přes 500 druhů a rostou na celé severní polokouli v oblastech s různými klimatickými podmínkami, například v Mexiku, Himalájích, nebo ve Středomoří [6]. Z toho lze odvodit jejich přizpůsobivost a nenáročnost. Jsou nenáročné na zavlažování a nesečou se. Jsou vhodné pro použití na slunných místech, ve stinném prostředí se jim příliš nedaří [5]. Vyžadují pouze 4–5 cm vrstvu substrátu [4], pod kterou se nachází vyrovnávací vrstva obvykle z kameniva. Rozchodníky mají nižší náklady životního cyklu než tráva, jsou méně náročné na údržbu a nabízejí větší variabilitu vzhledu. Prakticky jedinou nutnou údržbou je občasné dosazování rostlinek a zálaha v prvních týdnech po vysazení. Na druhou stranu lze lehce poničit častým pojezdem

a přecházením [2]. Nejčastěji jsou pokládány jako rostlinná rohož [4], ale lze je i vysévat ze semen. Tato varianta je ovšem dražší, a proto zřídka využívána [5].



Obrázek 2.3 Tramvajová trať porostlá rozchodníky ve Wroclawi [7]

Funkční skladba trati s rozchodníky je znázorněna na obrázku 2.4. Pod tenkou vrstvou substrátu se obvykle nachází vyrovnávací vrstva tvořená hrubým štěrkem, která slouží k dosažení požadované instalační výšky vegetačního krytu. Zároveň musí zajistit rychlý odtok vody, aby nedošlo k zakořenění plevelů mimo vegetační systém. Vrstva proti prorůstání kořenů může být tvořena např. polyetylenovým geosyntetikem tloušťky nejméně 0,5 mm. Jeho funkcí je oddělit vegetační systém od podkladu a zabránit plevelům přístup k vodě a živinám z nižších vrstev, např. z vyrovnávací vrstvy. Jako substrát se používají zeminy bez odvodňovací funkce s maximálním obsahem organických látek 40 g/l. Měl by být na povrchu hrubý a vážit zhruba 1,1–1,5 t/m³, aby nedošlo k jeho přesunu prouděním vzduchu způsobeným projíždějícími tramvaji [5].



Obrázek 2.4 Funkční vrstvy vegetačního krytu s rozchodníky [1]

2.1.2 Rozdělení podle výšky vegetace

Podle výšky vegetace lze trať rozdělit do 3 skupin: tratě s vegetací na úrovni paty kolejnice, tratě s vysokou vegetací a tratě kombinované, tedy s nízkou vegetací mezi kolejemi a vysokou vegetací zvenčí. Jednotlivé varianty mají vliv na míru redukce hluku, vizuální stránku, požadavky na izolaci proti bludným proudům, údržbu a druh vegetace.

U tratí s nízkou vegetací dosahuje zeleň maximálně do úrovně paty kolejnice (obrázek 2.5). Výhodami tohoto typu jsou jednoduchá oprava a výměna kolejnic díky snadné přístupnosti, není nutné provádět zvláštní opatření proti bludným proudům a nehrozí, že by tráva přerostla přes temeno kolejnice. Z bezpečnostního hlediska je trať jasně viditelná a rozpoznatelná. Nevýhodami jsou přerušení jednolitě zelené plochy kolejemi [4] a limitovaná tloušťka substrátu, což při použití travnatého krytu může vést k degradaci trávníku v suchém období v důsledku nedostatečné kapacity pro zadržování vody [5].



Obrázek 2.5 Trať s nízkou vegetací [6]

Zeleň u tratí s vysokou vegetací roste pod temenem kolejnice, tj. u Vignolovy (širokopatní) kolejnice přibližně 5 cm pod hlavou kolejnice, u žlábkové kolejnice 1,5 cm pod hlavou kolejnice [5]. Celek působí jako jednotná zelená plocha (obrázek 2.6). Výhodou je možnost instalace vysoké vrstvy substrátu a s tím související lepší zadržování srážkových vod a snadnější údržba vegetace. Nevýhodami ovšem jsou náročnější a nákladnější opravy, protože kolejnice jsou hůře dostupné. Rovněž musí být provedeno opatření proti bludným proudům. Z bezpečnostního hlediska trať není snadno rozpoznatelná jako nebezpečný prostor, toto negativum lze ovšem částečně vyřešit speciálními bokovnicemi [4]. Další nevýhodou je větší nebezpečí poškození vegetace přecházením a přejížděním motorovými vozidly [5].



Obrázek 2.6 Trať s vysokou vegetací a speciálními bokovnicemi [6]

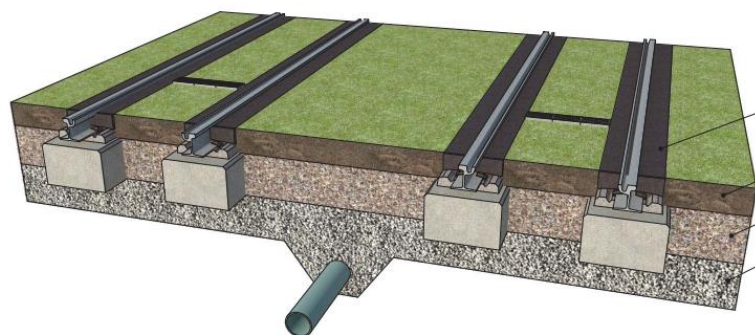
Poslední varianta je kompromisem mezi předchozími dvěma typy. Díky použití nízké vegetace mezi kolejemi a vysoké z vnější strany dochází při pohledu z dálky k dojmu jednotné zelené plochy, zatímco z blízka je trať jasně rozpoznatelná. Koleje jsou z vnitřní strany přístupné pro údržbu a opravy. Ochrana proti bludným proudům musí být zajištěna z vnější strany kolejnic [4]. Použít lze rozchodník i travu, ovšem v případě trávy bude vzhled odlišný mezi kolejemi a zvenku z důvodu odlišné tloušťky substrátu [5].

Současný trend směřuje spíše k variantě se zelení uloženou vysoko na úrovni temen kolejnic, tedy ke druhé variantě [1].

2.1.3 Technologie

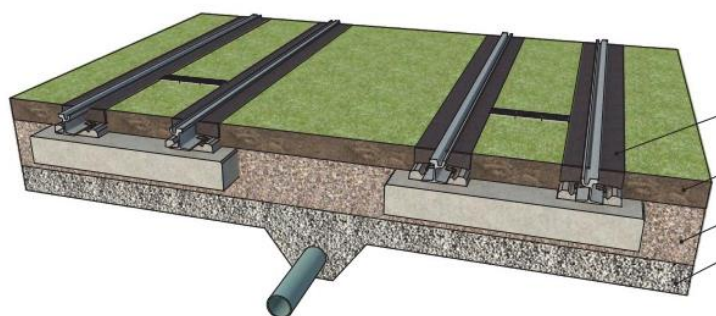
Aplikace vegetačního krytu na klasickou konstrukci trati s betonovými nebo dřevěnými pražci je náročná, protože tyto trati se často opravují a to spolu s nutností výměny substrátu každých 2 až 5 let nedovoluje permanentní vegetaci. V tomto případě se používají pouze dočasné porosty vyměňované každý rok až dva, což je ekonomicky nevýhodné [8]. Jak již bylo zmíněno, u této konstrukce lze vegetaci pokládat až na pražce, takže lze dosáhnout maximální výšky substrátu pouze 14,5 cm. To je s ohledem na schopnost zadržování vody nedostatečné pro extenzivně udržované trávníky, a je vhodnější zvolit jiný typ vegetace [1]. Proto je výhodnější pro zelené tratě využít místo konstrukce s pražci modernější technologie pevné jízdní dráhy, jako jsou například betonové panely. Na tyto konstrukce je mnohem jednodušší aplikovat vegetační kryt a zároveň jsou zpravidla méně hlučné; jejich realizace je ovšem dražší než u klasické konstrukce [8].

Můžeme rozlišit 3 základní typy konstrukce dvoukolejných tratí. Prvním typem jsou paralelní oddělené betonové nosníky (obrázek 2.7). Součástí této konstrukce jsou příčné ocelové tyče, zpevňující konstrukci a držící nosníky.



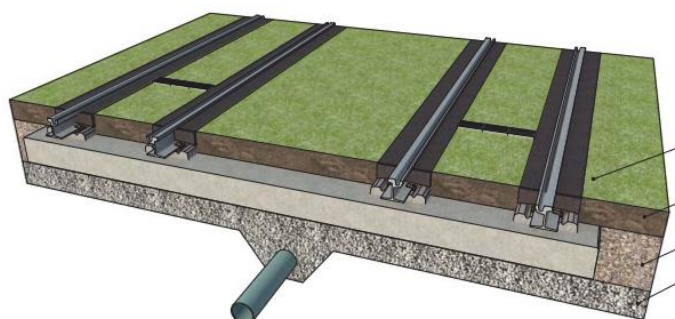
Obrázek 2.7 Konstrukce se dvěma oddělenými paralelními betonovými nosníky [2]

Dalším typem je dvojice betonových desek, pod každou kolejí jedna (obrázek 2.8). Výhodou tohoto systému je vyšší stabilita trati.



Obrázek 2.8 Konstrukce s dvojicí betonových desek [2]

Třetím typem je jednolitá deska pod celou šíří dvoukolejné tramvajové trati (obrázek 2.9). Podobně jako u předchozí konstrukce má výhodu ve větší stabilitě trati, negativem je však větší spotřeba betonu a z toho plynoucí vyšší náklady.



Obrázek 2.9 Konstrukce s jednolitou deskou pod celou šíří trati [2]

2.2 FUNKCE A POŽADAVKY NA ZELENÉ TRAMVAJOVÉ TRATĚ

Zelené tratě mají vliv na kvalitu městského prostředí. Na první pohled patrná je jejich ekologická a vizuální funkce. V dnešní době je důležitá a veřejností pozitivně vnímaná zeleň ve městském prostředí. Pro představu, ozelenění 4 km jednokolejné trati vytvoří přibližně 1 hektar nové zelené plochy. Jelikož ovšem trati zabírají v poměru k celkové městské ploše malou rozlohu, aby jejich efekt byl výraznější, je nutný co největší podíl zelených tratí na celkovou délku tramvajové sítě. V dnešní době toto číslo nikde nepřekračuje 20 %, této hodnoty dosáhli například v Drážďanech. V Krakově je podíl zelených tratí 13 %, 6 % ve Varšavě, 1 % ve Vídni [8]. Tato relativně nízká čísla jsou způsobena do jisté míry náročnějšími požadavky na zelené tratě, než na klasickou trať. Na druhou stranu přínosy zelených tratí určitě nejsou zanedbatelné. Následující kapitola se zabývá požadavky na zelené tratě a jejich funkci a přínosy.

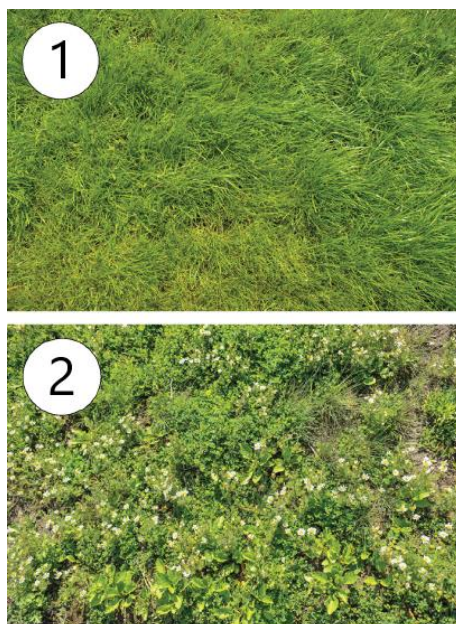
2.2.1 Údržba

Při výběru porostu je nutné brát ohled na místní podmínky. Často se může stát, že se na místě uchytí spíše odolnější rostliny, než ty, které byly původně zamýšleny, a v důsledku dojde k jinému vzhledu trati. Důležitá je proto také kromě výběru správného druhu rostlin také následná péče a údržba [5].

Důležitým kritériem pro posuzování zelených tramvajových tratí je náročnost jejich údržby. Mezi úkony údržby patří sekání, zavlažování, hnojení, nebo ochrana proti posypové soli. Toto kritérium má velký vliv na ekonomickou náročnost a náklady životního cyklu.

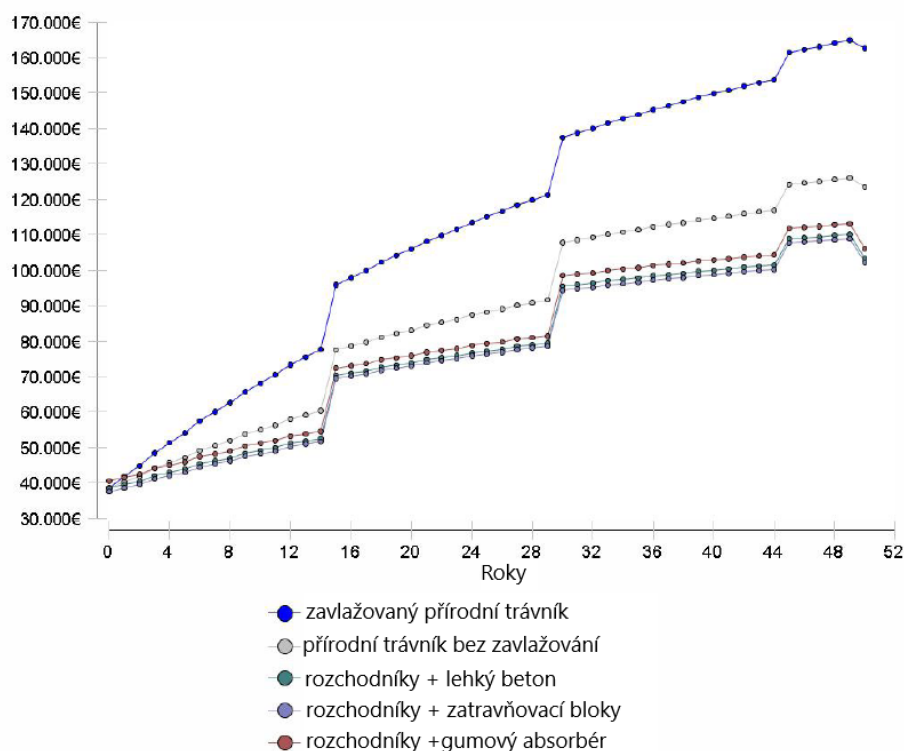
Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.1.1, travní porosty se dělí na intenzivní a extenzivní (obrázek 2.10). Intenzivní porosty je nutné je pravidelně sekat, hnojit a zalévat, jsou husté a nízké, tvořené zpravidla jedním druhem trávy. Jejich výhodou jsou lepší estetické vlastnosti, ale jsou náročné na údržbu. Pro intenzivní porosty se volí druhy trávníku podle jejich vlastností, jako je například odolnost nebo hustota porostu.

Extenzivní porosty jsou charakteristické svojí biodiverzitou a nechávají se vyší. Právě minimální údržba umožňuje druhovou rozmanitost. Výhodou těchto porostů jsou nižší náklady na údržbu. Pro extenzivní porosty se vybírají odolné a přizpůsobivé druhy rostlin.



Obrázek 2.10 Intenzivní (1) a extenzivní (2) travní koberec [8]

Čím menší jsou požadavky na údržbu, tím jsou nižší náklady celého životního cyklu. Z následujícího grafu (Obrázek 2.11) je patrné, že jednoznačně nejnákladnější je intenzivně pěstovaný trávník, zatímco kryt tvořený porostem z rozchodníků je finančně výhodnější. Velký vliv na celkové náklady má potřeba umělého zavlažování, které je významným výdajem.



Obrázek 2.11 Porovnání nákladů životního cyklu dle typu vegetace [6]

U intenzivních travních porostů je nutné dbát na pravidelné zavlažování. V případě nedostatečného zavlažování v suchém počasí se může stát, že trávník uschne a degraduje a ztratí svůj význam. Po zakořenění a několikátém posekání trávy vyseté ze semen by se měla zalévat 1x týdně 15 až 20 litry vody na metr čtvereční [5]. Systém zavlažování bývá obvykle napojen na rozvod pitné vody, čímž stoupají náklady životního cyklu. Použití užitkové vody není vhodné z důvodu možnosti zanesení zavlažovacího systému nečistotami a jeho degradací.

Intenzita zavlažování u travních koberců závisí na typu půdy a klimatu. Písečtější půdy potřebují větší závlahu než ty s vyšším obsahem jílu, které zadrží více vody [2]. Zavlažování je možné provádět výsuvnými zavlažovači, nákladními automobily s cisternou, cisternou na kolejovém vozidle, nebo zavlažovacími rohožemi.

Výsuvné zavlažovače jsou osvědčeným způsobem zavlažování. Jsou pevně zakotveny v zemi. Nevýhodou je požadavek na hloubku založení – zavlažovač, který se vysune 10 cm nad povrch, vyžaduje hloubku 15 až 20 cm. U zavlažovačů nad povrchem zase hrozí poškození. Obvykle systém funguje tak, že se zavlažování spouští v noci, kdy nehrozí poškození projíždějícími tramvaji [5]. Součástí zavlažovačů bývá dešťové čidlo, které zamezí zalévání v době srážek a šetří tak náklady na vodu. Systém je nutné na podzim (obvykle v říjnu) zazimovat, aby byla zajištěna jeho funkčnost a dlouhá životnost.

Nevýhodou zalévání cisternovými kolejovými vozidly je náročnost na personál, protože zavlažování musí být synchronizováno s průjezdem tramvají, a cisterna musí být naplněna a řízena. Výhodou cisteren na nákladních automobilech je to, že nejsou potřeba žádné zásahy ani speciální konstrukce v oblasti trati. [5]

Zavlažovací rohož se skládá z polyetylenové trubičky obalené v několika vrstvách geotextilie. Voda je rovnoměrně rozváděna kapilárami v geotextilii. Díky podpovrchové instalaci dochází k velmi malé evaporaci v porovnání s klasickým zavlažováním z povrchu. Závlaha je tedy velmi efektivní a ušetří se tímto způsobem až 50 % vody. Dalšími výhodami je nenarušení provozu a eliminace rizika poničení vandaly. Doporučuje se systém nastavit tak, aby zaléval 10 minut dvakrát denně po jednotlivých částech celé trati. Zavlažovací rohož je uložena na geotextilii před uložením substrátu. Životní cyklus zavlažovací rohože je 15 až 20 let [5].

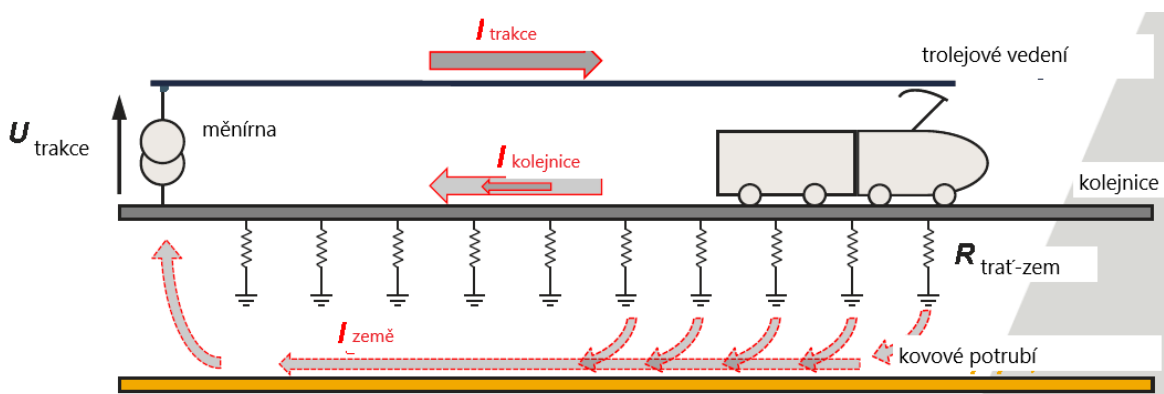
Nevýhodou trati s umělým zavlažováním je také prodloužení brzdné dráhy v době zavlažování na mokré koleji v důsledku náhlé změny adheze [9]. Toto lze eliminovat načasováním zavlažovacího systému tak, aby pracoval pouze v době, kdy na trati není provoz, zpravidla tedy v nočních hodinách.

U intenzivních travních porostů je také nutné pravidelně provádět sekání. To probíhá stejně jako u jiných městských travnatých povrchů. Pravidelné projíždění tramvají obvykle omezuje rychlost růstu, a proto není sekání potřeba provádět tak často, jako v parcích nebo na jiných městských zelených plochách [2]. Travnaté trati se sekají obvykle 4–6x ročně, zejména proto, aby vegetace nepřesahovala přes kolejnice [1]. Trati porostlé rozchodníkem není třeba sekat vůbec.

Nutné je myslet i na poškození trávníku v zimním období působením posypové soli. Sůl se může na trávník dostat dvěma způsoby – při roztávání hromad odhrnutého sněhu, nebo stříkáním od projíždějících vozidel. Řešením, jak ochránit zeď před poškozením, je co největší plocha zeleně a silná vrstva půdy, která zadrží více vody a absorbuje a rozředí sůl do té míry, že již není pro vegetaci hrozbou [2]. Další možností je oddělit vegetaci od silnice pásem např. kačírku nebo dlažby.

2.2.2 Izolace kolejnic

Kolejnice je nutné chránit před bludnými proudy a před přirozenými reakcemi s okolním prostředím, které mohou změnit jejich vlastnosti. Bludný proud je elektrický proud unikající z elektrických zařízení nedostatečně izolovaných proti zemi nebo používajících země jako zpětného vodiče [10] (obrázek 2.12). Ve městech, kde se téměř výhradně používá stejnosměrná trakce a v podloží tratě jsou uloženy kovové inženýrské sítě, je proto nutné dbát na izolaci proti bludným proudům. Proud má totiž tendenci procházet zemí k podzemním kovovým prvkům. Izolaci proti bludným proudům je nutné řešit v případě, že kolejnice jsou v kontaktu s podložím. U zelených tratí tato situace nastává, když je vegetace vysazena ve výši temene kolejnice [4].



Obrázek 2.12 Bludné proudy [11]

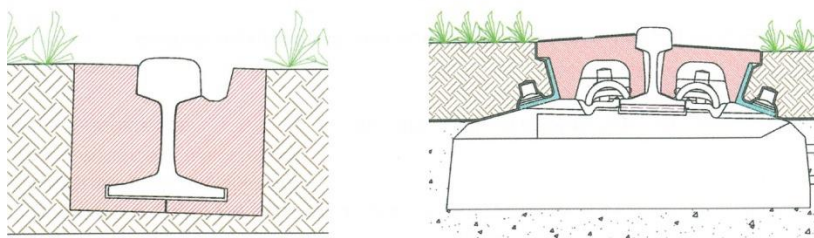
Bludné proudy způsobují elektrochemickou korozi železa. Tento jev u tramvajových tratí zvyšuje náklady na údržbu a ohrožuje bezpečnost [12]. Negativní účinky bludných proudů jsou

především v těch místech, kde bludné proudy z kovových konstrukcí vystupují do země. Celý tento jev funguje podle následujícího vzorce:

$$I_{země} = \frac{U_{kolejnice}}{R_{trať-zem}}$$

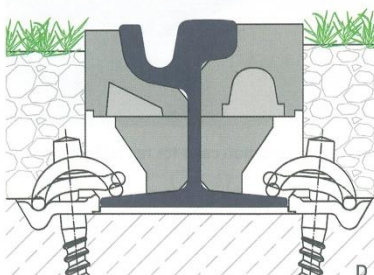
Naším cílem je co nejvíce snížit hodnotu $I_{země}$. Toho dosáhneme kvalitní izolací kolejnice od zeminy, tedy oddělením kolejnic od vegetace a zeminy, přičemž izolační materiál musí být odolný vůči UV záření, vysokým teplotám, chemikáliím, a měl by být recyklovatelný. Tyto izolace – bokovnice – zároveň mají funkci tlumení hluku. Nejčastější typy bokovnic jsou tvořeny jedním nebo více díly, zapouzdřením kolejnic nebo jejich obalením do zvláštních směsí [5]. Izolační komponenty dělíme do 4 kategorií:

1. Prvním typem jsou bokovnice složené z jednoho kusu (obrázek 2.13). Patří zde úzké prvky, lehce přesahující patu kolejnice a nepřekrývající upevňovací prvky, a široké prvky, uložené na patě kolejnice a pražci a zakrývající upevňovadla. Tyto prvky jsou upevněny pod hlavou kolejnice, nebo přilepeny ke stojině [5].



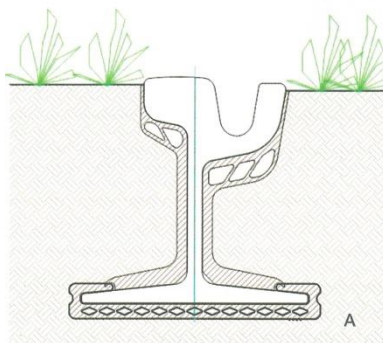
Obrázek 2.13 Příklady jednodílných izolačních bokovnic [5]

2. Druhým typem jsou vícedílné bokovnice (obrázek 2.14). Skládají se ze základních a krycích bloků. Základní bloky jsou nainstalovány přímo na stojinu a patu kolejnice mezi upevňovadla. Krycí bloky kryjí upevňovadla a základní bloky a jsou upevněny u pražců mezi upevňovadly. Jejich délka závisí na délce mezer mezi pražci [5].



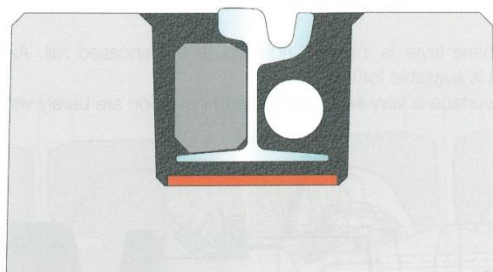
Obrázek 2.14 Příklad vícedílné bokovnice od firmy edilon)(sedra [5]

3. Třetím typem je zapouzdření stojiny a paty kolejnice (obrázek 2.15). V tomto případě se substrát přímo dotýká obalené kolejnice a téměř celá šířka mezi kolejnicemi je porostlá vegetací. Prostor, od kterého se může odrážet zvuk, je velmi malý a kolejnice a její izolace jsou sotva viditelné. Zapouzdřovací komponenty mohou být nalepeny na kolejnici již ve výrobě a na místě se instalují pouze v místě svaru kolejnic [5].



Obrázek 2.15 Příklad zapouzdření stojiny a paty kolejnice na zelené trati ve Freiburgu [5]

4. Posledním typem jsou polyuretanové výplňové žlaby (obrázek 2.16). Používají se v některých systémech pevné jízdní dráhy, kde polyuretan tvoří výplň betonových koryt. Polyuretanová směs se nalije dovnitř po instalaci kolejí do betonového žlabu, čímž se kolejnice upevní a nejsou potřeba žádná upevňovací [5].



Obrázek 2.16 Kolejnice v betonovém žlabu vyplněném polyuretanem [5]

2.2.3 Estetická funkce

Zelené trati mají mimo jiné i estetickou funkci a vliv na urbanismus. Jejich přítomnost opticky zlepšuje městské prostředí a přináší do měst více zeleně. Výstavba zelených tratí dokáže významně esteticky zatraktivnit a ozelenit městské prostředí v takovém měřítku, v jakém by to jiným způsobem bylo velmi obtížné. Jak již bylo zmíněno, estetická funkce závisí na typu systému – u systému s vegetací na úrovni paty kolejnice dojem jednotlivé zelené plochy narušuje výrazně viditelná trať [5].

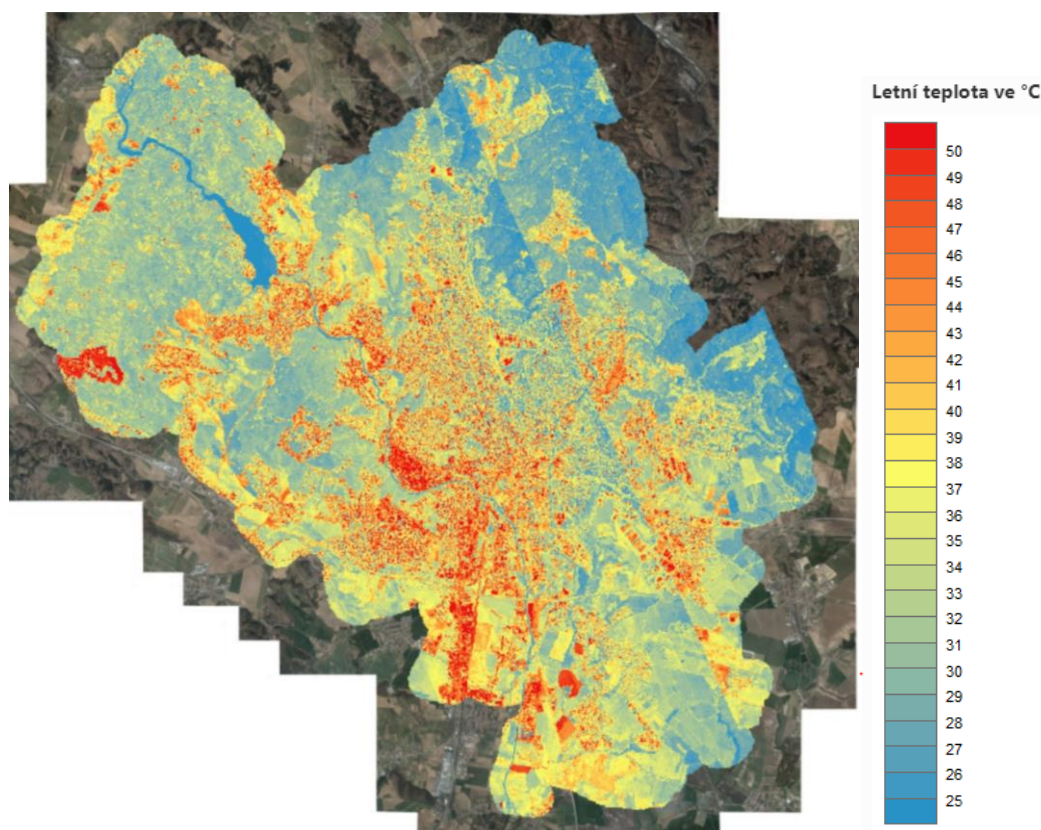
Estetické vlastnosti jsou ovlivněny i druhem použitých rostlin – dopravní podniky obvykle nejraději využívají klasický travnatý kryt, který za předpokladu kvalitní údržby zaručuje jednotlivou zelenou plochu. Možností je i přidání jiných rostlin, díky čemuž trávník vypadá více přírodně. Výhodou tohoto řešení je vyšší odolnost různých plevelů a rostlin proti suchu na rozdíl od trávy [5]. Porost z rozchodníků mění vzhled v průběhu roku – v letním období kvete, a v závislosti na místních podmínkách (jako je teplota, množství vody a podobně) mění barvu.

V Polsku byla provedena studie, jak lidé vnímají extenzivní nízkoúdržbové travnaté kryty zelených tratí. Z výsledků vyplynulo, že jsou občany vnímány velmi kladně. Část respondentů pouze měla výhrady k případům, kdy porost není dostatečně hustý nebo zelený, nebo jsou v trávníku přítomny plevely a jiné rostliny. Velký vliv na toto hodnocení měla vzdálenost, ze které se na porost dívali – čím větší vzdálenost, tím méně byly nedokonalosti vnímány. Celkový výsledek studie signalizuje, že pro občany je zelená trať přívětivější než betonový nebo šterkový kryt [8].

Další možností je také v místech, kde to prostor dovolí, vysázet podél trati pásy lučních porostů. V tomto případě se ovšem může stát, že semena z tohoto porostu migrují do prostoru trati [5]. Výhodou obzvláště extenzivních travních porostů je vytvoření životního prostoru pro řadu druhů hmyzu a jiných bezobratlých [6].

2.2.4 Zlepšení mikroklimatu

Přínosem zelených tratí je i snížení výskytu tepelných ostrovů. Tepelný ostrov je část městské zástavby vykazující značně vyšší teplotu než okolí, což je způsobeno převahou materiálů, které nepřeměňují sluneční záření na energii, ale absorbují ho. Tento efekt je znatelný zejména v noci, kdy materiály jako betonové plochy, silnice a kovové střechy sálají zpět do okolí teplo nastřádané přes den. Ve velkých městech může být rozdíl teplot až 10°C [13].



Obrázek 2.17 Mapa teplot povrchů v Brně 7. 7. 2015 [14]

Vegetační kryt tramvajové trati do jisté míry omezí plochu těchto materiálů a částečně napomůže ke zlepšení mikroklimatu a snížení teploty. To je způsobeno evapotranspirací vody z rostlin a tím, že zeleň neabsorbuje sluneční záření [15]. Rostliny pouze absorbují energii pro fotosyntézu [5]. Vegetace zároveň chrání půdu a konstrukci trati před přímým slunečním zářením a absorbováním tepla. Při použití systému s vysokou vegetací na úrovni temena kolejnice je omezena plocha kolejnice vystavená slunečnímu záření a tím pádem je v horkém počasí snížena teplota kolejnice [5]. V Drážďanech proběhlo měření, jehož výsledky ukázaly, že teplota povrchu tratí s pevným krytem přesahuje hodnoty 50 °C, zatímco na povrchu tratí s vegetačním krytem byly naměřeny teploty mezi 25 °C a 30 °C. To snižuje teplotu okolního prostředí při horkém letním počasí. Tento efekt je výraznější u tratí s travnatým krytem, než u trati porostlé rozchodníky na substrátu [16].

Betonová trať má měrnou tepelnou kapacitu okolo 2550 kJ/bm dvoukolejně tramvajové trati, zatímco travník na hlíně okolo 210 kJ/bm dvoukolejně trati, což je 12x větší hodnota. Čím větší je

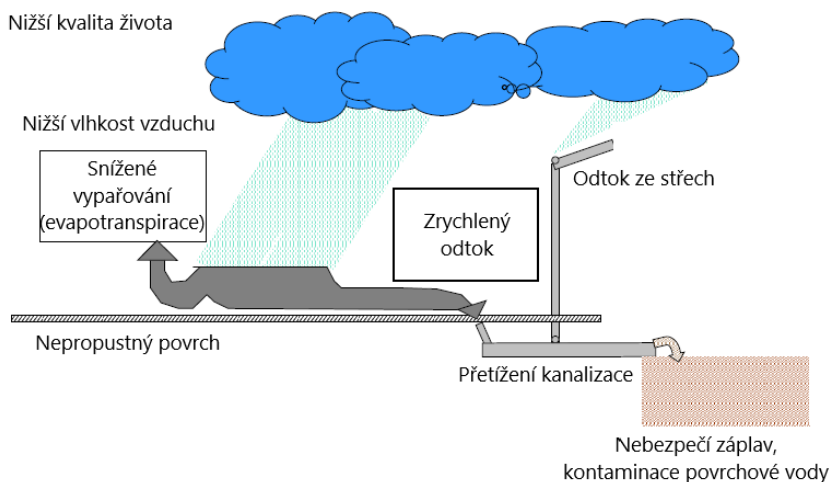
tepelná kapacita povrchu, tím více se prodlužují negativní účinky tepelné akumulace. Nadměrné přehřívání plochy má negativní vliv na stabilitu geometrické polohy koleje a upevnění blokové kolejnice v bezстыkové koleji [9].

Zelené trati městské mikroklima zlepšují také fotosyntézou a ochlazují okolí evaporací. Evaporace 1 litru vody ochladí 200 m³ vzduchu o 10 K, což se rovná ochlazení z 30 °C na 20 °C [16]. Jak již bylo zmíněno, v letním období, kdy jsou tepelné ostrovy problémem, může vegetační povrch zachytit až 90% srážek, což s ohledem na množství srážek může být až 220 litrů vody na m². 1 m² zelené trati má tedy schopnost ochladit až 44 000 m³ vzduchu o 10 °C [16].

2.2.5 Retence dešťové vody

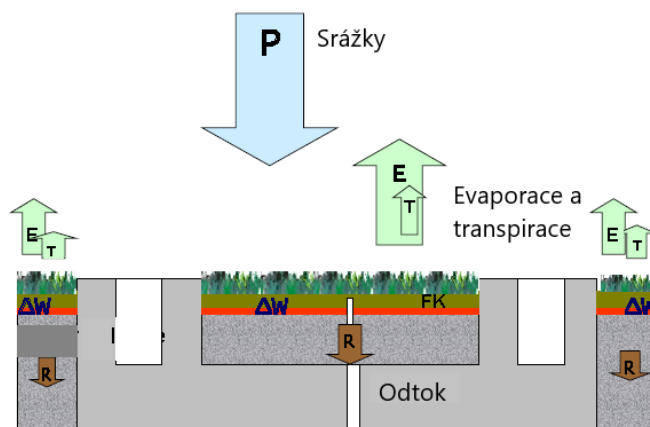
V městském prostředí je velký podíl nepropustných ploch, které způsobují, že se voda nemůže vsáknout do půdy a po povrchu odtéká, což je schematicky znázorněno na obrázku 2.18. Srážková voda následně vstupuje do kanalizace, a v případě prudkých intenzivních srážek například při bouřce, může dojít k přetížení kanalizace, přepadu vody přes odlehčovací komory a vyplavení splašků do ulic. To má zároveň nepříznivý vliv na kvalitu povrchových vod a životního prostředí [15] [17]. Pro srovnání, v přírodním prostředí je podíl odtoku srážkových vod méně než 10 %, zatímco ve městě až 55 % [15].

V důsledku klimatických změn, které způsobují i vyšší výskyt extrémních srážek, je v současnosti důležité ve městech provádět opatření pro zachytávání dešťové vody. Základním principem je nechat srážkovou vodu vsáknout, a tam kde to není možné, zachytit ji a zpomalit její odtok [15]. Zadržování dešťové vody také pomáhá při ochlazování prostředí díky evapotranspiraci a lze zadržanou vodu využít pro zavlažování zelených ploch.



Obrázek 2.18 Dopad nepropustných povrchů na vodu ve městě [6]

Zelené tratě tomu mohou do jisté míry napomoci. Relativně velká plocha tramvajových tratí nabízí potenciál pro ozelenění, které napomáhá vsakování a zadržování srážkových vod. Vegetace zadržuje dešťovou vodu, dokud není nasycena. Přebytečná srážková voda je odvedena infiltrací nebo externím odvodňovacím systémem. Zadržaná voda se dostane zpět do oběhu evapotranspirací [5]. Na schématu na obrázku 2.19 vidíme funkci vegetace na tramvajové trati s ohledem na hydrologickou bilanci:



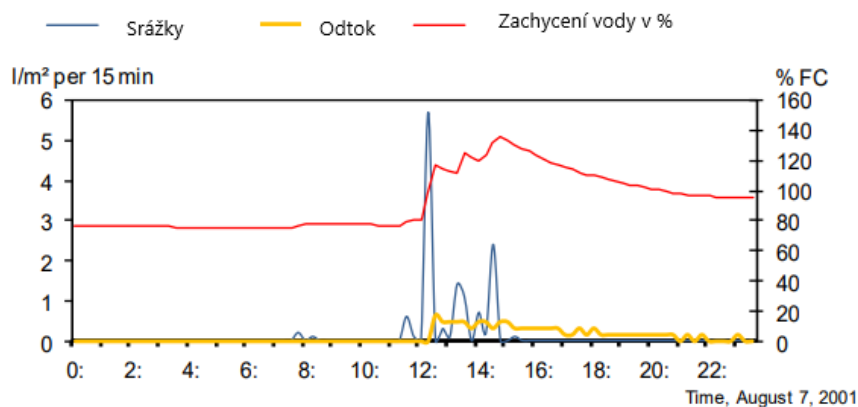
Obrázek 2.19 Hydrologická bilance na zelené tramvajové trati [6]

Hydrologická bilance spočívá ve vyjádření všech vstupů a výstupů vody z povodí a vyjádření změn v zásobách [18]. Vstupem je množství srážkové vody (P), výstupy jsou evaporace (E – fyzikální výpar), transpirace (T – fyziologický výpar) a odtok (R). FK na obrázku znamená kapacitu půdy, tedy množství vody, kterou je zemina schopna zadržet. ΔW je hydrologická bilance ve vegetačním systému [6]. Celý vzorec pro hydrologickou bilanci je následující:

$$\Delta W = P - E - T - R$$

Oproti nepropustné ploše je zelená trať mnohem výhodnější, jelikož podporuje vypařování srážkové vody a při použití správného substrátu nebo absorbéru snižuje odtok a zachycuje dešťovou vodu, která zároveň může také zavlažovat vlastní vegetační kryt trati. Extenzivní porosty obvykle zadrží přibližně 50% srážek, zatímco intenzivní od 70 % až do 100 % [6]. V Německu v roce 2009 bylo přibližně 374 km zelených tratí. Po přepočtu intenzity srážek vyšlo, že celkově zelené trati zachytily 500 860 m³ srážkové vody, což znamená průměrně 1 340 l vody na 1 metr dvoukolejné trati ročně [6].

Největší účinek zelených tratí na hydrologickou stabilitu v městském prostředí je v letním období, kdy trať zachytí až 90 % srážek. To je způsobeno tím, že je v tomto období větší podíl evapotranspirace, což zlepšuje schopnost vegetačního systému zachycovat zbylou srážkovou vodu. Příkladem je měření v Berlíně na trati porostlé rozchodníky během silného deště (13,5 l/m²) – viz obrázek 2.20. Vegetační systém byl z 80 % nasycený již před srážkou. I přesto byl největší naměřený odtok pouze 0,6 l/m² [16].



Obrázek 2.20 Měření odtoku na trati s rozchodníky v Berlíně [16]

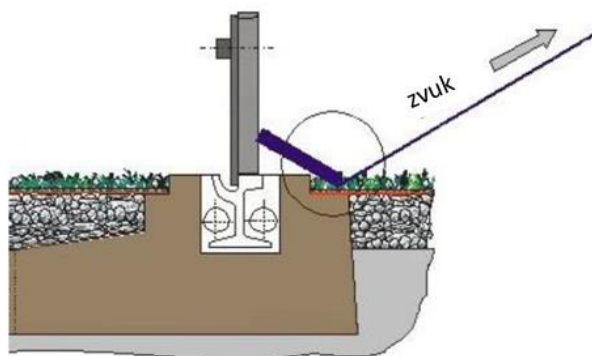
Pokud jsou tedy dostatečně velké úseky tratí porostlé vegetačním systémem, mohou výrazně odlehčit kanalizačnímu systému v jejich okolí v případě letních přívalových srážek, a v porovnání s tratěmi s pevným krytem mohou snížit nepříznivé dopady těchto dešťů.

2.2.6 Odvodnění

Základním úkolem odvodnění zelených tratí je nastolit rovnováhu mezi odtokem velkého objemu srážkových vod při přívalových deštích a zajištění dostatečné retence pro období sucha. Nad odvodňovacími otvory u deskových systémů by měla být položena geotextilie, aby zabránila odplavování částic substrátu. Při návrhu odvodnění se musí brát v úvahu typ vegetace, tloušťka substrátu, předpokládané množství srážek a schopnost infiltrace podloží. V závislosti na těchto parametrech se navrhuje pozice odvodňovacích otvorů, typ odvodnění nebo zabránění pronikání odtoku vod z okolních zpevněných ploch. Systémy pevné jízdní dráhy musí být navrženy tak, aby směřovaly vodu doprostřed trati a prostoru mezi tratěmi. Systémy s betonovými deskami pod jednotlivými tratěmi a propustnou zeminou mezi nimi by měly být navrženy tak, aby voda odtékala otvory v betonových deskách [5].

2.2.7 Snižování hluku

Významným přínosem zelených tratí je snižování hluku způsobeného projíždějícími tramvajemi. Hlavním zdrojem hluku z tramvajové dopravy je kontakt mezi kolem a kolejnicí [6]. Část tohoto zvuku vychází přímo do okolního prostředí, zatímco druhá část se odráží od krytu trati (obrázek 2.21). Použití vegetačního krytu má za následek eliminaci plochy, od které se zvuk odráží, protože vegetace část zvuku absorbuje. Lepší funkci mají tratě s vegetací na úrovni temena kolejnice, protože na rozdíl od systémů s nízkou vegetací je zvuk vyzařován pouze v oblasti hlavy kolejnice [5].



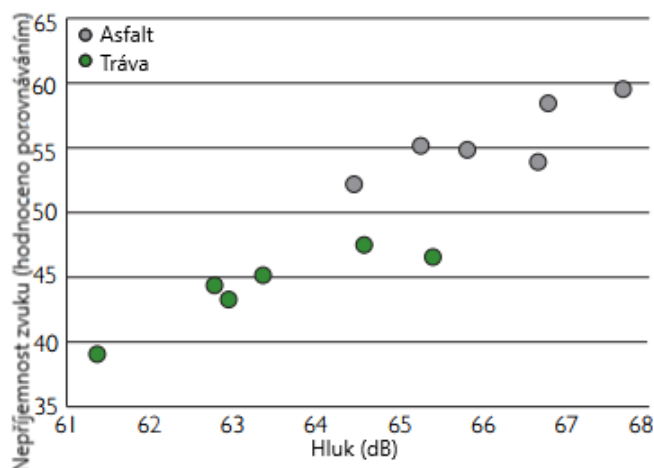
Obrázek 2.21 Odras zvuku od krytu trati [6]

Podle studií zaměřených na zvuk je rozdíl 3 dB sotva rozpoznatelný lidským uchem. Jasně rozpoznatelný rozdíl je až 5dB [19]. Snížení hlučnosti zelené trati oproti štěrkovému krytu se uvádí 2–4 dB [6], ale např. v Ostravě při použití kolejového absorbéru hluku BRENS STERED bylo po rekonstrukci naměřeno snížení hlučnosti u některých typů tramvají až o 9 dB [20].

Podle informací pražského dopravního podniku vykazují rekonstruované tratě s otevřeným svrškem a Vignolovou kolejnicí hlučnost až o 8 dB nižší než trati se zakrytým svrškem z betonu, dlažby nebo asfaltu. Ovšem rozdíl mezi krytem z trávy nebo štěrku je pouze v desetinách decibelů, a proto se zeleň používá hlavně z estetického hlediska [21]. Toto platí právě u tratí s vegetací u paty kolejnice, u vysoké vegetace je rozdíl markantnější. Míra absorpce hluku zeleným krytem závisí i na typu konstrukce – trať s vegetací u paty kolejnice má nižší vliv na

snižování hluku, pouze 1 dB. Dalším faktorem jsou vlastnosti samotné vegetace, jako hustota porostu, jeho výška, pórovitost substrátu nebo množství vody [16]. V případě vyschnutí substrátu klesá schopnost trati pohlcovat zvuk.

Zeleň má také psychologický vliv – obyvatelé měst je vnímají jako tišší a méně obtěžující než klasické tramvajové trati [16]. Ve francouzském Grenoblu bylo provedeno měření hluku a porovnání tratí s asfaltovým a travnatým krytem. Výsledkem studie bylo, že ve vzdálenosti 4 metrů od zdroje hluku je hluk na stejné úrovni u obou povrchů, zatímco ve vzdálenosti 7 metrů se vyskytovaly rozdíly až o 3 dB ve prospěch travnatého krytu (obrázek 2.22). Zároveň experiment ukázal, že u travnatého krytu při poslechu z větší vzdálenosti ubylo vysokofrekvenčních zvuků, což vedlo k subjektivnímu vnímání hluku jako méně obtěžujícího [22].

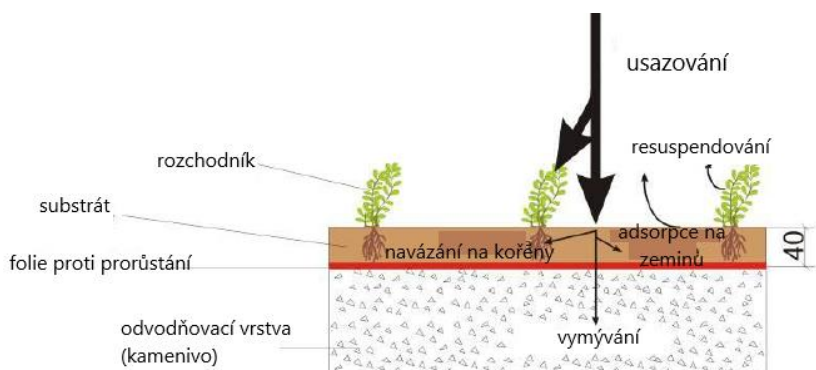


Obrázek 2.22 Výsledky měření hluku 7 m od trati v Grenoblu [22]

2.2.8 Zachycování polétavého prachu

Polétavý prach neboli pevné částice (PM – particulate matter) jsou drobné částice menší než 10 μm volně se pohybující v atmosféře. Mezi jeho antropogenní zdroje patří především spalování fosilních paliv, tedy doprava, elektrárny, spalovny, průmysl. Tyto částice mohou mít negativní vliv na lidské zdraví, záleží ovšem na velikosti částic. Dá se říct, že nejnebezpečnější jsou ty nejmenší $\text{PM}_{2.5}$ (tedy s velikostí částic do 2,5 μm), kterým dýchací ústrojí nestaví žádné zábrany. Škodlivost těchto částic závisí z velké části také na chemickém složení. Při krátkodobé expozici způsobují podráždění dýchacích cest a častější infekce, dlouhodobě pak mohou způsobit i plicní choroby nebo rakovinu [23].

Přínosem zelených tratí je zachytávání částic polétavého prachu na listech rostlin i stéblech trávy. Bylo dokázáno i 10–30x rychlejší usazování pevných částic na umělém trávníku než na pevném povrchu [24]. Prachové částice se kromě usazení na listy navážou na kořeny a zeminu a také jsou vymývány přes odvodňovací vrstvu kameniva, jak je znázorněno na obrázku 2.23. Malá část částic je resuspendována zpět do ovzduší, ale oproti např. štěrkovému krytu trati je množství těchto částic menší [6]. Míra zachytávání prachových částic závisí i na jiných faktorech, jako je výška nebo hustota vegetace.



Obrázek 2.23 Pohyb prachových částic ve vegetačním systému [6]

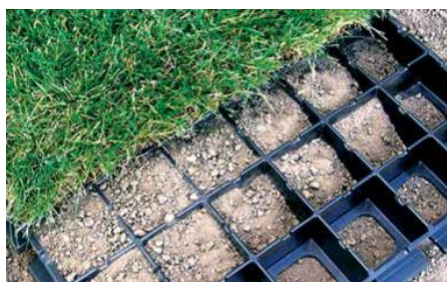
2.2.9 Sjízdnost pro záchranná vozidla

Jestliže je zelená trať zamýšlena jako sjízdná pro vozidla záchranných složek, je nutné zejména v případě použití půdy s vyšším obsahem jílu, která má menší únosnost než písčité půdy, provést určitá opatření pro zvýšení únosnosti. Možností je například přidání syntetických vláken do půdy (obrázek 2.24). To posílí přirozený kořenový systém natolik, že unese značnou zátěž. Zároveň to umožní použít půdu s vysokým obsahem jílu, která zadrží více vlhkosti a tím snižuje potřebu závlahy. Tato vlákna jsou navíc okem nepostřehnutelná, a tedy nezhoršují estetické vlastnosti krytu. Nevýhodou jsou vyšší pořizovací náklady [2].



Obrázek 2.24 Trávník se syntetickými vlákny [25]

Druhou možností je použití mřížky z geosyntetického materiálu (obrázek 2.25). Ta rovněž umožní větší namáhání a využití zeminy s vyšším obsahem jílu. Zároveň chrání horní vrstvu zeminy před ztuhnutím. Mřížka je uložena na podkladní vrstvě z propustného štěrku. Kvůli malému prostoru pro zakořenění je tento způsob velmi náročný pro vysazené rostliny, které vyžadují větší míru zavlažování. Nevýhodou jsou také vyšší náklady. Mřížka po posekání trávy bývá viditelná a také musí být okolo kolejnic upravená a zkrácená [2]. Při osazení rozchodníky, které nejsou příliš odolné vůči přecházení, musí být vrstva zeminy zhruba 1 cm pod horní hranou mřížky a přečnívající části rostliny jsou zastříhovány [5].



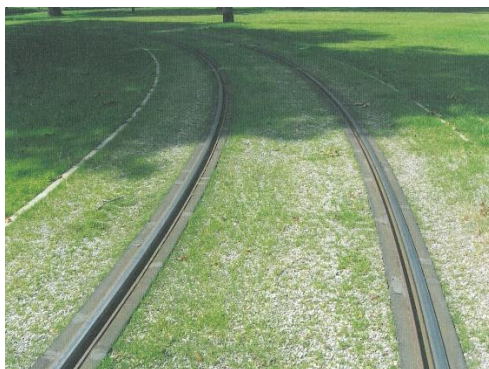
Obrázek 2.25 Mřížka z geosyntetického materiálu [26]

Tradiční metodou, která se používá například na golfových hřištích, je použití zeminy s vyšším obsahem písku. Ve výsledku je zemina únosnější, ale potřebuje vysokou míru zavlažování. Na druhou stranu je tato metoda levnější. Využita byla například při prodloužení tramvajové linky T3 v Paříži v roce 2012 (obrázek 2.26) [2].



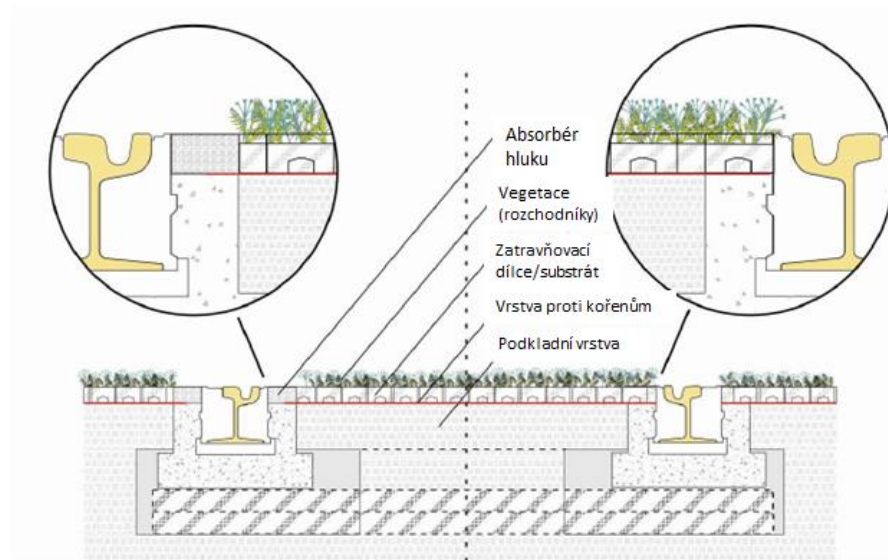
Obrázek 2.26 Pokládka trávniku při prodloužení tramvajové linky T3 v Paříži [27]

Možné je i použít trávník se štěrkem (obrázek 2.27). Jako podkladní vrstva by měla být použita směs štěrku velikosti zrn 32/45 mm a písku o velikosti zrn 0/2 mm o tloušťce 25,5 cm (čehož není možné dosáhnout u všech systémů zelených tratí). Horní vrstvu tvoří humózní zemina [5].



Obrázek 2.27 Trávník se štěrkem v Brémách [5]

V Belgii byla na testovacím úseku navržena pojízdná skladba zelené trati za použití zatravnovacích dílců osázených rozchodníky. Funkční vrstvy této skladby jsou znázorněny na obrázku 2.28. Nevýhodou je omezená plocha zeleně (okolo 50 %), část trati je tedy nepropustná a neplní funkci zadržování srážek.



Obrázek 2.28 Příčný řez testovacím úsekem pojezdne tramvajové trati v Bruselu [6]

2.2.10 Zastávky

Vegetační kryt je obvykle vhodné přerušit v oblasti zastávek. Důvody jsou následující: teplo vyzařované brzdícími tramvajemi, stín od stojících tramvají, vysoká koncentrace lidí a s tím související znečištění (nedopalky, odpadky a jejich odklizení) a přecházení po trati. Na zastávkách tedy může být místo vegetace použit umělý trávník, štěrk, asfalt nebo dlažba. Pokud se zastávky v obou směrech nachází naproti sobě, je možné vegetaci ponechat alespoň uprostřed mezi tratěmi (obrázek 2.29) [5].



Obrázek 2.29 Travnatý pás na zastávce v Berlíně [5]

2.3 PROBLÉMY

Vzhled zelených tratí se obvykle v průběhu času mění. Mohou to být jak přirozené jevy, tak i nevratné negativní jevy vedoucí až k úplné ztrátě vegetace. Toto má několik možných příčin, které spolu mohou vzájemně souviset, a obvykle jsou způsobeny špatným odhadnutím místních podmínek a volbou špatného systému.

Usychání trávy může být způsobeno nedostatečným zavlažováním, nízkou tloušťkou vrstvy substrátu, nebo použitím nevhodného osiva. Příklad uschlého trávníku na tramvajové trati je na obrázku 2.30. Tráva, která v těchto podmínkách nedokáže přežít a uschne, bývá obvykle

nahrazena odolnými druhy plevelu, který zde spontánně vyrostl. Do určité míry tím tedy utrpí vizuální stránka trati. V suchých místech, kde není možné zajistit zavlažování nebo požadovanou tloušťku substrátu, je nejvýhodnějším řešením použít porost rozchodníků, nebo umělý trávník [1].



Obrázek 2.30 Zelená trať s uschlým trávníkem [1]

Dalším problémem může být časté přecházení chodců nebo přejíždění automobilů, což vede k zahuštění substrátu a následnému vadnutí rostlin [1]. Řešením je v místech, kde se předpokládá pohyb chodců či vozidel, vůbec vegetaci nevysazovat a nechat v tomto místě pevný pás například s betonovým nebo asfaltovým krytem, případně použít metody zmíněné v předchozí kapitole.

Na obrázku 2.31 je zamokřená zelená tramvajová trať. Zamokření bývá způsobeno použitím nevhodného substrátu s vysokým obsahem jemných zrn, použitím geotextilie s příliš malými póry nebo nefunkční odvodnění [5].



Obrázek 2.31 Zamokřená zelená trať [1]

Problémy tedy bývají obvykle způsobeny nepřizpůsobením návrhu místním podmínkám. Tato opomenutí poté vedou k nedosažení požadovaného vzhledu a dodatečným finančním nákladům. Při návrhu musíme brát v potaz klimatické podmínky (srážky, sluneční záření, vítr), zatížení trati (přecházení a pojíždění) a technické vlastnosti trati. V závislosti na těchto zjištěních musíme zvolit správný systém zelené trati – výšku a vlastnosti substrátu, rostlinný druh, komponenty technického systému a podmínky následné údržby [1].

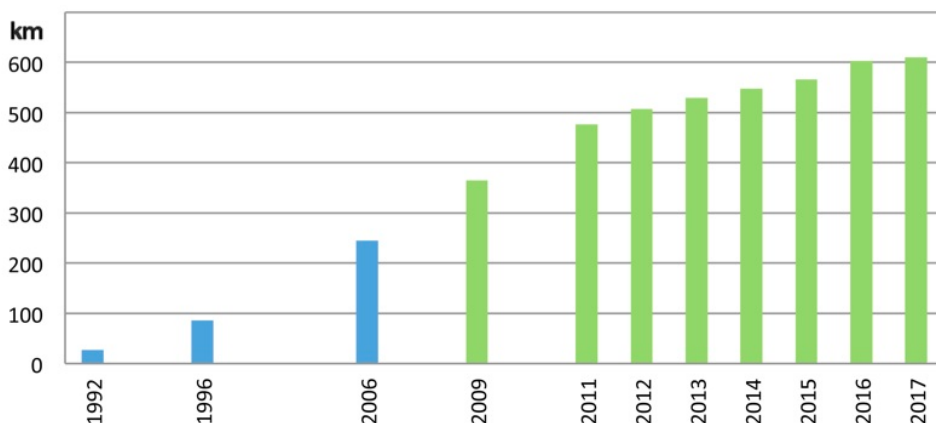
3 SOUČASNÉ SYSTÉMY ZELENÝCH TRAMVAJOVÝCH TRATÍ

První pokusy o zelené tratě se objevují již na začátku 20. století, například již v roce 1916 jich bylo v Berlíně zrealizováno asi 37 km (obrázek 3.1). Kvůli problémům s výstavbou, ochranou proti korozi a bludným proudům a následnou údržbou však bylo těchto experimentů brzy zanecháno.



Obrázek 3.1 Zelená trať v Berlíně na Tauentzienstrasse, 1930 [5]

Ve větší míře se začaly nové systémy zelených tratí používat v 80. letech 20. století v Německu a postupně se rozšířily do celé Evropy. Nedostatek zkušeností a technologické potíže zpočátku stály v cestě masovějšímu rozšíření. Problémem byla adaptace vegetačních systémů na tehdejší šterkové dráhy, které umožňovaly výšku substrátu nejvýše 10 cm, a tím omezovaly podmínky pro dobrý rozvoj a funkci trávníku. Teprve s vývojem betonových panelů a pevné jízdní dráhy jako alternativ k tradiční tramvajové trati, které umožňovaly větší výšky substrátu, dochází od poloviny 90. let k většímu rozmachu zelených tratí nejen v Německu [1]. Tento nárůst je způsoben jak požadavky na snížení hluku a zvětšení podílu zelených ploch v městském prostředí, tak i díky pokročilejším technologiím a snadnější realizaci zelených tratí [5].

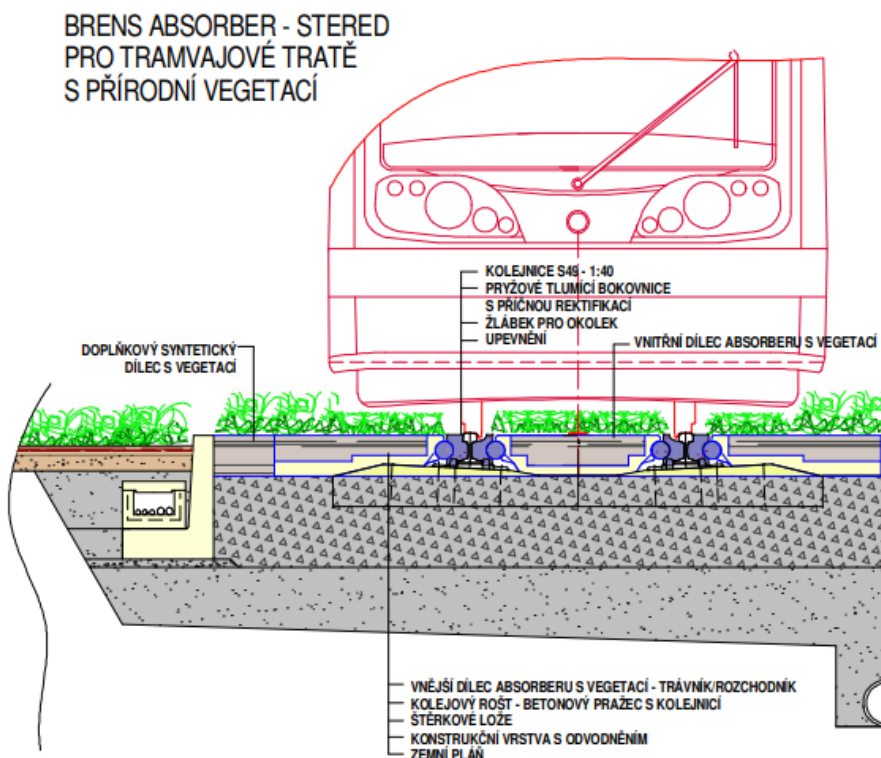


Obrázek 3.2 Vývoj délky zelených tratí v Německu [1]

První způsoby výstavby zelených tratí spočívaly ve vybudování vrstvy zeminy v konstrukci koleje a povrchu s intenzivně pěstovanými trávníky. V současnosti vznikají různé komplexní systémy pro zelené tratě s vyšší retencí vody a minimální údržbou a postupně se začínají využívat v některých úsecích tratí. Následující kapitoly obsahují nejprve přiblížení technologií používaných v ČR a na Slovensku a následně systémy používané jinde v Evropě. Rozsah informací k jednotlivým systémům se liší podle dostupnosti údajů od výrobců.

3.1 BRENS STERED

BRENS STERED je systém pro zelené tramvajové tratě vyvinutý v České republice. Základním prvkem této technologie je kolejový absorbér hluku BRENS STERED, tvořený výhradně z recyklovaných materiálů. Materiálové báze tvoří přepracované syntetické textilie z automobilového průmyslu a přepracovaný odpad z technické pryže [28]. Recyklát je slisován do jednotlivých dílců kolejového absorbéru, jejichž životnost se udává mezi 20 a 25 lety. Tyto dílce jsou vyrobeny na míru pro daný úsek trati podle požadované tloušťky a šířky. Po konci životního cyklu se báze od sebe oddělí a mohou se opět slisovat. Vlastní životnost syntetických textilií a pryže přesahuje 50 let a poté mohou být energeticky využity ke spalování [28].



Obrázek 3.3 Vzorový příčný řez tramvajové tratě s absorbérem BRENS STERED [29]

Povrch tratě je obvykle tvořen suchomilnými rozchodníky rodu *Sedum* nebo umělou trávou. Rostliny rodu *Sedum* jsou nenáročné a velmi dobře snášejí sucho. Předpěstované koberce během několika týdnů až měsíců prokoření až do recyklátu, kde získají přístup k zadržené vodě [20]. Jak je vidět na obrázku 3.4, tyto rostliny během roku mění barvu a na jaře kvetou.



Obrázek 3.4 Povrch tratě s rozchodníky na jaře, v létě a v zimě (Ostrava) [30]

Systém BRENS STERED lze doplnit o nízké protihlukové clony BRENS BARRIER, tvořené gabionovými koši s výplní z recyklovaných materiálů (obrázek 3.5). Protihluková clona je z vnější strany osázena vegetací.



Obrázek 3.5 Protihluková clona BRENS BARRIER [31]

Přínosem systému BRENS STERED je zejména retence dešťové vody díky vysoké nasákavosti při tvarové stálosti. Bylo prokázáno, že 1 metr dvoukolejné tramvajové tratě s absorbéry hluku BRENS STERED dokáže při 80 % nasycení ročně zadržet až 3 350 litrů dešťové vody [28], která se poté buď vypaří zpět a ochlazuje okolí, nebo ji spotřebuje vegetace na povrchu. Až po úplném nasycení přebývajících voda odtéká do stávajícího odvodňovacího systému. Oproti klasické travnaté trati se substrátem dokážou absorbéry udržet vodu i za velmi suchých období, zatímco trávník uschne a je nenávratně zničen. Povrch absorbéru je také pojízdný pro vozidla IZS, pouze je po jejich zásahu nutné provést kontrolu vegetace a volnosti koleje [32].

Dalšími výhodami jsou snížení hluku a vibrací – měření prokázala snížení hlukových emisí o 5 až 9 dB. Tento systém má také oproti tratím s betonovými panely nebo dlažbou přibližně 15x nižší akumulaci tepla, což v důsledku snižuje teplotu ovzduší, zejména v nočních hodinách a redukuje výskyt tepelných ostrovů [28]. Měrná tepelná kapacita koleje s absorbéry je 173 kJ/bm dvoukolejné tratě oproti 210 kJ/bm u trati s trávníkem na zemině [9].

BRENS SOLUTION					
Experimentální měření teploty povrchů kolejové dráhy					
TEPLOTA VZDUCHU (stupně Celsia)	30,0	DATUM / ČAS	06.08.2018 / JASNO / 13,00 HODIN / CET+1 H		
TEPLOTA POVRCHU (stupně Celsia)	MĚŘENÍ	ROZDÍL K TEPLOTĚ VZDUCHU		PROCENTNÍ NÁRŮST TEPLoty	
ŠTĚRKOVÉ LOŽE (kámen frakce 32/63)	43,2	zvýšení o	13,2		44%
KAMENNÁ DLAŽBA (kámen žula 150/150)	42,5		12,5		42%
ŽELEZOBETONOVÉ ZÁDLAŽBOVÉ PANELE	42,5		12,5		42%
EXTENZÍVNÍ TRÁVNÍK NA ZEMNÍM SUBSTRÁTU	40,2		10,2		34%
UMĚLÝ TRÁVNÍK NA ABSORBÉRU HLUKU	35,7		5,7		19%
ROZCHODNÍK NA ABSORBÉRU HLUKU	30,9		0,9		3%

Obrázek 3.6 Porovnání teplot jednotlivých povrchů trati [33]

Výhodou systému je jednoduchá realizace v nočních hodinách bez nutnosti kompletní výluky a snadné opravy kolejí. V případě nutnosti lze dílce snadno vyjmout a po provedení oprav vložit zpět na rozdíl od tradičního krytu se substrátem a trávníkem. Pokryv z umělého trávníku nebo rozchodníků rodu SEDUM vyžaduje minimální údržbu, není nutné řešit zavlažování ani sekání,

díky čemuž výrazně klesají náklady. V případě potřeby údržby geometrické polohy koleje lze na rozdíl od systémů se substrátem a trávnikem pouze vyndat absorbéry bez nutnosti náročného odtěžení vrstvy zeminy [9]. Z ekologického hlediska je významné využití recyklovaných a recyklovatelných materiálů, což v důsledku minimalizuje uhlíkovou stopu při výrobě jednotlivých komponentů. Na realizaci 100 m dvoukolejné trati je využito 16 500 kg syntetického recyklátu z výroby 5 555 nových osobních aut a 27 450 kg recyklované pryže z likvidace 3920 starých pneumatik [33]. Nevýhodou je pořizovací cena, která se pohybuje okolo 10 000 Kč za 1 m² [34].

Systém může být použit jak pro tradiční trať s pražci, tak na pevnou jízdní dráhu, a to jak pro novostavbu, tak na stávající trať. Tramvajové tratě využívající tento systém byly doposud realizovány v Ostravě a v Košicích.

3.1.1 Ostrava

Jako zkušební úsek BRENS STERED byl vybrán v Ostravě úsek mezi zastávkami Karolina a Náměstí Republiky o délce 135 m. Trať je zde vedena na samostatném drážním tělese v protisměrných směrových obloucích a s podélným sklonem necelé 4%, což způsobuje vyšší hlučnost tramvají. Provozní rychlost tramvají je zde 20 – 60 km/h [20]. Původně zde byly koleje na otevřeném štěrkovém loži (obrázek 3.7).



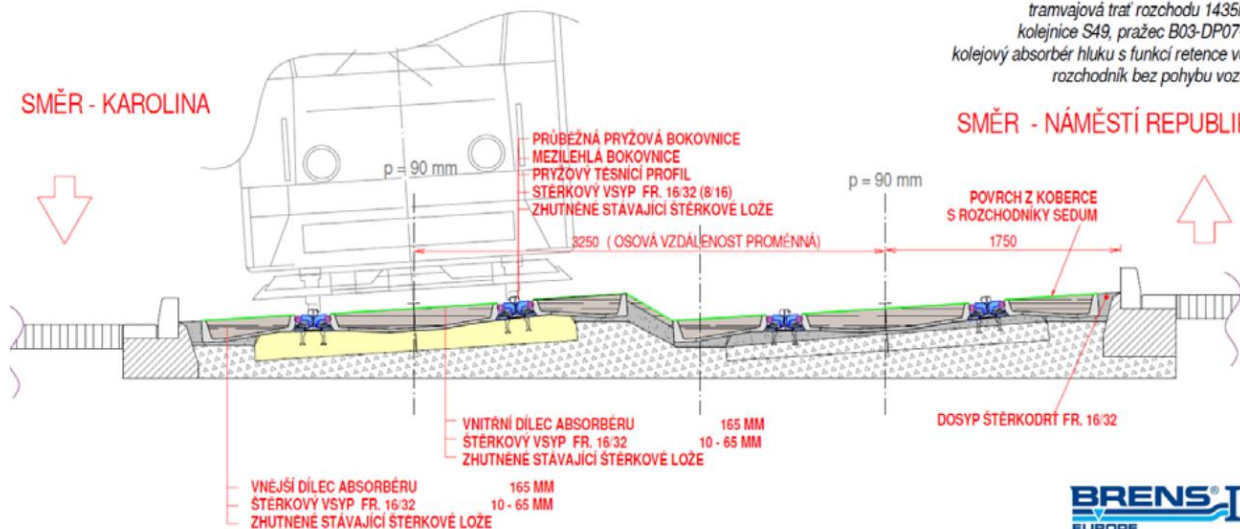
Obrázek 3.7 Původní stav zkušebního úseku [20]

Jako povrch byly zvoleny rozchodníky rodu Sedum z důvodu nenáročné údržby a odolnosti. Montáž kolejových absorbérů probíhala pouze v nočních hodinách, práce byla zahájena 4. srpna 2017. 22. srpna 2017 byl celý úsek dokončen [20]. Stavba stála 5,3 milionu Kč.

VZOROVÝ PRÍČNÝ ŘEZ
KOLEJ VE SMĚROVÉM OBLOKU S PŘEVÝŠENÍM

SMĚR - KAROLINA

SMĚR - NÁMĚSTÍ REPUBLIKY



Po dokončení na místě proběhlo měření hluku a naměřené hodnoty byly porovnány s výsledky před osazením kolejového absorbéru hluku s funkcí retence vody BRENS STERED:

Typ tramvaje	Před úpravou [dB]	Po úpravě [dB]	Snížení [dB]
T3 solo	84	75	9
Inekon 2001 TRIO	82	74	8
Vario LFR	82	75	7
Vario LFR + Vario LFR	84	78	6
Vario LF3/2	79	74	5
T3 + T3	83	78	5
KT8D5.RN1	86	82	4

25

3.1.2 Košice

Druhé místo, kde byly použity absorbéry BRENS STERED, jsou slovenské Košice. Zde byl vybrán úsek trati na Třídě SNP o délce přibližně 1 200 m, kde je tramvajová trať vedena v samostatném středovém tělese. Původní kryt tvořil asfaltový povrch. Absorbéry jsou vloženy do úseků mezi jednotlivými křižovatkami a jako povrch byly zvoleny nejen rozchodníky jako v Ostravě, ale i umělý trávník (obrázek 3.10). Výstavba začala 30. ledna 2018 a dokončena byla 15. dubna [35].



Obrázek 3.10 Rozhraní mezi povrchem z umělého trávníku a rozchodníků

Použití absorbéru na tomto úseku zajistí zadržení až 430 tisíc litrů vody ročně. Při výrobě jednotlivých dílců absorbérů BRENS STERED bylo přepracováno a následně zpracováno 223 800 kg odpadních syntetických textilií z automobilového průmyslu, tj. odpad z výroby cca. 74 600 nových osobních aut, a 366 583 kg odpadní technické pryže, tj. například z řízené likvidace 52 370 kusů ojetých pneumatik [35]. Měřeními bylo zjištěno snížení hluku oproti původnímu stavu v průměru o 8,2 dB [33].



Obrázek 3.11 Třída SNP po modernizaci

3.2 EDILON SEDRA

Edilon)(sedra je holandská firma zabývající se systémy železničních a tramvajových tratí, jejich odhlučněním nebo izolací. Součástí jejich činnosti je také vývoj zelených tramvajových tratí, pro něž vyvinuli několik systémů a technologií používaných po celé Evropě.

3.2.1 edilon)(sedra Kassel

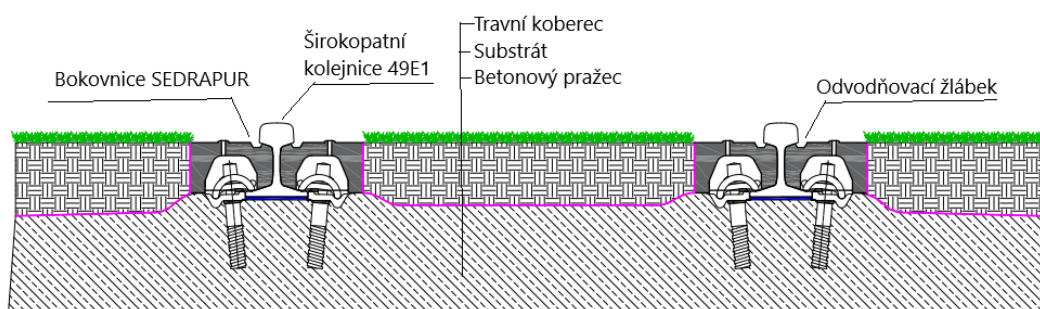
Kassel je nejčastěji používaný typ zelené trati od firmy edilon)(sedra. Pojmenovaný je podle německého města, kde byl použit poprvé. Jeho konstrukce kombinuje ekologické výhody vegetačního krytu a ekonomické a technické přednosti klasické trati. Systém je navržen tak, aby plně zapouzdřil drobné kolejivo a upevňovací. Používán je nejen na novostavbách, ale i při

rekonstrukcích stávajících tratí s otevřeným štěrkovým krytem. Hlavním prvkem systému jsou celogumové bokovnice SEDRAPUR, které přispívají k redukci hluku (obrázek 3.12).



Obrázek 3.12 Kolejnice s bokovnicí SEDRAPUR

Skladba funkčních vrstev systému Kassel je znázorněna na obrázku 3.13. Substrát je uložen na pražcích a štěrku mezi pražci a pod ním je geotextilie. Nevýhodou systému Kassel je možnost použití poměrně tenké vrstvy substrátu, při použití Vignolovy (šírokopatní) kolejnice maximálně 14,5 cm, při žlábkové 20,5 cm. Systém lze použít při vysazení trávy pod temenem kolejnice, při porostu rozchodníky je částečně použitelný i pro vysazení u paty kolejnice s vrstvou substrátu pouze 4 cm, ale není to ideální řešení [5].



Obrázek 3.13 Příčný řez zelenou tratí typu Kassel [36]

Systém Kassel byl použit například v Drážďanech, kde byly také měřeny emise hluku na trati se štěrkovým krytem a po rekonstrukci s vegetačním krytem. Byly naměřeny hodnoty snížení hluku až o více než 5 dB [37].

Typ tramvaje	Emise hluku [dB]	
	Štěrkový kryt	Travnatý kryt
T4D	53,2	50,4
NGT6DD	51,5	45,7

Tabulka 3.2 Emise hluku před a po rekonstrukci trati v Drážďanech [37]

3.2.2 edilon)(sedra USTS-Infundo

Edilon)(sedra USTS, neboli Urban Slab Track System (deskový systém městské trati), je systém sestávající z prefabrikovaných desek. Jedná se o kombinaci systémů edilon)(sedra LCS-L (systém úrovněného přejíždění) a edilon)(sedra ERS (systém zabudované kolejnice) [38].



Obrázek 3.14 edilon)(sedra LCS-L [38]

Prefabrikované betonové desky jsou uloženy na nosnou vrstvu, nebo na pěnové profily a následně je pod ně injektována malta. Kolejnice jsou v deskách trvale zakotveny v polyuretanu v ocelových nebo betonových žlebech, díky čemuž jsou vnější síly rovnoměrněji rozloženy do a pod desku. Oproti tradičním konstrukcím je značně sníženo riziko poškození kolejnic. Délka životního cyklu kolejnice je uváděna přes 30 let a desky přes 50 let [38].



Obrázek 3.15 Pokládka betonových panelů edilon)(sedra USTS [38]

Hlavní výhodou tohoto systému je velmi krátká doba instalace a tím zároveň snížené náklady. Výrobce uvádí, že během jednoho dne je možné postavit 200 m trati. Celý systém je velice odolný a nevyžaduje prakticky žádnou údržbu. Díky použití ERS je zajištěna ochrana proti bludným proudům a snížení hluku a vibrací. Systém je variabilní: lze použít jakýkoliv typ kolejnic a kryt trati může být tvořen asfaltem, makadamem, betonem, kačirkem nebo zelení [38]. V případě použití zeleně může být vysazena jak nízkým, tak vysokým způsobem. Nízká varianta je vhodná pouze pro rozchodníky, protože maximální tloušťka substrátu v tomto případě dosahuje pouze 8 cm [15].

Tento systém s travnatým krytem byl použit například v německém městě Saská Kamenice, kde bylo v roce 2012 renovováno 1 700 metrů tramvajové trati. V tomto případě byly prefabrikované betonové koryta spojeny příhradovými nosníky a na místě zality betonem. Jednotlivé desky byly vyrobeny pouze pro místo výměny [39].



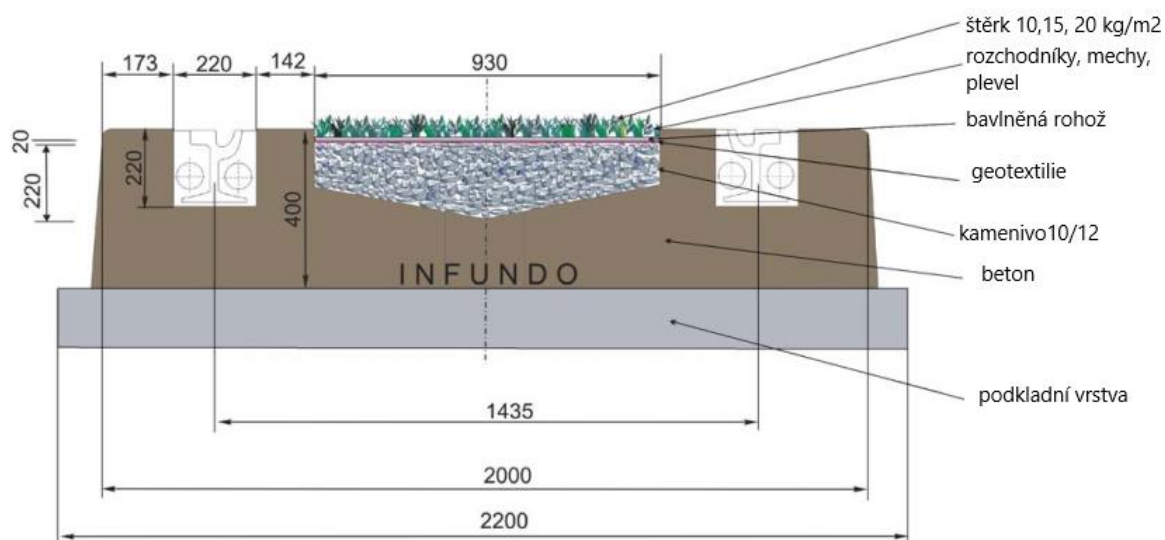
Obrázek 3.16 Osazování prefabrikovaných betonových žlabů [39]

Části trati s asfaltovým krytem jsou pojízdné i pro autobusy, travnaté úseky jsou určeny pouze pro tramvaje.



Obrázek 3.17 Zelená trať se systémem edilon)(sedra USTS v Saské Kamenici [39]

Systém USTS-INFUNDO byl použit například v Berlíně na Torstraße. Jednotlivé vrstvy jsou znázorněny na obrázku 3.18. Zde byl jako vegetační kryt použit extenzivní porost z rohože osázené rozchodníky, mechy a plevelem.



Obrázek 3.18 Systém INFUNDO v Berlíně [40]

Na této trati bylo mezi srpnem 2000 a srpnem 2001 prováděno měření množství srážek a odtoku srážkové vody. V následující tabulce jsou uvedeny výsledky měření, porovnané s asfaltovou plochou:

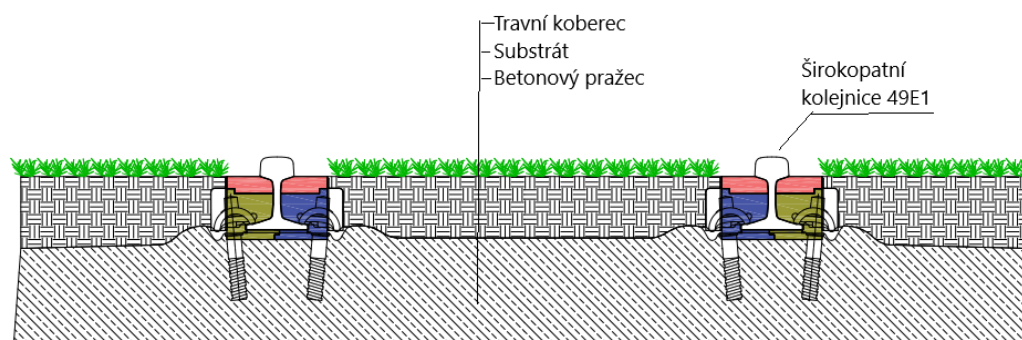
Období měření	Srážky (P)[mm]	Zelená trať			Asfaltový povrch	
		Naměřený odtok [mm]	% z P	Retence a evaporace [%]	Vypočítaný odtok [mm]	% z P
Léto	239	111	47	53	187	78
Zima	181	157	87	13	163	90
Přechodné období	335	191	57	43	247	74
Celkem	755	459	63	37	597	79

Tabulka 3.3 Výsledky měření odtoku srážkové vody na zelené trati Berlín, Torstraße [40]

Z výsledků měření vidíme, že obzvláště v letních měsících je vegetační povrch trati z hlediska zadržování srážkových vod a zlepšování klimatu výrazně vhodnější než asfaltový povrch.

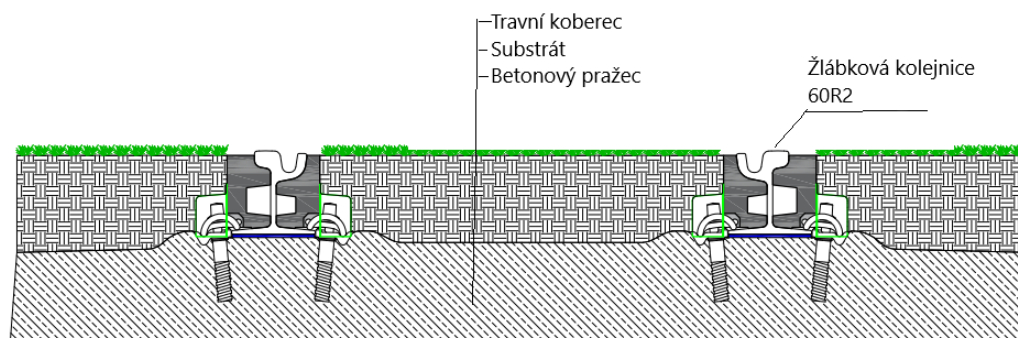
3.2.3 edilon)(sedra Mannheim-light a Poznan

Mannheim-light a Poznan jsou velmi podobné systémy. Mannheim-light nezapouzdřuje drobné kolejivo a upevňovadla, ale používá plastové ochranné kryty. Používá se pro Vignolovy (širokopatní) kolejnice, například 49 E1 nebo 41 E1. Skladba funkčních vrstev systému Mannheim-light je znázorněna na obrázku 3.19.



Obrázek 3.19 Příčný řez systémem Mannheim-light [36]

Poznan také nezapouzdřuje drobné kolejivo a upevňovadla, které ale na rozdíl od Mannheim-light zůstávají otevřené a nechráněné. Používá se pro žlábkové kolejnice, například 60 R2. Skladba jeho funkčních vrstev je znázorněna na obrázku 3.20.



Obrázek 3.20 Příčný řez systémem Poznan [36]

Systémy Mannheim-light a Poznan se obvykle používají s vegetací na úrovni temena kolejnice. Vhodné jsou jak pro porost trávou, tak rozchodníky. Tloušťka substrátu dosahuje okolo 20 cm [5].

3.2.4 edilon)(sedra EBS

Edilon)(sedra EBS, neboli Embedded Block System (systém zapuštěných bloků), je systém tramvajové trati složený z monolitických betonových bloků, na kterých jsou osazeny kolejnice (obrázek 3.21). Betonové bloky jsou elasticky ukotveny do předpřipraveného betonového podkladu, který je napevno vsazen do pevné jízdní dráhy. Výhodami tohoto systému jsou snadná a rychlá montáž, izolace proti bludným proudům a snížení hluku a vibrací [41].



Obrázek 3.21 edilon)(sedra EBS [41]

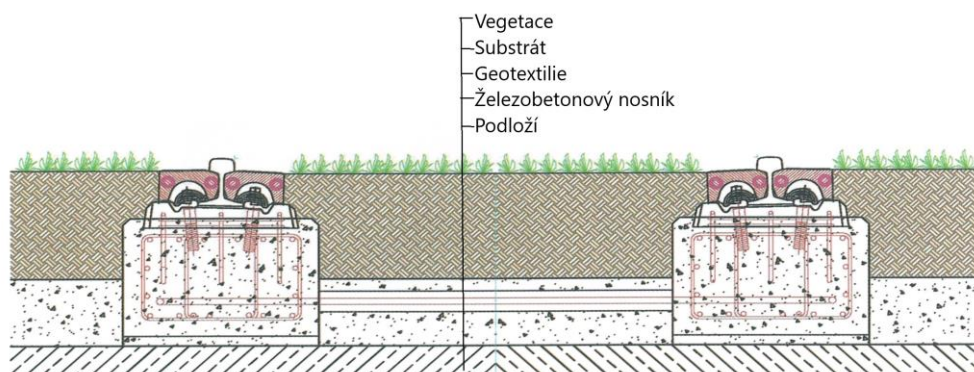
Systém Edilon)(sedra EBS byl využit v letech 2007–2010 při výstavbě nové tramvajové trati o délce 16,5 km ve španělské Vitorii-Gasteiz. V místech, kde nehrozí pojíždění trati vozidly, je kryt tvořen trávou (obrázek 3.22).



Obrázek 3.22 Zelená trať ve Vitorii-Gasteiz [42]

3.3 INPLACE

Systém zelené trati pro pevnou jízdní dráhu Travetto INPLACE byl vyvinut německou firmou HET Elastomertechnik a použit byl například ve Frankfurtu nad Mohanem. Skladba funkčních vrstev systému INPLACE je znázorněna na obrázku 3.13. Skládá se z navzájem propojených prefabrikovaných železobetonových nosníků, na kterých jsou upevněné kolejnice. Tento systém může být také sestaven monolitickým způsobem na místě. Konstrukce Travetto INPLACE dovoluje více než 50 cm tloušťky substrátu, proto je vhodná pro všechny druhy a výšky vegetace [5].



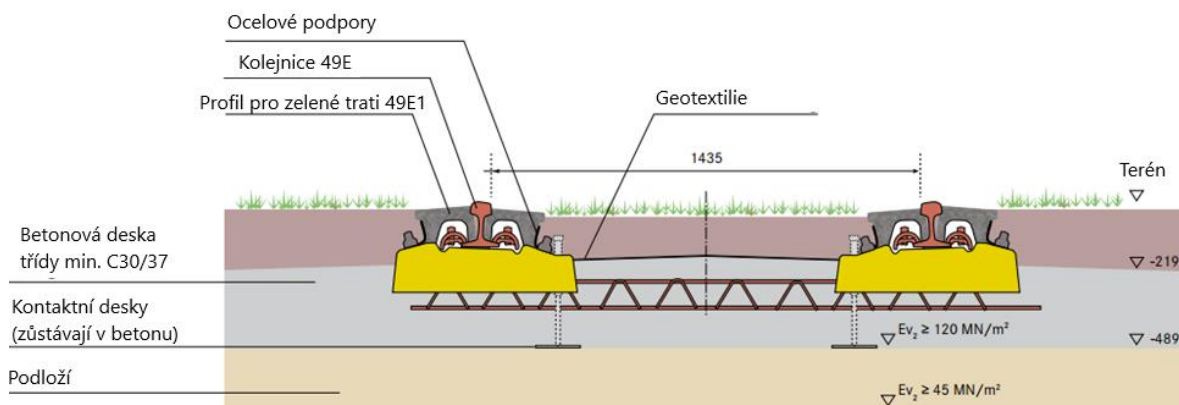
Obrázek 3.23 Příčný řez systémem INPLACE [5]



Obrázek 3.24 Systém INPLACE ve Frankfurtu nad Mohanem [43]

3.4 RHEDA CITY GREEN

RHEDA CITY GREEN je systém německé firmy Rail.One., vyvinutý ve spolupráci s firmou edilon(sedra. Jedná se o „zelenou“ alternativu k jejich systému RHEDA CITY. Funkční vrstvy systému jsou znázorněny na obrázku 3.25. Konstrukční řešení spočívá v dvoublokových pražcích s příhradovými nosníky zabetonovaných do betonové desky s minimální třídou betonu C30/37. Kryt trati je vegetační, tvořený trávnikem nebo rozchodníky rodu Sedum. Taková trať ve výsledku snižuje vibrace, hluk a zadržuje vodu, která se vypařováním vrací do okolního prostředí [6].



Obrázek 3.25 Příčný řez trati se systémem RHEDA CITY GREEN v Berlíně [6]

Kromě ekologických a estetických přínosů patří mezi další výhody systému RHEDA CITY GREEN vysoká kvalita geometrických parametrů trati díky využití prefabrikovaných prvků a dlouhá životnost. Nízká výška celé konstrukce zajišťuje dokonalou pozici kolejnic a vysokou úroveň bezpečnosti. Použít lze Vignolovy (šírokopatní) i žlábkové kolejnice. Vegetace může být vysázena u temena i u paty kolejnice, v tomto případě však nelze použít travnatý kryt, z důvodu nedostatečné tloušťky substrátu. Ta se pohybuje u vegetace u temena kolejnice okolo 25 cm, u paty mezi 4 až 11 cm [5].

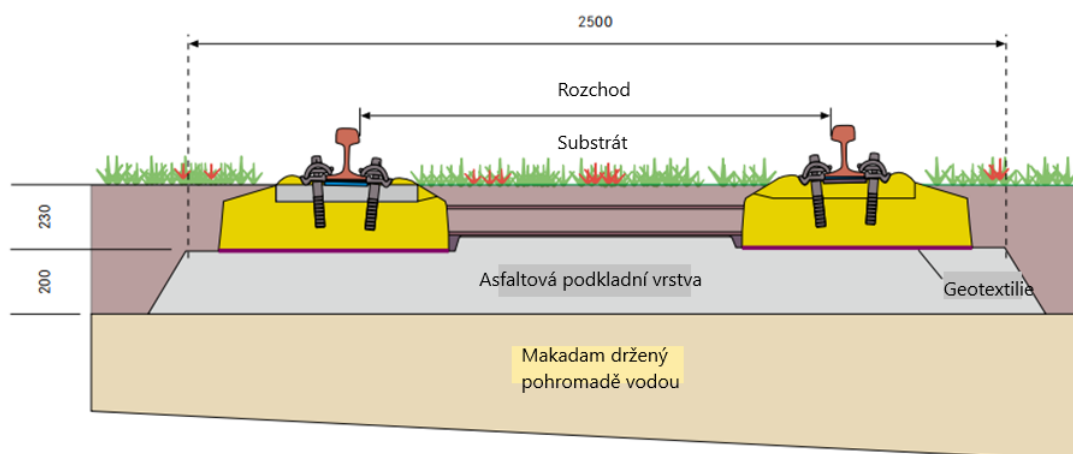
Systém RHEDA CITY GREEN byl aplikován jak v Německu, kde se používá například v Berlíně na 36 km tramvajových tratí, Karlsruhe (přes 10 km), nebo Mannheimu (přibližně 10 km), tak i v jiných částech Evropy, například v holandském Haagu (1,2 km), skotském Edinburghu (přes 3 km) nebo polském Sosnowci (5 km) [6].



Obrázek 3.26 Povrch trati v polském Sosnowci s použitým systémem RHEDA CITY GREEN [6]

3.5 ATD-G

ATD-G je druhým systémem zelených tratí od firmy Rail.one. Tato zkratka znamená „Asphalt supporting layer for Track Direct support – Green“, tedy „asfaltová podkladní vrstva pro přímé uložení tratě – zelená“. Příčný řez systémem ATD-G je znázorněn na obrázku 3.27. V tomto systému jsou traťové panely složeny z betonových dvoublokových pražců a kolejnic, a celý tento panel je uložen na asfaltovou podkladní vrstvu [6]. Kryt trati je tvořen vegetací, opět trávou nebo rozchodníky rodu *Sedum*. Zpočátku byla vegetace v úrovni pražců, ale postupem času v souvislosti se současným trendem se začala používat varianta s vegetací na úrovni hlavy kolejnice.



Obrázek 3.27 Příčný řez tratí se systémem ATD-G a nízkým vegetačním krytem [6]

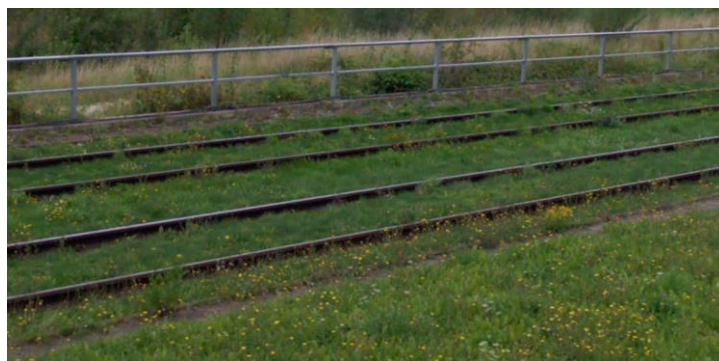
Výhodami systému ATD-G jsou stabilita trati a dlouhá životnost. Pozitivem je také rychlost výstavby a vysoká flexibilita konstrukce.

ATD-G se začal používat v roce 1995 v Berlíně, kde byl realizován pilotní projekt. Zde byla vegetace ve výškové úrovni pražců. Po úspěchu tohoto projektu Berlínská dopravní společnost BVG rozhodla, že ATD-G bude standardním řešením pro další projekty. Do dnešního dne byl ATD-G implementován na více než 22 km berlínských tramvajových tratí (obrázek 3.28) [6]. V pozdějších projektech byla vegetace vysazována až na úrovni hlavy kolejnic.



Obrázek 3.28 Trať s ATD-G na berlínské Prenzlauer Promenade [44]

V Hannoveru v rámci zlepšování infrastruktury pro Světovou výstavu EXPO2000 dopravní podnik využil ATD-G na přibližně 8 km předměstské trati na výstaviště. Kryt byl tvořen rohožemi s rozchodníky a vysázeným trávnickem, obojí do výšky pražců. Podle firmy RailOne vegetaci v prorůstání a zakrývání kolejnic zabraňují betonové desky uložené mezi pražci [6].



Obrázek 3.29 Trať s ATD-G v Hannoveru [44]

V Kolíně nad Rýnem byla zelená trať se systémem ATD-G zprovozněna v dubnu 2003 na ulici Markgrafenstrasse. Úsek měří 2 kilometry a je osázen rozchodníky rodu *Sedum* ve výšce pražců. Z důvodu přísných požadavků na omezení hlučnosti a vibrací byl použit systém upevnění kolejnic E14 Vossloh [6]. Ten používá vysoce pružnou podložku, která tlumí vibrace do okolí a snižuje hlukovou zátěž [45].

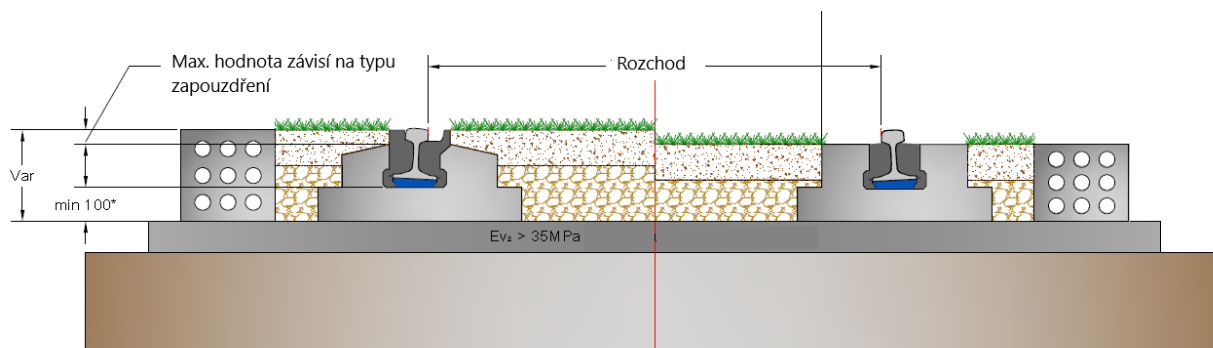
V Drážďanech byl ATD-G instalován v roce 1996 na úseku dlouhém 1 400 m. Trávník byl na úrovni hlavy kolejnice a byl osázen ve formě rohoží. Speciální bokovnice snižují hluk a zabraňují trávníku prorůst až na kolejnici. Aby byl umožněn průjezd vozidlům záchranných složek, panel byl naplněn směsí minerálních materiálů pro odvodnění a v oblasti trávníku byla instalována plastová „plášt“ . Trať je dosud ve výborném technickém stavu a splňuje všechny požadavky [6].

3.6 PANDROL QTRACK

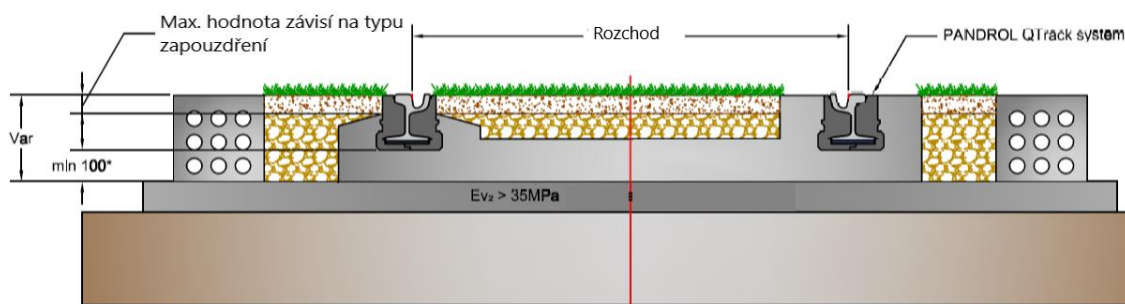
PANDROL je firma železničního průmyslu z Velké Británie založená v roce 1937. Po rozdělení společnosti CDM, zaměřené na řešení zvukově izolačních systémů, převzal PANDROL část této firmy zaměřenou na železniční a tramvajové systémy.

Firma Pandrol vyvinula systém pevné jízdní dráhy Pandrol QTrack®, na který lze jako kryt použít asfalt, dlažbu, kamenivo a také vegetační kryt. U tohoto systému jsou kolejnice kompletně zapouzdřené elastickými prefabrikovanými profily, vyrobenými z pneumatik na konci svého životního cyklu. Výhodou jsou dobré izolační vlastnosti proti bludným proudům i vibracím. Tlumení vibrací je řešeno tuhostí podpatního pásu podle lokální potřeby, kdy lze použít

technologie QTrack® XP dosáhnout snížení emise hluku až o 12 dB. Kolejnice je nepřetržitě podporována pro lepší distribuci zatížení. Při použití systému QTrack nejsou zapotřebí pražce ani spojovací tyče. Celý systém je pevný, poměrně jednoduchý, rychlý na realizaci a kompatibilní jak s Vignolovými (šírokopatními), tak žlábkovými kolejnicemi [11]. Příčný řez oběma typy je zobrazen na obrázku 3.30, resp. obrázku 3.31.



Obrázek 3.30 Příčný řez systémem Pandrol QTrack® s Vignolovými kolejnicemi [11]



Obrázek 3.31 Příčný řez systémem Pandrol QTrack® s žlábkovými kolejnicemi [11]

3.6.1 Instalace

Systém je možné instalovat třemi způsoby: QT JIG je monolitická betonová deska, QT BEAM jsou integrované prefabrikované betonové trámy a QT SLAB je integrovaná prefabrikovaná betonová deska.

Při způsobu QT JIG se na připravené kolejnici připevní vodící prvky JIG ve vzdálenostech 3 metry od sebe, vybetonuje se betonová deska a aplikuje horní vrstva, kterou může být asfalt, dlažba nebo travnatý kryt. Tato metoda instalace je velmi rychlá, lze takto postavit až 144 m trati denně [11].



Obrázek 3.32 Betonování systému QT JIG [11]

U systému QT BEAM jsou kolejnice zabudovány do prefabrikovaných betonových trámů. Používá se zejména při rekonstrukcích stávajících tratí, protože umožňuje projíždění tramvají během dne a práci v noci. Je kompatibilní s jakýmkoliv typem krytu [11].

Systém QT SLAB se skládá z betonových prefabrikovaných panelů o délce až 18 metrů. Jeho hlavní výhodou je extrémně rychlá instalace, a proto se používá na místech, kde není možné dlouhodobě přerušit dopravu [11].

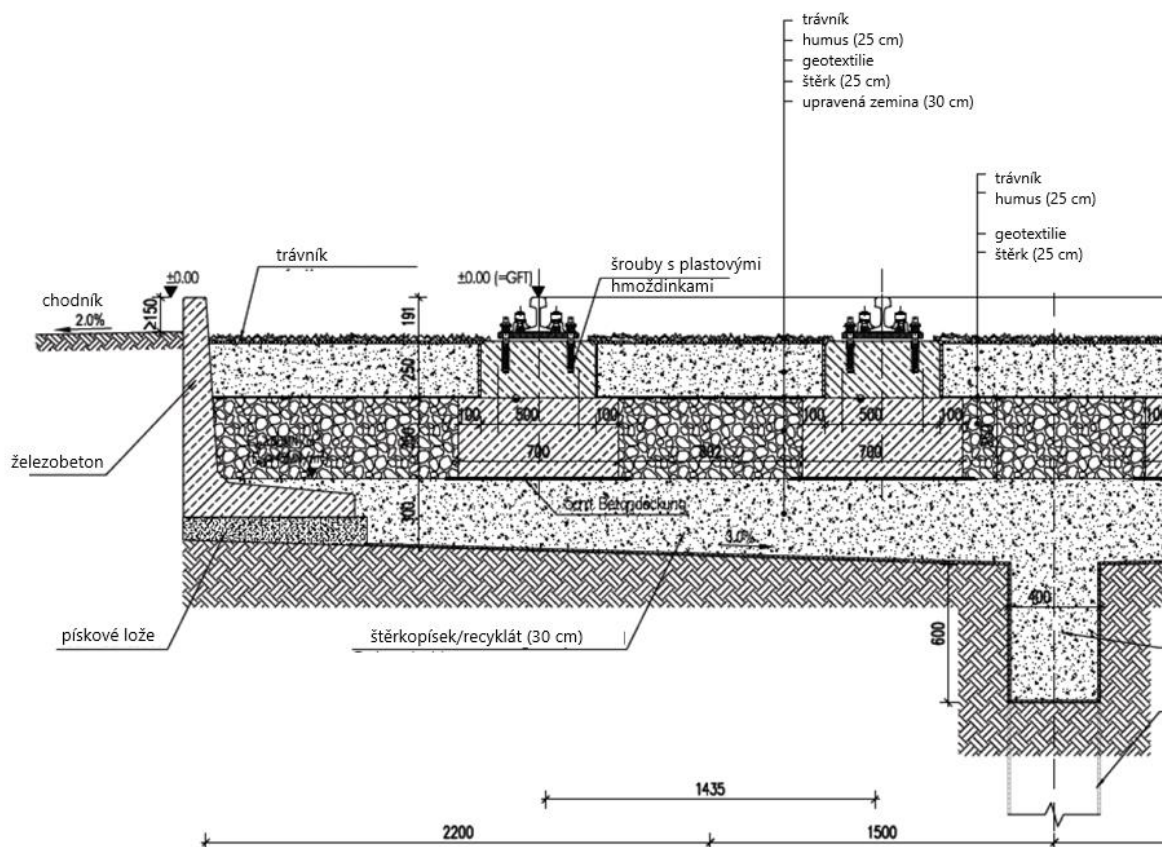
3.6.2 Použití

Zelené trati se systémem QTrack® byly realizovány po celém světě, z Evropy můžeme například uvést Athény, Bergen, Segedín, Budapešť, Zaragozu nebo Brusel. Na všech těchto místech byla zvolena vegetace z přírodního intenzivně pěstovaného trávníku, pouze v Budapešti byla jako kryt použita umělá tráva (obrázek 3.33).



Obrázek 3.33 Zelená trať s krytem z umělého trávníku v Budapešti

Výstavba tramvajové trati v Aténách měla souvislost s pořadatelstvím Olympijských her v roce 2004. Výstavba 27 km trati stála 340 milionů eur a byla realizována v období mezi březnem 2002 a červencem 2004. Na mnoha místech má trať travnatý kryt a je obklopena vysázenými stromy [46].



Obrázek 3.36 Příčný řez tramvajovou tratí s nízkou vegetací ve Vídni [47]

3.7.2 Freiburg

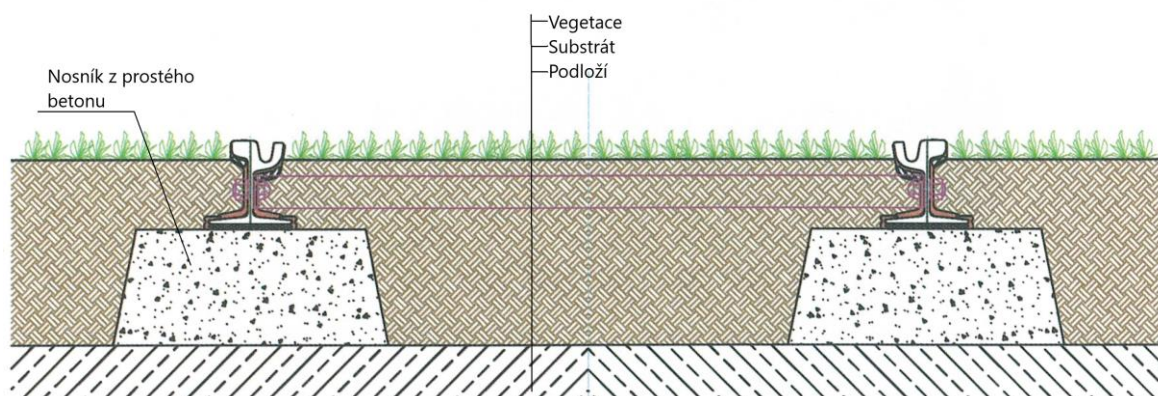
Freiburg je město s komplexním přístupem k řešení dopravy, a jedním z jeho cílů je omezení automobilové dopravy ve městě a upřednostňování kvalitního životního prostředí. Součástí této politiky je realizace zelených tramvajových tratí, které ve Freiburgu najdeme na mnoha místech, někdy také po okrajích osázených stromy (obrázek 3.37) [48]. Tyto trati začaly vznikat po roce 1980 a Freiburg byl jedním z pionýrů zelených kolejí.



Obrázek 3.37 Zelená trať ve Freiburgu [49]

Ve Freiburgu se používá systém trati s kolejnicemi upevněnými na nosnících z prostého betonu. Funkční vrstvy systému jsou znázorněny na obrázku 3.38. Jako vegetační kryt je použita

pouze tráva, která je vysázena těsně pod temenem žlábkové kolejnice. Tloušťka substrátu je 40-45 cm [5].



Obrázek 3.38 Příčný řez zelenou tratí ve Freiburgu [5]

4 NÁVRH ZELENÉ TRAMVAJOVÉ TRATI NA NOVÝCH SADECH

Cílem praktické části této práce je porovnat různé varianty zelené trati na úseku tramvajové trati v Brně na ulicích Nové Sady a Nádražní v úseku od křižovatky s ulicí Husovou po křižovatku s ulicí Poříčí. Úsek trati na ulici Nádražní je v běžném provozu využíván linkami 1 (Řečkovice – Bystrc, Ečerova), 2 (Židenice, Stará Osada – Modřice, smyčka), 8 (Líšeň, Mifkova – Starý Lískovec) a 10 (Stránská skála – Bohunice, Švermova). Úsek na ulici Nové Sady využívají tramvaje 8 a 10. V tomto úseku se nachází zastávky Soukenická a Křídlovická. Tramvajová trať je umístěna v tělese pozemní komunikace, přičemž po obou stranách se nacházejí jízdní pruhy, od tramvajového tělesa fyzicky oddělené.

4.1 SOUČASNÝ STAV

Úsek trati na ulici Nádražní mezi křižovatkami s ulicí Hybešovou a s ulicí Husovou se skládá ze dvou dvoukolejných rovnoběžně vedoucích tratí a je přibližně 60 m dlouhý (od km 0,000 po km 0,059). Koleje jsou vedeny v osově vzdálenosti cca 3000 mm. Celý tramvajový pás je zatravněn a od přilehlé pozemní komunikace je oddělen ostrůvkem, který je rovněž zatravněn (obrázek 4.1). Celý úsek je vybaven postřikovým zavlažovacím systémem. Tloušťka substrátu dosahuje pouze cca 12 cm, ale díky pravidelnému zavlažování nedochází k degradaci trávníku. Odhad nákladů na zavlažování tohoto šedesátimetrového úseku v současnosti činí ročně přibližně 100 000 Kč.



Obrázek 4.1 Současný zelený tramvajový pás na ulici Nádražní [50]

Úsek trati na ulici Nové Sady mezi křižovatkami s ulicí Hybešovou a ulicí Poříčí se skládá z dvoukolejné trati a je dlouhý zhruba 617 m (od km 0,091 po km 0,708). Koleje jsou vedeny v osově vzdálenosti cca 3000 mm. Podklad kolejového roštu po celé délce tvoří DZP panely, kryt tramvajové trati tvoří zádlahové panely. Tramvajový pás je od přilehlé pozemní komunikace oddělen ostrůvky osazenými keři (obrázek 4.2). Použity byly běžné druhy dřevin, jako zimolez obecný (*Lonicera xylosteum*), ptačí zob obecný (*Ligustrum vulgare*) a weigelií růžová (*Weigela florida*). Na začátku úseku u křižovatky s ulicí Hybešovou je umístěna zastávka Soukenická (začátek nástupní hrany v km 0,103, konec nástupní hrany v km 0,162), na konci úseku je situována zastávka Křídlovická (začátek nástupní hrany v km 0,610, konec nástupní hrany v km 0,691). Zastávky mají dlážděnou nástupní plochu a výška nástupní hrany je 320 mm. Z obou stran zastávek jsou zřízeny přechody pro chodce.



Obrázek 4.2 Pohled na stávající stav trati na ulici Nové Sady

Rekonstrukce obou těchto na sebe navazujících úseků je nutná mimo jiné z důvodu koroze kolejnic v úseku ulice Nádražní, jelikož při původní realizaci travnatého krytu nebyly ošetřeny antikorozním nátěrem. V obou úsecích také došlo k výškovému i bočnímu opotřebení kolejnic a k deformacím v jejich směrové poloze. Kolejnice budou nahrazeny za nové tvaru NT 3. Základňové panely jsou na některých místech v nesprávné poloze a na některých místech vystupují nad temena kolejnic. Tělesa odvodňovačů je nutné vyměnit z důvodu jejich špatného stavu. V zastávkách je vlivem používání rozmrazovacích posypů povrch zákrytových panelů degradován až na úroveň výztuže. Nástupní hrana je navíc nezvykle vůči zbytku zastávek v městě Brně umístěna ve výšce 320 mm, což znemožňuje provoz některých druhů tramvají. Chodníky a zastávky nejsou opatřeny úpravami pro osoby s omezenou schopností pohybu a orientace. Všechny tyto nedostatky budou díky rekonstrukci odstraněny a napraveny.

Výměna krytu tvořeného základňovými panely za vegetační kryt napomůže zlepšení mikroklimatu, retenci dešťové vody a má i další výhody zmíněné v teoretické části této práce. Keře v úseku na ulici Nové Sady nyní tvoří neprostupnou pohledovou bariéru podél tramvajové tratě, což není vhodné z hlediska urbanistického uspořádání uličního prostoru. V keřích se také zachytávají odpadky unášené větrem.

4.2 NAVRHOVANÝ STAV

Pro rekonstrukci tohoto úseku trati byl vytvořen projekt zelené trati s travnatým krytem. Trať je v tomto návrhu od komunikace oddělena lučním porostem. Jako alternativní řešení navrhuji dvě varianty zelené trati za použití systému kolejových absorbérů BRENS STERED. Trať bude od silnice oddělena buď extenzivním trávníkem, nebo štěrkovou zahradou.

Ve všech případech dojde k výměně stávajících kolejnic NT 3 a Ri 59 za nové kolejnice NT 3. Podkladní pryžový pás bude také kompletně vyměněn za nový. DZP panely budou v rozsahu cca 10 % vyrovnány a následně budou upevněny nové kolejnice opatřené bokovnicemi v prostoru komory kolejnice. V místech původní stavbou zamýšlených, ale nerealizovaných přechodů (cca km 0,250 a km 0,365) bude zrušeno snížení obrubníku a budou zde odstraněna stávající zábradlí stejně jako na zastávkách. Zastávky budou nově předlážďeny a opatřeny úpravami pro osoby s omezenou schopností pohybu a orientace, nástupní hrana bude umístěna do výše 200 mm nad temenem kolejnice. Kryt tramvajové trati v zastávkách bude vyměněn za živičný z důvodu snadnější údržby. Skladbu živičného krytu tvoří asfaltový beton pro obrusné vrstvy tloušťky 50 mm, spojovací postřík, zbytkové množství pojiva 0,40 kg/m² a beton C30/37 tloušťky 150 mm. Napojení na odvodňovací systém bude provedeno nově, ale ve stávající poloze.

U všech variant také dojde k odstranění keřů oddělujících trať od pozemní komunikace v úseku ulice Nové Sady a stávajícího travnatého krytu na ulici Nádražní. Pás porostlý trávou na

ulici Nádražní oddělující tramvajovou trať od pozemní komunikace bude ponechán v současné podobě.

Situační výkresy a příčné řezy jednotlivých variant jsou součástí příloh této práce.

4.2.1 Varianta A - travnatý kryt

Navrhovaná varianta s travnatým krytem počítá s vytvořením vegetačního krytu v kolejišti z nízkého intenzivně pěstovaného a uměle zavlažovaného trávníku. Do kolejiště bude položena separační geotextilie 300 g/m² ze 100% syntetiky, na ni nopová folie a na ni opět filtrační geotextilie. Na geotextilii pak bude navrstven substrát v takové tloušťce, aby byl umožněn bezkolizní provoz tramvajových vozů, tedy přibližně 120 mm. Na něm bude položen koberec jemného parterového trávníku. Osazeny budou také pryžové bokovnice a kryty na upevňovadla. Zatravněné úseky budou odděleny od ostatních úseků nepřejízdnými prohlubněmi za účelem zamezení vjezdu vozidel na travu a zabránění jejímu poškození (km 0,000; km 0,058; km 0,173 a km 0,598). V prohlubni je na stávajícím DZP panelu položena separační syntetická geotextilie 300 g/m² a na ní je rozprostřena 30 mm vysoká vrstva šterku frakce 4/8. Nepřejízdné prohlubně budou opticky zvýrazněny a chráněny proti najetí zpomalovacími polštáři.

Trávník bude pravidelně zavlažován postřikem a kosen dle stavu porostu a počasí, předpokládá se cca 16 sečení za rok. Zdrojem vody pro automatický závlahový systém bude vodovodní řad, napojení bude provedeno novou vodovodní přípojkou s vodoměrnou šachtou (km 0,363). Ventily jsou ovládány pomocí bateriových ovládacích jednotek. Součástí zavlažovacího systému je i srážkové čidlo, které zamezí zavlažování v případě deště. Díky automatickému systému bude možné závlahu provádět rovnoměrně, v nočních či ranních hodinách bez nutnosti zaměstnávání osob zajišťujících ruční závlahu. K závlaze budou použity výsuvné postřikovače s rotačními tryskami. Systém je rozdělen do několika sekcí a naprogramován tak, aby nebylo zavlažováno více sekcí najednou.

Po odstranění keřů v pásu podél vozovky zde bude založen luční porost doplněný cibulovinami pro jarní efekt (obrázek 4.3). Tento porost bude ve většině plochy založen drnem základní výsevné sestavy, pouze ve vytipovaných místech bude položen drn květnaté louky se zvýšeným podílem kvetoucích dvouděložných bylin. Cibuloviny budou vysazeny před položením drnu. Luční porost bude zavlažován samostatnou závlahovou větví s vlastním režimem provozu. Závlaha bude prováděna pouze po založení a v případě sucha v letních měsících. Kosení louky se bude provádět dle potřeby cca 4x ročně.



Obrázek 4.3 Pohled na navrhovaný stav trati s travnatým krytem a lučním porostem

Spotřeba vody na zavlažování travnatého krytu je odhadnuta následujícím způsobem: trávník požaduje srážkovou výšku 21 – 28 mm/m² týden, tj. cca 3,0 – 4,0 mm/m²/den, což při předpokládané ploše pro závlahu 3525 m² vychází 10,6 – 14,1 mm³/den. Zavlažování bude spuštěno 120 až 150 dní v roce. Maximální spotřeba vody na rok je tedy 2115 m³.

Druhovité složení trávniku:

- **Trávy 96 %:** Psineček obecný (*Agrostis capillaris*) 'Víteček' 5 %, Pohánka hřebenitá (*Cynosurus cristatus*) 'Rožnovská' 5 %, Kostřava červená trsnatá (*Festuca rubra commutata*) 'Barborka' 17 %, Kostřava červená dlouze výběžkatá (*Festuca rubra rubra*) 'Reverent' 35 %, Kostřava krátce výběžkatá (*Festuca rubra trichophylla*) 'Viktorka' 10 %, Kostřava drsnolistá (*Festuca trachyphylla*) 'Dorotka' 7 %, Lipnice luční (*Poa pratensis*) 'Slezanka' 15 %
- **Byliny 3,5 %:** Řebříček obecný (*Achillea millefolium*) 0,1 %, Hvozdík kropenatý (*Dianthus deltoides*) 0,3 %, Svízel syřišťový (*Galium verum*) 0,4 %, Máchelka srstnatá (*Leontodon hispidus*) 0,2 %, Kopretina bílá (*Leucanthemum vulgare*) 2,5 %, Jitrocel prostřední (*Plantagomedia*) 0,3 %, Černohlávek obecný (*Prunella vulgaris*) 0,2 %, Pryskyřník hlíznatý (*Ranunculus bulbosus*) 0,2 %, Krvavec menší (*Sanguisorba minor*) 0,2 %, Mateřídouška vejčitá (*Thymus pulegioides*) 0,4 %
- **Jeteloviny 0,5 %:** Štírovník růžkatý (*Lotus corniculatus*) 0,2 %, Jetel plazivý (*Trifolium repens*) 'Pirouette' 0,3 %

Druhovité složení lučního porostu:

- **Trávy 80 %:** Psineček obecný (*Agrostis capillaris*) 1 %, Tomka vonná (*Anthoxanthum odoratum*) 5 %, Sveřep vzpřímený (*Bromus erectus*) 2 %, Kostřava červená trsnatá (*Festuca rubra commutata*) 5 %, Kostřava červená dlouze výběžkatá (*Festuca rubra rubra*) 30 %, Kostřava červená výběžkatá (*Festuca rubra trichophylla*) 10 %, Kostřava žlábkatá (*Festuca rupicola*) 5 %, Kostřava walliská (*Festuca valesiaca*) 3 %, Smělek štíhlý (*Koeleria macrantha*) 1,5 %, Smělek jehlancovitý (*Koeleria pyramidata*) 1,5 %, Bojínek tuhý (*Phleum phleoides*) 3 %, Lipnice smáčkнутá (*Poa compressa*) 8 %, Lipnice luční (*Poa pratensis*) 5 %
- **Byliny 15 %:** Řepík lékařský (*Agrimonia eupatoria*) 0,5 %, Řebříček obecný (*Achillea millefolium*) 0,6 %, Rmen barvířský (*Anthemis tinctoria*) 1 %, Chrupa luční (*Centaurea jacea*) 0,5 %, Chrupa čekánek (*Centaurea scabiosa*) 0,5 %, Čekanka obecná (*Cichorium intybus*) 0,2 %, Hvozdík svazčitý (*Dianthus armeria*) 1 %, Hvozdík kartouzek (*Dianthus carthusianorum*) 1 %, Třezalka tečkovaná (*Hypericum perforatum*) 1,2 %, Máchelka srstnatá (*Leontodon hispidus*) 0,8 %, Jitrocel kopinatý (*Plantago lanceolata*) 0,2 %, Jitrocel prostřední (*Plantago media*) 0,4 %, Mochna stříbrná (*Potentilla argentea*) 0,6 %, Mochna přímá (*Potentilla recta*) 0,8 %, Řimbaba chocholičnatá (*Pyrethrum corymbosum*) 0,6 %, Šalvěj luční (*Salvia pratensis*) 1,5 %, Šalvěj přeslenitá (*Salvia verticillata*) 0,8 %, Krvavec menší (*Sanguisorba minor*) 0,6 %, Silenka nadmutá (*Silene vulgaris*) 1,2 %, Čistec přímý (*Stachys recta*) 1 %
- **Jeteloviny 5 %:** Úročník bolhoj (*Anthyllis vulneraria*) 1,5 %, Štírovník růžkatý (*Lotus corniculatus*) 1 %, Tolice dětelová (*Medicago lupulina*) 0,5 %, Vičenec ligrus (*Onobrychis viciifolia*) 0,8 %, Čičorka pestrá (*Securigera varia*) 0,2 %, Jetel ladní (*Trifolium campestre*) 0,8 %, Jetel plazivý (*Trifolium repens*) 0,2 %
- **Cibuloviny:** Narcissus 'Carlton' 5000 ks, Tulipa praestans 'Fussilier' 3300 ks, Narcissus 'Passionale' 5 000 ks, Tulipa kaufmanniana 'Concerto' 3300 ks

4.2.2 Varianty B a C - kolejové absorbéry hluku BRENS STERED s rozchodníky

Jako alternativu k přechozímu systému navrhuji použít místo travnatého krytu kolejové absorbéry hluku BRENS STERED z recyklované pryže a z recyklátu technických syntetických textilií porostlé rozchodníkem, vyrobené na míru pro daný železniční svršek. Kolejový absorbér hluku je tvořen soustavami vnitřních a vnějších sendvičových panelů uložených uvnitř a vně koleje a pryžových tvarovek vložených průběžně do komory kolejnic, mezilehlých opěrek a průběžného uzavíracího pryžového profilu. Vegetační kryt je dodáván jako intenzivně předpěstovaný koberec směsi odrůd rozchodníků rodu *Sedum*. Vlastní rozchodníkový koberec obsahuje nosič pěstební substrátu z kokosové rohože a pěstební substrát s celkovou tloušťkou vrstvy do 15 mm. Výhodou rozchodníků je absence zavlažování a sečení, takže není nutné zřizovat vodoměrnou šachtu a rozvody vody. Pouze v počáteční fázi zakořeňování je v případě velkého sucha nutné zalévat povrch rozchodníků, když prostor mezi kokosovým nosičem a kolejovým absorbérem dlouhotrvajícím suchem přestane být vlhký. V pozdější fázi je jedinou nutnou údržbou občasné dosazování rostlinek nebo jejich ořez.

Nepřejížděné prohlubně u tohoto systému nejsou navrženy, jelikož absorbér dokáže unést zatížení vozidla a v případě nutnosti lze tramvajový pás přejet vozidlem záchranných složek. Občasné přejetí nepůsobí velké škody ani rozchodníkům, navíc v těchto prohlubních hrozí hromadění odpadků. Prostor zelené trati je oddělen od pozemní komunikace zpomalovacími polštáři.

Hlavní výhodou navrhovaného systému jsou nižší náklady na údržbu a vyšší retence dešťové vody ve srovnání s travnatým krytem.

Na ostrůvku oddělujícím tramvajový pás od pozemní komunikace navrhuji 2 varianty vegetace – první možností je vysazení extenzivního trávníku, druhou možností založení šterkové zahrady.

Druhé složení vegetačního koberce z rozchodníků: *Sedum album*, *Sedum album* cv. *Murale*, *Sedum reflexum*, *Sedum sexangulare* (acre), *Sedum spurium* cv.

4.2.2.1 Varianta B - s extenzivním trávníkem

Trávník oddělující tramvajovou trať od silniční komunikace je navržen jako extenzivní krajinný trávník nenáročný na stanovištní podmínky bez nutnosti umělého zavlažování. Po odstranění keřů je zemina rekultivována a na ni položen koberec krajinného trávníku. Trávník bude sečen podle potřeby cca 4x ročně. Doporučená druhová skladba trávníku je následující:

- **Trávy 98%:** Psineček tenký (*Agrostis capillaris*) 5 %, kostřava ovčí (*Festuca ovina*) 40 %, kostřava červená trsnatá (*Festuca rubra commutata*) 20 %, kostřava červená dlouze výběžkatá (*Festuca rubra rubra*) 15 %, kostřava červená krátce výběžkatá (*Festuca rubra trichophylla*) 10 %, jílek vytrvalý (*Lolium perenne*) 5 %, lipnice luční (*Poa pratensis*) 5 %
- **Byliny 2%:** řebříček obecný (*Achillea millefolium*) 0,2 %, chrpa luční (*Centaurea jacea*) 0,2 %, svízel syříškový (*Galium verum*) 0,2 %, pampeliška lékařská (*Taraxacum officinale*) 0,1 %, kopretina bílá (*Leucanthemum vulgare*) 0,1 %, bedrník obecný (*Pimpinella saxifraga*) 0,1 %, jitrocel kopinatý (*Plantago lanceolata*) 0,1 %, krvavec menší (*Sanguisorba minor*) 0,1 %, štirovník růžkatý (*Lotus corniculatus*) 0,1 %, tolice dětelová (*Medicago lupulina*) 0,1 %

U varianty B je navržen pás dlažby široký 0,5 m na okraji ostrůvku přiléhajícího k pozemní komunikaci, s příčným sklonem 1% směrem ke komunikaci. Zámková dlažba je uložena ve vrstvě kameniva frakce 8/16 mm vysoké 50 mm, podkladní vrstvu o mocnosti 200 mm tvoří kamenivo frakce 0-63 mm. Tento pás je od vegetace oddělen betonovým obrubníkem

v betonovém loži. Argumentem pro realizaci tohoto pásu je oddělení vegetace od přilehlých jízdnic a zamezení degradaci rostlin v zimním období působením posypových solí.

4.2.2.2 Varianta C - se štěrkovou zahradou

Ve druhé variantě je trávník oddělující trať od městské komunikace nahrazen tzv. štěrkovou zahradou osázenou trvalkami. Zemina se odstraní do hloubky cca 50 cm, na ni se navrství drenážní štěrk a nasype substrát, přes který bude uložena geotextilie. Na geotextilii se rozsype vrstva kačírku silná min. 10 cm. Výsadba se provádí vyříznutím křížového průřezu v geotextilii, zasazením rostliny a obsypáním zeminou a štěrkem. Součástí štěrkové zahrady jsou také cibuloviny, které kvetou dříve než většina trvalek a prodlužují tak vizuální účinek záhonů. Rostliny je nutné pravidelně zalévat v prvním roce po výsadbě, dokud se dobře nezakoření, a později pouze v období sucha. Doporučená druhová skladba štěrkové zahrady je následující:

- **10-15 % trvalky solitérní:** divizna velkokvětá (*Verbascum densiflorum*), juka vláknitá (*Yucca filamentosa*), ovsíř stálezelený (*Helictotrichon sempervirens*), pryšec mnohobarvý (*Euphorbia epithymoides*)
- **35-60 % trvalky skupinové:** třapatka nachová (*Echinacea purpurea*), hvězdnice alpská (*Aster alpinus*), dračík 'Phoenix Red' (*Penstemon hartwegii* 'Phoenix Red'), krásnoočko velkokvěté (*Coreopsis grandiflora*), šalvěj lékařská (*Salvia officinalis*), levandule lékařská (*Lavandula angustifolia*), denivka plavá (*Heimerocallis fulva*), Rozchodník nachový (*Sedum telephium*), Mák východní (*Papaver orientale*), kosatec bradatý (*Iris barbata*)
- **35-50 % trvalky pokryvné:** hvozdík sivý (*Dianthus gratianopolitanus*), lomikámen Burserův (*Saxifraga burseriana*), měrnice černá (*Ballota nigra*), huseník kavkazský (*Arabis caucasica*), silenka bezlodyžná (*Silene acaulis*), sluncovka kalifornská (*Eschscholzia californica*), tařice horská (*Alyssum montanum*)
- **5-10 % trvalky vtroušené:** např. chřastavec makedonský (*Knautia macedonica*), svíčkovec Lindheimerův (*Gaura lindheimeri*), agastache fenyklová (*Agastache foeniculum*), mavuň červená (*Centranthus ruber*), len vytrvalý (*Linum perenne*), sporýš argentinský (*Verbena bonariensis*)
- **cibuloviny (20-30 ks na m²)** – Narcissus 'Carlton', Tulipa praestans 'Fussilier', Narcissus 'Passionale', Tulipa kaufmanniana 'Concerto', modřenec arménský (*Muscari armeniacum*), Šafrán jarní (*Crocus vernus*)

Konkrétní kombinace druhů závisí na barvě květů, listů, plodů, a celkové struktuře rostliny, nebo jejím způsobu růstu. Přesná druhová skladba bude upřesněna po konzultaci s odborníkem.

U této varianty není vytvořen pás dlažby. Rostliny jsou od škodlivého vlivu posypových solí chráněny ponecháním 0,5 m širokého pásu štěrku přiléhajícího k silnici, kde nebudou rostliny vysazeny.

5 EKONOMICKÉ POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH VARIANT

V následující části práce jsou porovnány navrhované 3 varianty jak z hlediska nákladů životního cyklu, tak z nefinančních hledisek.

5.1 LCC

Pro porovnání jednotlivých variant z hlediska financí jsem zvolil výpočet life-cycle cost (LCC), tedy celkových nákladů vynakládaných v průběhu životního cyklu stavby. Uváděný životní cyklus zelené tramvajové koleje je 20 let. Představuje dobu, během které je možné kolej udržet v provozuschopném stavu bez výměny podstatných částí nebo celé konstrukce. Jako podklady pro zpracování rozpočtu byly použity cenová soustava RTS DATA, poskytnutá projektová dokumentace na zelenou trať Nové Sady a materiály poskytnuté společností BRENS. Cenová soustava RTS DATA je ucelený soubor podkladů, pravidel a metodických pokynů poskytujících podrobný popis obsahu stavebních nebo montážních prací, dodávek materiálů a souvisejících služeb. Cenová soustava je určena pro sestavení předpokládané hodnoty stavební zakázky ve všech fázích investičního procesu [51].

V rozpočtu jsou řešeny pouze vegetační úpravy, není řešena výměna kolejnic a další práce a materiály společné pro všechny konstrukční varianty (např. povrch zastávek, bezbariérové úpravy apod.). Ceny jsou uváděny včetně DPH. Podrobný položkový rozpočet jednotlivých variant je součástí příloh této diplomové práce.

5.1.1 Varianta A – travnatý kryt a luční porost

Při výpočtu nákladů životního cyklu pro variantu A byly do položky realizace započítány nové bokovnice, kryty upevňovačů a vegetace v kolejišti a na oddělovacím pásu. Do provozu bylo započítáno zavlažování a údržba trávníku. Cena za pitnou vodu pro zavlažování je za rok 2019, není počítáno se změnou ceny v průběhu životního cyklu. Celkové náklady během 20 let životního cyklu činí 22 601 820 Kč.

Část životního cyklu	Cena	Podíl
Realizace	9 357 029 Kč	41,40%
Provoz	8 063 041 Kč	35,67%
Likvidace	5 181 750 Kč	22,93%
LCC	22 601 820 Kč	

Tabulka 5.1 Náklady životního cyklu u varianty A

5.1.2 Varianta B – kolejový absorbér s rozchodníky a extenzivní trávník

Pro variantu B byly do položky realizace započítány kolejové absorbéry hluku s porostem rozchodníků a vegetace a pás dlažby na oddělovacím pásu. Do provozu byla započítána údržba trávníku na oddělovacím pásu. Pokud ve výpočtu počítáme s výrobou absorbérů na míru, celkové náklady během 20 let životního cyklu činí 37 936 429 Kč.

Část životního cyklu	Cena	Podíl
Realizace	34 600 717 Kč	91,21%
Provoz	508 992 Kč	1,34%
Likvidace	2 826 720 Kč	7,45%
LCC	37 936 429 Kč	

Tabulka 5.2 Náklady u životního cyklu u varianty B v případě výroby absorbérů na míru pro sledovanou stavbu

Pokud počítáme se sériovou výrobou absorbérů, náklady na realizaci klesnou a celkové náklady životního cyklu během 20 let činí 26 651 165 Kč.

Část životního cyklu	Cena	Podíl
Realizace	23 315 453 Kč	87,48%
Provoz	508 992 Kč	1,91%
Likvidace	2 826 720 Kč	10,61%
LCC	26 651 165 Kč	

Tabulka 5.3 Náklady u životního cyklu u varianty B za předpokladu sériové výroby absorbérů

5.1.3 Varianta C – kolejový absorbér s rozchodníky a štěrková zahrada

Pro variantu B byly do položky realizace započítány kolejové absorbéry hluku s porostem rozchodníků a štěrková zahrada na oddělovacím páse. Do provozu byla započítána údržba štěrkové zahrady na oddělovacím páse. Pokud ve výpočtu počítáme s výrobou absorbérů na míru, celkové náklady během 20 let životního cyklu činí 38 452 499 Kč.

Část životního cyklu	Cena	Podíl
Realizace	34 825 659 Kč	90,57%
Provoz	800 120 Kč	2,08%
Likvidace	2 826 720 Kč	7,35%
LCC	38 452 499 Kč	

Tabulka 5.4 Náklady u životního cyklu u varianty B v případě výroby absorbérů na míru pro sledovanou stavbu

Pokud počítáme se sériovou výrobou absorbérů, náklady na realizaci klesnou a celkové náklady během 20 let životního cyklu činí 27 167 235 Kč.

Část životního cyklu	Cena	Podíl
Realizace	23 540 395 Kč	86,65%
Provoz	800 120 Kč	2,95%
Likvidace	2 826 720 Kč	10,40%
LCC	27 167 235 Kč	

Tabulka 5.5 Náklady u životního cyklu u varianty C za předpokladu sériové výroby absorbérů

5.2 VLIV NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

Kromě rozdílů v nákladech životního cyklu je nutné u jednotlivých variant porovnat i nefinanční přínosy, týkající se náročnosti realizace a vlivu na životní prostředí.

5.2.1 Metodika hodnocení

Pro porovnání jednotlivých variant jsem zvolil multikriteriální analýzu. Tato metoda je pro tento případ nejvhodnější, protože se používá při rozhodování mezi několika alternativami a výsledkem je vždy jedna nejvýhodnější alternativa. Hodnocení spočívá v obodování většího počtu kvantifikovatelných kritérií. Prvním krokem hodnocení je tedy samotná identifikace jednotlivých posuzovaných kritérií [52].

5.2.1.1 Kvantifikace kritérií

Nejdůležitějším krokem, který má největší vliv na výsledek analýzy, je ohodnocení kritérií neboli jejich kvantifikace. Pokud je kritérium číselná proměnná, lze využít přímo její hodnotu. Je nutné ovšem dbát na to, aby vzájemný poměr hodnot odpovídal přínosu nebo ztrátě, který z hlediska kritéria přináší. Obvykle je lepší varianta hodnocena vyšším číslem [52].

Častější je ale každému kritériu přiřadit čísla například od 1 do 5, s tím že pokud je kritérium u dané alternativy velmi nevýhodné, dáme mu 1 bod, a naopak nejlepší možnou alternativu ohodnotíme číslem 5. V případě, že jsou některé alternativy rovnocenné, je možné přidělit jim stejné ohodnocení, není nutné, aby se hodnota ve všech řádcích tabulky navzájem lišila [52].

Pro potřeby diplomové práce jsem zvolil ohodnocení kritérií v rozmezí od 1 do 3. Hodnocení 1 znamená, že je kritérium u varianty nevýhodné nebo se neliší od původního stavu, při hodnocení 2 je dané kritérium výhodnější a hodnocení 3 znamená v dané situaci nejlepší možný přínos v rámci daného kritéria. Podrobnější odůvodnění počtu udělených bodů je uvedeno u popisu hodnocených kritérií.

5.2.1.2 Normalizace kritérií

Normalizací kritérií rozumíme přidělení váhy každému kritériu. Jednotlivým kritériím je nutné přiřadit váhy tak, aby pro nás důležitější kritéria měla větší váhu než ta méně důležitá. Součin bodového ohodnocení a váhy kritéria nám dá celkové bodové ohodnocení odpovídající významu kritéria [52].

Pro hodnocení kritérií jednotlivých variant zelených tratí jsem zvolil Saatyho metodu párového porovnání. Tato metoda spočívá ve vytvoření tabulky, do které zapíšeme do řádků i sloupců hodnocená kritéria a porovnáváme mezi sebou jejich důležitost. Velikost preference je vyjádřena přiřazením určitého počtu bodů z bodové stupnice opatřené deskriptory, uvedené v tabulce 5.6.

Počet bodů	Deskriptor
1	Kritéria jsou stejně významná
3	První kritérium je slabě významnější než druhé
5	První kritérium je dosti významnější než druhé
7	První kritérium je prokazatelně významnější než druhé
9	První kritérium je absolutně významnější než druhé

Tabulka 5.6 Saatyem doporučená bodová stupnice s deskriptory [53]

Pokud je kritérium uvedené v řádku významnější než kritérium uvedené ve sloupci, zapíše se do příslušného políčka počet bodů, kterým hodnotitel vyjadřuje velikost preference kritéria

v řádku vzhledem ke kritériu ve sloupci. Pokud je naopak kritérium ve sloupci významnější než kritérium v řádku, zapíše se do příslušného políčka převrácená hodnota zvoleného počtu bodů. Tento postup je znázorněn v tabulce 5.7.

Kritérium	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	Geometrický průměr řádků
K ₁		7	5	7	5	5	4,28
K ₂			1/3	1/3	3	1/3	0,50
K ₃				3	3	3	1,59
K ₄					1/3	3	0,72
K ₅						1/5	0,49
K ₆							0,83

Tabulka 5.7 Preference dvojic kritérií v Saatyho metodě [53]

Pomocí vytvořené tabulky stanovíme Saatyho matici. Prvky na diagonále této matice jsou jedničky, prvky nad diagonálou jsou obsaženy v tabulce. Prvky pod diagonálou získáme jako převrácené hodnoty odpovídajících prvků nad diagonálou [53].

$$S = \begin{bmatrix} 1 & 7 & 5 & 7 & 5 & 5 \\ 1/7 & 1 & 1/3 & 1/3 & 3 & 1/3 \\ 1/5 & 3 & 1 & 3 & 3 & 3 \\ 1/7 & 3 & 1/3 & 1 & 1/3 & 3 \\ 1/5 & 1/3 & 1/3 & 3 & 1 & 1/5 \\ 1/5 & 3 & 1/3 & 1/3 & 5 & 1 \end{bmatrix}$$

Obrázek 5.1 Saatyho matice [50]

Následně vypočítáme geometrický průměr jednotlivých řádků, tyto průměry znormujeme a dostaneme normované váhy souboru kritérií [53].

Kritérium	Váha dle Saatyho metody
K ₁	0,510
K ₂	0,059
K ₃	0,189
K ₄	0,086
K ₅	0,058
K ₆	0,099

Tabulka 5.8 Váhy kritérií dle Saatyho metody [53]

Získané váhy vynásobíme hodnocením jednotlivých kritérií. Sečtením těchto součinů dostaneme celkové bodové ohodnocení dané varianty. Varianta s nejvyšším počtem dosažených bodů je nejvýhodnější.

5.2.2 Ohodnocení jednotlivých kritérií

V této práci jsou kritéria ohodnocena body od 1 do 3, kdy 1 bod je nejhorší a 3 body nejlepší. V následující podkapitole jsou identifikována hodnocená kritéria a obodována u jednotlivých variant zelené trati na Nových Sadech.

5.2.2.1 Náklady životního cyklu

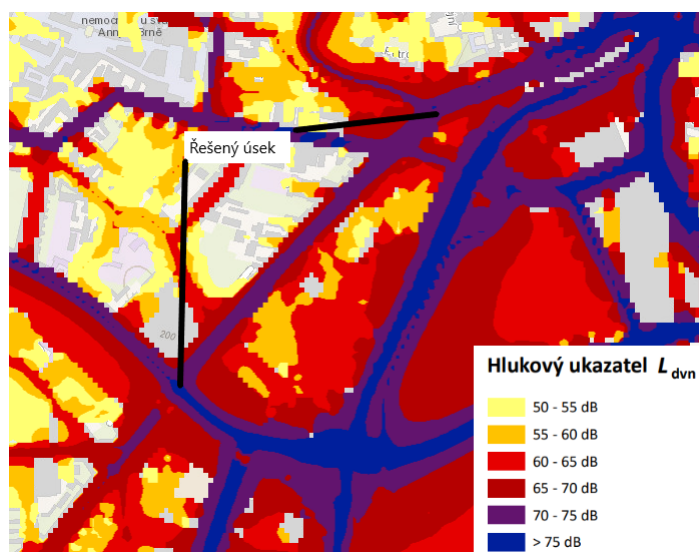
Náklady životního cyklu (LCC) byly vypočítány v kapitole 5.1. Náklady životního cyklu jsou bodově ohodnoceny tak, že varianta s nejnižšími náklady je ohodnocena 3 body a počet bodů u zbývajících 2 variant je vypočítán tak, aby poměr bodů odpovídal poměru sumy celkových nákladů životního cyklu.

Varianta	LCC	Bodové ohodnocení
A	22 601 820 Kč	3
B – výroba na míru	37 963 429 Kč	1,79
B – sériová výroba	26 651 165 Kč	2,54
C – výroba na míru	38 452 499 Kč	1,76
C – sériová výroba	27 167 235 Kč	2,50

Tabulka 5.9 Náklady životního cyklu - bodové ohodnocení

5.2.2.2 Tlumení hluku

Hlukový indikátor pro celkové obtěžování hlukem v průběhu celého dne L_{dvn} v místě řešeného úseku dosahuje hodnoty mezi 70 a 75 dB. Hodnota limitu hlukové zátěže podle nařízení vlády je 70 dB v denní době a 60 dB v noční době [54]. Oblast tedy tento limit překračuje a je žádoucí zde snížit hluk z tramvajové tratě.



Obrázek 5.2 Hluková mapa řešeného úseku [47]

Snížení hluku po realizaci travnatého krytu se obvykle pohybuje mezi 2 až 4 dB [6], v Drážďanech bylo naměřeno mezi 3 a 5 dB [37]. Po osazení kolejových absorbérů BRENS STERED bylo v Košicích naměřeno snížení hluku oproti původnímu asfaltovému kytu v průměru o 8,4 dB [33], v Ostravě proti původnímu otevřenému svršku podle typu tramvaje mezi 5 a 9 dB [20]. Na Nových sadech lze očekávat podobné hodnoty, vzhledem k tomu že zároveň dojde i k výměně kolejnic a osazení nových tlumicích podložek a bokovnic.

Varianta	Snížení hluku	Bodové ohodnocení
A	2 až 5 dB	2
B	5 až 8,5 dB	3
C	5 až 8,5 dB	3

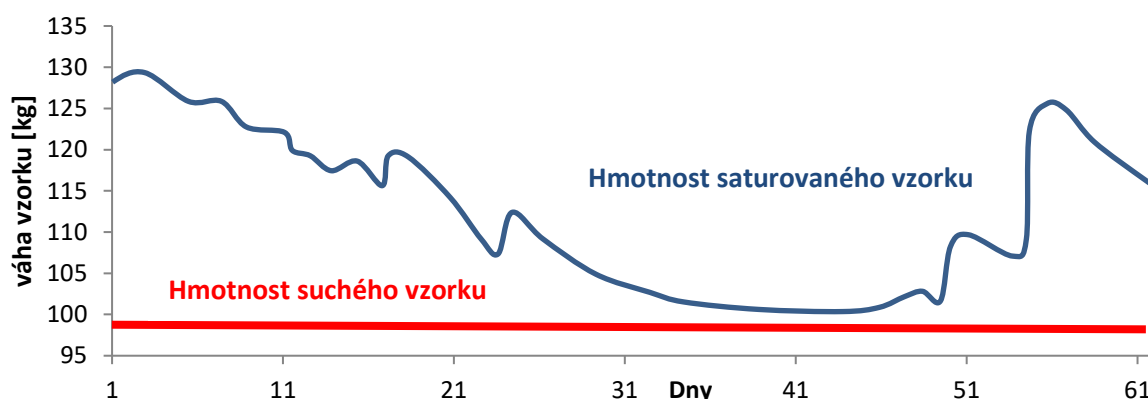
Tabulka 5.10 Předpokládané snížení hluku – bodové ohodnocení

Rozdíl mezi těmito 2 variantami je rozpoznatelný lidským uchem, z hlediska tlumení hluku jsou tedy mírně výhodnější varianty B a C s kolejovým absorbérem a jsou ohodnoceny 3 body.

5.2.2.3 Retence srážkových vod

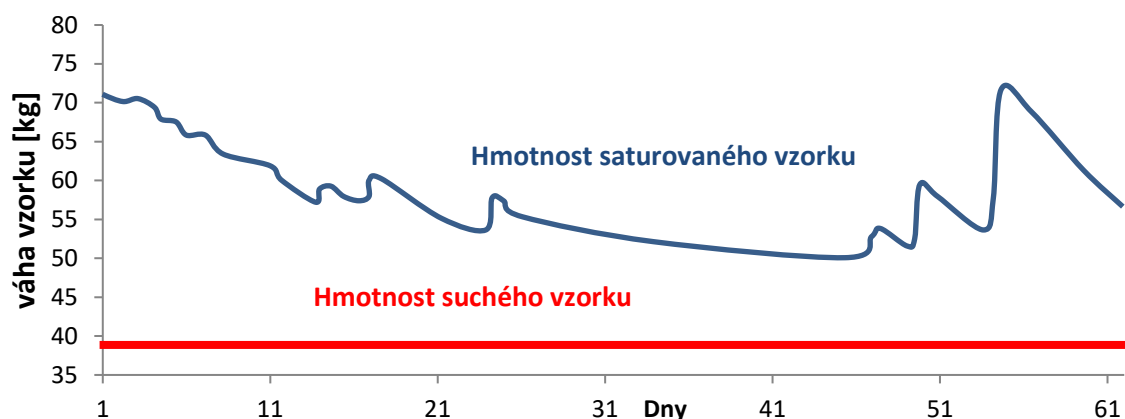
V Plzni probíhají experimenty zjišťující retenci srážek jednotlivých typů povrchu zelené trati. Pro potřeby této práce porovnávám data naměřená na povrchu z trávníku bez umělého zavlažování na substrátu a rozchodníků na kolejovém absorbéru BRENS STERED. Měření probíhá průběžným vážením jednotlivých vzorků, umístěných pod širým nebem a zachytávajícím srážky [33].

Na obrázku 5.3 je znázorněn nárůst hmotnosti vzorku trávníku na substrátu o ploše $0,66 \text{ m}^2$ v průběhu dubna a května roku 2018. Během tohoto období bylo množství zadržené dešťové vody přibližně $65 \text{ litrů na } 1 \text{ m}^2$, a oteklo a odpařilo se $81,5 \text{ litrů na } 1 \text{ m}^2$. Počáteční nasycení bylo $45 \text{ litrů na } 1 \text{ m}^2$, na konci měřeného období $26,5 \text{ litrů na } 1 \text{ m}^2$.



Obrázek 5.3 Retence vody ve vzorku trávníku na substrátu – duben a květen 2018 [31]

Obrázek 5.4 ukazuje nárůst hmotnosti testovacího vzorku kolejového absorbéru s porostem rozchodníku o ploše $0,66 \text{ m}^2$ v průběhu stejného období. Během tohoto období bylo množství zadržené dešťové vody přibližně $75 \text{ litrů na } 1 \text{ m}^2$, a oteklo $96,25 \text{ litrů na } 1 \text{ m}^2$. Počáteční nasycení bylo $48 \text{ litrů na } 1 \text{ m}^2$, na konci měřeného období $27,75 \text{ litrů na } 1 \text{ m}^2$.



Obrázek 5.4 Retence vody ve vzorku kolejového absorbéru s rozchodníky – duben a květen 2018 [33]

Z naměřených výsledků je zřejmé, že kolejový absorbér sice zachytí více dešťové vody, ale celková bilance obou typů povrchů je podobná. V průběhu experimentu došlo v důsledku dlouhodobého sucha k uhynutí trávníku okolo 45. dne referenčního období, zatímco v tomto období kolejový absorbér s rozchodníky zadržoval pořád 15 litrů vody na 1 m². Velký rozdíl je v rychlosti vysychání při delším suchém období, kdy nasycený substrát vysychá 2x rychleji než absorbér a bez zavlažování dochází k uhynutí trávníku a nástupu plevelné invaze [33].

V Plzni ve sledovaném období, tedy v dubnu a květnu, dosáhl celkový srážkový úhrn 79,3 mm.

	duben	květen	celkem
srážkové úhrny [mm]	19,1	60,2	79,3

Tabulka 5.11 Srážkový úhrn v Plzni ve sledovaném období [55]

Z těchto hodnot můžeme orientačně zjistit, kolik procent srážek zachytí který povrch trati:

	Množství zachycené vody [l/m ²]	Celkový srážkový úhrn [l/m ²]	Zachycené srážkové vody [%]
Trávník	65	79,3	81,97
Rozchodník na absorbérech	75	79,3	94,58

Tabulka 5.12 Retence vody na jednotlivých površích

Tyto hodnoty nyní lze aplikovat na řešený úsek tramvajové trati v Brně na Nových Sadech. Pro výpočet retence srážkových vod byla použita data z roku 2018 z meteorologické stanice Brno Slatina. Během tohoto roku byl celkový srážkový úhrn 415 mm, tedy 415 litrů na 1 m².

Srážky v Brně v roce 2018

	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec	celkem	prům. měsíční
srážkový úhrn [mm]	43,4	10,2	21,6	14,2	46,4	30,5	62,5	30,4	93,9	15,7	12,6	33,6	415,0	34,6

Tabulka 5.13 Srážkový úhrn v roce 2018 v Brně [56]

	Plocha trati [m ²]	Celkový srážkový úhrn [l/m ²]	Celkové množství srážkové vody [l]	Retence srážkové vody [%]	Množství zachycené srážkové vody ročně [l]
Varianta A	3525	415	1 462 875	81,97	1 199 119
Varianta B	3624	415	1 503 960	94,58	1 422 445
Varianta C	3624	415	1 503 960	94,58	1 422 445

Tabulka 5.14 Potenciální množství zachycené dešťové vody na zelené trati v Brně v roce 2018

Z provedených výpočtů vychází, že varianty B a C mají potenciál ročně zadržet zhruba o 19 % dešťové vody více než varianta A s trávnikem. V potaz je nutno brát skutečnost, že uvedené výpočty jsou pouze orientační. Výpočty byly prováděny pro trávník bez umělého zavlažování, zatímco varianta A umělé zavlažování obsahuje. Navrhovaný systém umělého zavlažování obsahuje dešťové čidlo, díky němuž při dešti nebude zavlažování spuštěno. Umělé zavlažování by tedy nemělo mít vliv na kapacitu retence substrátu. Díky zavlažovacímu systému navíc nedojde k situaci, kdy trávník uschne a zahyne vlivem sucha, což se stalo u testovacího vzorku.

V případě přívalových srážek sníží nevyčerpaná kapacita jak substrátu, tak absorbéru, rychlost odtoku vody do kanalizačního systému a oddálí zahlcení odvodňovacího systému. V celkovém důsledku zachycená dešťová voda vyživuje porost rozhodníků i trávniku, a odpařováním ochlazuje okolní prostředí. Tento efekt je výraznější u variant B a C, které ročně zachytí více dešťové vody než varianta A. Proto jsou varianty B a C ohodnoceny 3 body a varianta A 2 body, protože voda ze zavlažovacího systému také napomáhá zvýšení vlhkosti vzduchu díky evaporaci.

Varianta	Bodové ohodnocení
A	2
B	3
C	3

Tabulka 5.15 Retence dešťové vody – bodové ohodnocení

5.2.2.4 Spotřeba pitné vody

Varianta A s trávnikem má velkou ekologickou nevýhodu – na rozdíl od absorbéru, který zadržuje dešťovou vodu a nevyžaduje umělou závlahu, zavlažovaný trávník spotřebuje přibližně 2100 m³ pitné vody ročně (viz kapitola 4.2.1). Proto je varianta A ohodnocena pouze 1 bodem.

Varianta	Spotřeba pitné vody [m ³ /rok]	Bodové ohodnocení
A	2100	1
B	0	3
C	0	3

Tabulka 5.16 Spotřeba pitné vody – bodové ohodnocení

5.2.2.5 Snížení prašnosti

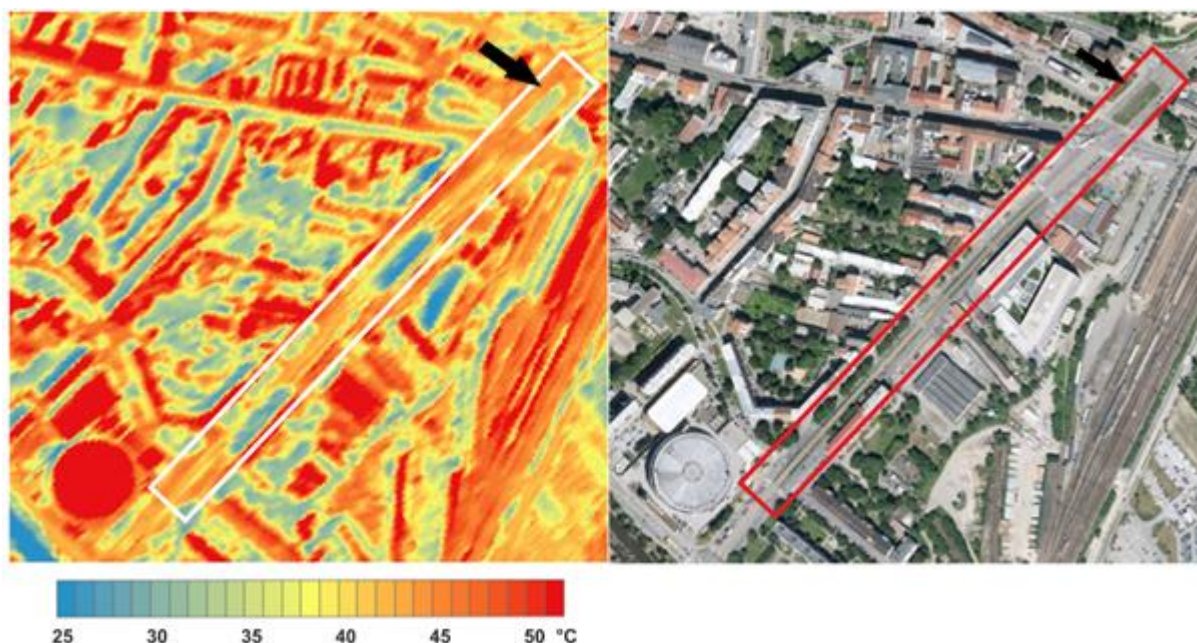
Všechny varianty snižují prašnost a zachycují polévaté částice prachu. U travnatého krytu by tato schopnost byla omezena v případě vyschnutí substrátu [34], k této situaci by ale při používání umělého zavlažování nemělo dojít. Všechny varianty jsou ohodnoceny 3 body.

Varianta	Bodové ohodnocení
A	3
B	3
C	3

Tabulka 5.17 Snížení prašnosti – bodové ohodnocení

5.2.2.6 Tepelná bilance povrchů a tepelné ostrovy

Obrázek 5.5 ukazuje teplotu povrchů v řešené oblasti. Údaje byly naměřeny 7. 7. 2015, kdy se teplota vzduchu na meteorologické stanici Brno-Tuřany pohybovala mezi 22 a 35 °C [56]. Na tramvajové trati kryté DZP panely dosahovaly teploty povrchu až okolo 45 °C. Náhrada panelů za vegetační kryt s nižší tepelnou akumulací bude mít příznivý vliv na teplotu povrchu a zlepšení mikroklimatu v této oblasti.



Obrázek 5.5 Mapa teplot povrchů 7. 7. 2015 s vyznačením zájmové oblasti a stávajícího travnatého krytu [14]

Podle provedených měření na testovacích površích při teplotě vzduchu 30 °C má povrch z rozchodníku na kolejovém absorbéru nárůst teploty oproti vzduchu pouze o 0,9 °C oproti trávniku, kde teplota narostla o 10,2 °C. Tato hodnota ovšem byla naměřena na nezavlažovaném trávniku degradovaném suchem [33]. V případě varianty 1, kde se počítá se zavlažovaným trávnikem, by k této situaci nemělo dojít a teplota povrchu by měla být srovnatelná s povrchem absorbérů s rozchodníky. Tento předpoklad potvrzuje i Obrázek 5.5 Obrázek 5.5 Mapa teplot povrchů 7. 7. 2015 s vyznačením zájmové oblasti a stávajícího travnatého krytu , ze kterého je patrná teplota stávajícího zavlažovaného trávniku v kolejišti okolo 33 °C.

Povrch ze zádlážbových panelů má měrnou tepelnou kapacitu 390 kJ/m², kolejový absorbér 26,5 kJ/m² a trávnik na substrátu 32 kJ/m² [33]. V tabulce 5.18 Tabulka 5.18 jsou porovnány měrné tepelné kapacity jednotlivých variant vegetačních krytů:

Varianta	Měrná tepelná kapacita povrchu [kJ/m ²]	Plocha [m ²]	Měrná tepelná kapacita celkem [kJ]	Bodové ohodnocení
A	32	3525	112 800	3
B	26,5	3624	96 000	3
C	26,5	3624	96 000	3

Tabulka 5.18 Měrná tepelná kapacita povrchů – bodové ohodnocení

Trať s travnatým krytem (varianta A) má měrnou tepelnou kapacitu celkem 112 800 kJ, zatímco trať s rozchodníky BRENS STERED (varianty B a C) 96 000 kJ. V celkovém důsledku jsou tedy varianty 2 a 3 mírně výhodnější s ohledem na redukci tepelných ostrovů, protože povrch trati se bude ráno pomaleji zahřívat a večer rychleji vychlázet. Další výhodou je nižší pravděpodobnost ztráty stability geometrické polohy koleje vlivem tepla. Nicméně v porovnání s původním krytem z DZP panelů, který má tepelnou kapacitu až 1 887 000 kJ, již nejde o tak významný rozdíl. Proto jsou všechny varianty ohodnoceny 3 body.

5.2.2.7 Produkce O₂

Výhodou trávy oproti rozchodníkům je vyšší produkce O₂ díky větší hustotě porostu. Varianta A je proto ohodnocena 3 body a varianty B a C 2 body.

Varianta	Bodové ohodnocení
A	3
B	2
C	2

Tabulka 5.19 Produkce O₂ – bodové ohodnocení

5.2.2.8 Využití recyklovaných materiálů

Ekologickou výhodou variant s kolejovými absorbéry je oproti variantě s trávnikem využití recyklovaných materiálů. Z výroby 1 osobního auta jsou využitelné 3 kg syntetického recyklátu a z likvidace 1 staré pneumatiky vznikne 7 kg recyklované pryže [33]. Při spotřebě 16 500 kg syntetického recyklátu a 27 450 kg recyklované pryže na 100 m dvoukolejně tratě [9] vyjde pro celý navrhovaný úsek spotřeba zhruba 122 000 kg syntetického recyklátu (40 666 aut) a zhruba 203 130 kg (29 000 pneumatik) recyklované pryže. Varianty B a C tedy dostávají 3 body.

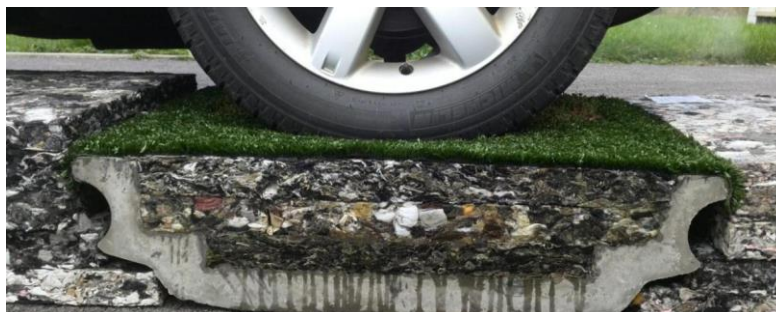
Varianta	Spotřeba recyklované pryže [kg]	Spotřeba syntetického recyklátu [kg]	Bodové ohodnocení
A	0	0	1
B	203 130	122 000	3
C	203 130	122 000	3

Tabulka 5.20 Využití recyklovaných materiálů – bodové ohodnocení

5.2.2.9 Pohyb záchranných vozidel

Varianta 1 díky použití nepřejíždných prohlubní neumožňuje pohyb vozidel IZS, navíc v případě vjetí vozidla na trávnik by došlo k poničení vegetačního krytu. Varianty s kolejovými absorbéry tuto prohlubeň neobsahují, protože absorbér je vůči přejezdu odolný. Na druhou stranu, u této varianty nelze zamezit tomu, aby řidiči na povrch trati nenajeli i mimo výjimečné

situace. Rozchodníky se pak mohou při častém pojezdu poničit. Po zásahu vozidel IZS je nutné provést vizuální kontrolu povrchu absorbéru a nastalé deformace nebo porušení uvést do stavu umožňující obnovení kolejového provozu - zejména se jedná o kontrolu volnosti koleje a odstranění všech překážek a kontrolu vegetačního povrchu. Jelikož je varianta A nepojízdná, dostává 1 bod, varianty B a C díky zmíněným nevýhodám body 2.



Obrázek 5.6 Ukázka pojízdnosti kolejového absorbéru [9]

Varianta	Bodové ohodnocení
A	1
B	2
C	2

Tabulka 5.21 Pohyb záchranných vozidel – bodové ohodnocení

5.2.2.10 Náročnost realizace

U varianty A se doba vybudování vodovodní přípojky se odhaduje na 12 dní, realizace stavebních prací na úseku ulice Nádražní (km 0,000 – km 0,059) 21 dní a na ulici Nové Sady (km 0,091 – km 0,708) cca 60 dní včetně položení nových kolejnic. Vodovodní přípojka musí být vybudována před realizací stavebních prací na ulici Nové Sady s ohledem na způsobení možných škod na nově zbudovaném úseku. Automobilová doprava bude dotčena pouze velmi omezeně (pouze pro realizaci napojení živičných vrstev na začátku a konci úseku ulice Nové Sady) a bez nutnosti stanovení objízdných tras. Tramvajová doprava bude v úseku ulice Nádražní vyloučena vždy v polovině kolejí, nevyloučené koleje budou sloužit jako objízdná trasa, část tramvajové dopravy bude nahrazena autobusy. V úseku ulice Nové Sady bude tramvajová doprava vyloučena zcela a bude nahrazena autobusy.

U variant B a C je výhodou kolejových absorbérů možnost jejich pokládání v noci bez nutnosti přerušení provozu a výluky [34], nicméně v tomto případě i u této varianty budou měněny kolejnice a prováděny další úpravy popsané v kapitole 4.2. Z důvodu zaměření tohoto porovnávání na náročnost realizace vegetačního krytu jsou varianty B a C ohodnoceny 3 body, varianta A 2 body.

Varianta	Bodové ohodnocení
A	2
B	3
C	3

Tabulka 5.22 Náročnost realizace – bodové ohodnocení

5.2.2.1 Opravy a údržba koleje

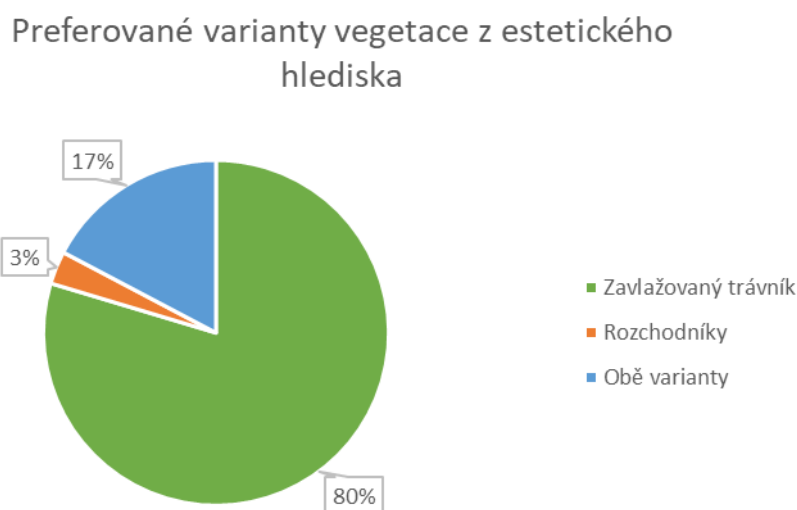
Nevýhodou u varianty 1 je nákladná oprava a údržba geometrické polohy koleje, které je možné jen po úplném odstranění trávníku se substrátem. Opravy trati u variant 2 a 3 jsou jednodušší díky snadnému vyjmutí dílců absorbéru, provedení oprav a vrácení dílců na původní místo [34]. Varianta A je kvůli tomu ohodnocena pouze 1 bodem, zatímco varianty B a C 3 body.

Varianta	Bodové ohodnocení
A	1
B	3
C	3

Tabulka 5.23 Opravy a údržba koleje – bodové ohodnocení

5.2.2.2 Estetika

Toto kritérium zohledňuje vzhled zelené trati a začlenění do struktury města. Estetické hledisko je subjektivní kritérium, a proto jsem vytvořil dotazník, v němž měli respondenti podle obrázků zhodnotit, který z druhů vegetace se jim líbí více. První obrázek byla fotografie současného stavu zelené trati se zavlažovaným trávníkem na úseku ulice Nádražní (Obrázek 4.1), druhý obrázek byl současný stav porostu rozchodníků na kolejových absorbérech v Ostravě (Obrázek 3.9). Dotazníku se zúčastnilo 162 respondentů. Variantu se zavlažovaným trávníkem označilo jako esteticky příjemnější 79,6% respondentů, porost rozchodníků 3,1%. Obě varianty za stejně esteticky hodnotné zvolilo 17,3%.



Obrázek 5.7 Výsledky dotazníkového průzkumu (162 respondentů)

Z estetického hlediska tedy působí lépe varianta se zavlažovaným trávníkem, který tvoří celoročně jednolitou zelenou plochu. Luční porost díky druhové skladbě zajišťující co nejdelší období kvetení je rovněž estetickou výhodou. Porost rozchodníků mění barvu v průběhu roku, ale netvoří jednolitou souvislou plochu, proto jde v porovnání s trávníkem o méně estetickou variantu.

Porost extenzivního trávníku u varianty 2 na oddělovacím pásu může v období sucha degradovat. Naopak štěrková zahrada u varianty 3 má podobné estetické vlastnosti jako luční porost u varianty 1. Pás dlažby oddělovací silnici od zeleně a chránící vegetaci od nepříznivého vlivu posypových solí sice může působit rušivě, na druhou stranu zajistí lepší vzhled porostu na

oddělovacím pásu. Přesto při porovnání s variantou A dostává varianta B 1 bod a varianta C 2 body.

Z technického hlediska je estetika tramvajového krytu ze všech porovnávaných kritérií až na posledním místě. Důležitější roli hraje v případě výběru ideálního řešení pásu oddělujícího pozemní komunikaci od tramvajového pásu.

Varianta	Bodové ohodnocení
A	3
B	1
C	2

Tabulka 5.24 Estetika – bodové ohodnocení

5.2.3 Přidělení vah jednotlivým kritériím

Váhy jednotlivým kritériím pro řešení návrh trati byly přiděleny na základě průzkumu mezi odborníky. 6 odborníků porovnálo dle Saatyho rozdělení všechny varianty. Dosažené výsledky byly zprůměrovány a tím byly získány konečné váhy jednotlivých kritérií. Finanční náročnost je do tohoto hodnocení také započítána jako náklady životního cyklu, a je ohodnocena 33 %, jako obvyklá hodnota při posuzování železničních staveb dle metodiky [57]. Váhy zbývajících kritérií jsou přepočítány tak, aby celkový výsledek všech kritérií dal dohromady 100 %.

Kritérium	Váha
Náklady životního cyklu	0,330
Tlumení hluku	0,098
Retence srážkových vod	0,071
Spotřeba pitné vody	0,084
Snížení prašnosti	0,054
Tepelná bilance povrchu	0,057
Tvorba O ₂	0,049
Využití recyklovaných materiálů	0,030
Pohyb vozidel IZS	0,119
Náročnost realizace	0,035
Náročnost oprav a údržby	0,036
Estetické hledisko	0,037

Tabulka 5.25 Váha jednotlivých kritérií zjištěná průzkumem mezi odborníky

5.2.4 Výsledky multikriteriální analýzy

Multikriteriální analýza byla provedena pro 3 případy:

- Pouze pro nefinanční přínosy bez započítání nákladů životního cyklu,
- pro výrobu kolejových absorbérů na míru,

- pro sériovou výrobu kolejových absorbérů.

5.2.4.1 Nefinanční přínosy

Pokud nebereme v potaz náklady životního cyklu, je s ohledem na nefinanční přínosy nejvýhodnější varianta C, která dosáhla 2,69 bodů z maximálně možných 3. Těsně za ní je varianta B s 2,64 body. Tyto varianty se liší pouze řešením oddělovacího pásu tramvajové trati od pozemní komunikace, a varianta C je v tomto ohledu lépe hodnocena v rámci kritéria estetické hledisko a začlenění do městské struktury.

Varianta	Tlumení hluku	Retence srážkových vod	Spotřeba pitné vody	Snížení prašnosti	Tepelná bilance povrchu	Tvorba O ₂	Využití recyklovaných materiálů	Pohyb vozidel IZS	Náročnost realizace	Opravy a údržba	Estetické hledisko	Součet
Váha	0,146	0,107	0,126	0,081	0,084	0,073	0,044	0,177	0,053	0,054	0,055	
A	2	2	1	3	3	3	1	1	2	1	3	
	0,292	0,213	0,126	0,243	0,253	0,219	0,044	0,177	0,105	0,054	0,165	1,89
B	3	3	3	3	3	2	3	2	3	3	1	
	0,438	0,320	0,377	0,243	0,253	0,146	0,133	0,354	0,158	0,163	0,055	2,64
C	3	3	3	3	3	2	3	2	3	3	2	
	0,438	0,320	0,377	0,243	0,253	0,146	0,133	0,354	0,158	0,163	0,110	2,69

Tabulka 5.26 Výsledek multikriteriální analýzy bez započítání nákladů životního cyklu

5.2.4.2 Výroba absorbérů na míru

Pokud do analýzy zahrneme i investiční náklady za předpokladu výroby absorbérů na míru je bodový výsledek variant B a C (2,36, resp. 2,39 bodů) lehce výhodnější než varianta A (2,26 bodů). V tomto případě je nutné zvážit, zda se vyplatí investovat přibližně o 73% vyšší částku během celého životního cyklu, abychom dosáhli nefinančních výhod týkajících se životního prostředí.

Varianta	Náklady životního cyklu	Tlumení hluku	Retence srážkových vod	Spotřeba pitné vody	Snížení prašnosti	Tepelná bilance povrchu	Tvorba O ₂	Využití recyklovaných materiálů	Pohyb vozidel IZS	Náročnost realizace	Opravy a údržba	Estetické hledisko	Součet
Váha	0,330	0,098	0,071	0,084	0,054	0,057	0,049	0,030	0,119	0,035	0,036	0,037	
A	3	2	2	1	3	3	3	1	1	2	1	3	
	0,990	0,195	0,143	0,084	0,163	0,170	0,147	0,030	0,119	0,071	0,036	0,111	2,26
B	1,79	3	3	3	3	3	2	3	2	3	3	1	
	0,589	0,293	0,214	0,252	0,163	0,170	0,098	0,089	0,237	0,106	0,109	0,037	2,36
C	1,76	3	3	3	3	3	2	3	2	3	3	2	
	0,582	0,293	0,214	0,252	0,163	0,170	0,098	0,089	0,237	0,106	0,109	0,074	2,39

Tabulka 5.27 Výsledek multikriteriální analýzy včetně započítání nákladů životního cyklu s výrobou absorbérů na míru

5.2.4.3 Sériová výroba absorbérů

Za předpokladu sériové výroby absorbérů je bodový výsledek variant B a C (2,61, resp. 2,63 bodů) lepší než u varianty A (2,26 bodů). V tomto případě jsou varianty s kolejovými absorbéry v celém životním cyklu finančně náročnější pouze o cca 18%.

Varianta	Náklady životního cyklu	Tlumení hluku	Retence srážkových vod	Spotřeba pitné vody	Snížení prašnosti	Tepelná bilance povrchu	Tvorba O ₂	Využití recyklovaných materiálů	Pohyb vozidel IZS	Náročnost realizace	Opravy a údržba	Estetické hledisko	Součet
Váha	0,330	0,098	0,071	0,084	0,054	0,057	0,049	0,030	0,119	0,035	0,036	0,037	
A	3	2	2	1	3	3	3	1	1	2	1	3	
	0,990	0,195	0,143	0,084	0,163	0,170	0,147	0,030	0,119	0,071	0,036	0,111	2,26
B	2,54	3	3	3	3	3	2	3	2	3	3	1	
	0,840	0,293	0,214	0,252	0,163	0,170	0,098	0,089	0,237	0,106	0,109	0,037	2,61
C	2,50	3	3	3	3	3	2	3	2	3	3	2	
	0,824	0,293	0,214	0,252	0,163	0,170	0,098	0,089	0,237	0,106	0,109	0,074	2,63

Tabulka 5.28 Výsledek multikriteriální analýzy včetně započítání nákladů životního cyklu se sériovou výrobou absorbérů

6 ZÁVĚR

Cílem praktické části práce bylo navrhnout konstrukční varianty zelené tramvajové trati na určeném úseku v Brně na Nových Sadech a porovnat je mezi sebou podle daných kritérií. Vybral jsem 3 varianty – jednu s travnatým krytem na substrátu a dvě s kolejovým absorbérem hluku ze syntetického recyklátu BRENS STERED s porostem rozchodníků. Každá varianta měla jinak navržený zvýšený oddělovací pás mezi tělesem tramvajové trati a silniční komunikací. Pás oddělující tramvajovou trať od pozemní komunikace má zejména estetické hledisko a měl by být navržen tak, aby nebyl v zimním období poškozován vlivem posypových solí, což je v rámci hodnocení zohledněno.

Posuzovaný úsek je specifický v tom, že se kromě aplikace vegetačního krytu mění i celý kolejový svršek. Pokud by šlo pouze o doplnění stávající konstrukce trati o vegetaci, je z hlediska náročnosti výstavby vhodnější varianta s dílci kolejového absorbéru hluku. V případě novostaveb zelených tramvajových tratí s trávnikem na substrátu je výhodnější konstrukce pevné jízdní dráhy, která umožňuje větší mocnost substrátu a lepší podmínky pro udržitelnost vegetace, než substrát na pražcích. Kolejové absorbéry hluku BRENS STERED jsou použitelné pro všechny typy konstrukce trati.

Z provedené multikriteriální analýzy a analýzy nákladů životního cyklu je zřejmé, že pro daný úsek je v současné době z finančního hlediska nejvýhodnější použít klasický trávník na substrátu. Přestože varianta s absorbéry a rozchodníky vyžaduje minimum údržby, v důsledku vysokých pořizovacích nákladů způsobených výrobou na míru je během celého životního cyklu stanoveného na dobu 20 let o zhruba 73 % nákladnější. Naopak při počítání pouze s nefinančními přínosy vychází lépe kolejové absorbéry hluku, jejichž přínosy oproti první variantě spočívají v lepším tlumení hluku, zadržení většího množství dešťové vody a využití recyklovaných materiálů při výstavbě. Pokud v analýze zkombinujeme finanční i nefinanční hlediska, je podobné bodové ohodnocení všech variant, ale vyšší náklady životního cyklu jsou velkou překážkou pro realizaci variant B a C, tedy s kolejovými absorbéry hluku. Jestliže by se ovšem podařilo zrealizovat sériovou výrobu absorbérů, náklady životního cyklu by už byly pouze vyšší o zhruba 18%, což je vyváženo nefinančními přínosy.

S ohledem na uvedené skutečnosti můžeme říci, že kolejové absorbéry hluku BRENS STERED s porostem rozchodníků a bez nutnosti údržby jsou z hlediska vlivu na životní prostředí ideální variantou pro zelené tramvajové trati díky nulové spotřebě pitné vody, množství zadržené dešťové vody a dalším výhodám. Bohužel tyto klady jsou v současnosti vyváženy velmi vysokou pořizovací cenou, která může odradit dopravní podniky od zvolení této varianty, a budou se klonit spíše k tradičnímu řešení zavlažovaného trávniku na substrátu. Pokud by se do budoucna podařilo zajistit sériovou výrobu kolejových absorbérů hluku, v kombinaci s nefinančními přínosy by tato varianta byla ve všech ohledech vhodná pro běžné použití a byl by zde potenciál pro jejich rozšíření do dalších měst.

Závěrem můžeme říci, že jakákoliv konstrukce zelené tramvajové trati má pozitivní vliv na městské prostředí, ať už s ohledem na tlumení hluku, ochlazování okolí nebo estetické hledisko a začlenění do urbanismu. Jakákoliv varianta zelené trati, pokud je správně konstrukčně provedena, je příjemnější a ekologičtější než pevný kryt trati – obzvláště s ohledem na současnou klimatickou situaci je každá nová zelená plocha vítána. V úvahu je ale nutné brát to, že zelené trati v žádném případě nelze budovat všude – nejvhodnějšími lokalitami jsou úseky bez úrovňového křížení pozemních komunikací, kde nehrozí přejíždění vozidly a přecházení chodci, nebo tam, kde je tramvajová trať na samostatném tělese. Po zvolení úseku, na kterém bude vegetační kryt aplikován, je nutné dobře zvážit místní podmínky a finanční náročnost a zvolit vhodnou konstrukční variantu v závislosti na těchto zjištěních.

7 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] KAPPIS, Christel a Hendrikje SCHREITER. Grüne Gleise: Gleisbettnaturierung in Deutschland. *Neue Landschaft* [online]. 2018, (052018) [cit. 2019-08-06]. Dostupné z: <https://neuelandschaft.de/artikel/gruene-gleise-gleisbettnaturierung-in-deutschland-8692.html>
- [2] Eglinton Connects: Green Trackway Precedents Study. In: *CiteSeerX* [online]. 2014 [cit. 2019-07-02]. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.567.6008&rep=rep1&type=pdf>
- [3] KOSTŘAVA ČERVENÁ (*Festuca rubra* L.). *Agrostis* [online]. b.r. [cit. 2019-12-11]. Dostupné z: <http://www.agrostis.cz/kapesni-atlas-trav/kostrava-cervena-festuca-rubra-l>
- [4] Zelená kolej. In: *České vysoké učení technické v Praze* [online]. b.r. [cit. 2019-07-01]. Dostupné z: https://www.fd.cvut.cz/projects/k612x1rk/soubory/Zelena_trat.pdf
- [5] GRÜNGLEIS NETZWERK. *Handbook track greening: design, implementation, maintenance*. Hamburg: Eurailpress, 2016. ISBN 978-3-87154-576-4.
- [6] ATD-G AND RHEDA CITY GREEN: THE GREEN TRACKS FOR URBAN TRANSIT. In: *Rail One* [online]. 2011 [cit. 2019-06-14]. Dostupné z: https://www.railone.com/fileadmin/daten/05-presse-medien/downloads/broschueren/en/Green_tracks_EN_2011_ebook.pdf
- [7] Tramway in Wroclaw. In: *Sempergreen* [online]. b.r. [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: <https://www.sempergreen.com/us/references/tramway-1>
- [8] SIKORSKI, Piotr, Marzena WIŃSKA-KRYSIAK, Jarosław CHORMAŃSKI, Kinga KRAUZE, Katarzyna KUBACKA a Daria SIKORSKA. Low-maintenance green tram tracks as a socially acceptable solution to greening a city. In: *ResearchGate* [online]. 2018 [cit. 2019-07-08]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/327334464_Low-maintenance_green_tram_tracks_as_a_socially_acceptable_solution_to_greening_a_city
- [9] EISENREICH, Jan. Tichá tramvajová trať s retencí vody. In: *Krajská konference EVVO 2018*. Praha, 2018.
- [10] MATOUŠ, Jan. Koroze kovových úložných zařízení a působení bludných proudů. In: *Profi elektrika* [online]. 2011 [cit. 2019-07-08]. Dostupné z: <https://elektrika.cz/data/clanky/koroze-kovovych-uloznych-zarizeni-a-pusobeni-bludnych-proudu>
- [11] *Pandrol QTrack® Embedded Rail System Light Rail: Light Rail Tram applications*. 2019.
- [12] HEJMÁNEK, Matouš. Systémy ochrany kolejnic tramvajových tratí: Ochrana proti bludným proudům DC trakčních soustav. In: *Silnice železnice* [online]. 2016 [cit. 2019-07-08]. Dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/systemy-ochrany-kolejnic-tramvajovych-trati-ochrana-proti-bludnym-proudum-dc-trakcnich-soustav/>
- [13] Městské tepelné ostrovy? Globální problém s lokálním řešením. In: *Ekolist* [online]. Praha, 2017 [cit. 2019-07-09]. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/mestske-tepelne-ostrovy-globalni-problem-s-lokalnim-resenim>
- [14] Mapa teplot povrchů pro rok 2015. *Mapový portál Brno* [online]. 2015 [cit. 2019-11-09].

- Dostupné z: http://gis6.brno.cz/mapa/teplotni-mapa/?c=-598156%3A-1160771&z=4&lb=of-brno_2015&ly=tepmap0&lbo=1&lyo=
- [15] PÉREZ, Gabriel, ed. a Katia PERINI, ed. *Nature Based Strategies for Urban and Building Sustainability*. Cambridge (Massachusetts): Butterworth-Heinemann, 2018. ISBN 978-0-12-812150-4.
 - [16] Effect and Function of Green Tracks. In: *Grüngleis Netzwerk* [online]. b.r. [cit. 2019-08-26]. Dostupné z: <http://www.gruengleisnetzwerk.de/images/downloads/effects.pdf>
 - [17] Proč (ne)vyhánět vodu z měst. In: *Voda základ života* [online]. 2017 [cit. 2019-07-09]. Dostupné z: <http://www.vodazakladzivota.cz/clanky/64-proc-ne-vyhanet-vodu-z-mest>
 - [18] Hydrologická bilance. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2019-07-09]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Hydrologick%C3%A1_bilance
 - [19] Perception Vs. Reality: What Our Ears Hear. *ABD Engineering and Design* [online]. 2008 [cit. 2019-11-06]. Dostupné z: <https://www.abdengineering.com/blog/perception-vs-reality/>
 - [20] EISENREICH, Jan. Kolejový absorbér hluku s funkcí retence vody: Ostravská premiéra světové novinky. In: *Vědeckotechnický sborník ČD a.s.* [online]. 2017 [cit. 2019-05-27].
 - [21] Někde tlumí štěrka jinde tráva. In: *Naše Praha* [online]. 2016 [cit. 2019-07-12]. Dostupné z: <http://www.nasepraha.cz/zpravy-45/nekde-tlumi-sterk-jinde-trava>
 - [22] NOVEL SOLUTIONS FOR QUIETER AND GREENER CITIES. In: *Hosanna* [online]. b.r. [cit. 2019-07-14]. Dostupné z: www.greener-cities.eu
 - [23] PETRLÍK, Jindřich a Petr VÁLEK. Polétavý prach - PM10. In: *Arnika* [online]. b.r. [cit. 2019-07-09]. Dostupné z: <https://arnika.org/poletavy-prach-pm10>
 - [24] JANHÄLL, Sara. Review on urban vegetation and particle air pollution – Deposition and dispersion. In: *Science Direct* [online]. 2015 [cit. 2019-07-09]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231015000758>
 - [25] STALOK FIBER REINFORCEMENT TECHNOLOGY. In: *Stabilizer Solutions* [online]. b.r. [cit. 2019-07-02]. Dostupné z: <http://www.stabilizersolutions.com/technologies/turf-reinforcement-technology/>
 - [26] GEOBLOCK® Vegetated Porous Pavement. In: *Presto Geosystems* [online]. b.r. [cit. 2019-07-02]. Dostupné z: <https://www.prestogeo.com/products/porous-pavement/geoblock-vegetated-porous-pavement/>
 - [27] Projet tramway : Prolongement du T3 de la porte d'Ivry à la porte de la Chapelle. In: *EUPave* [online]. Paris, 2012 [cit. 2019-07-02]. Dostupné z: <https://www.yumpu.com/fr/document/read/19552212/projet-tramway-prolongement-du-t3-de-la-porte-divry-a-eupave>
 - [28] EISENREICH, Jan. Zelená tramvajová trať = cirkulární ekonomika a přizpůsobení se klimatu = kolejový absorbér hluku s funkcí retence vody BRENS STERED. *Silnice železnice* [online]. 2019 [cit. 2019-05-27]. Dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/zelena-tramvajova-trat-cirkularni-ekonomika-a-prizpusobeni-se-klimatu-kolejovy-absorber-hluku-s-funkci-retence-vody-brens-stered/>

- [29] EISENREICH, Jan. Nízké protihlukové clony a kolejové absorbéry hluku BRENS - environmentální odpovědnost za stavbu dráhy. In: *DOPRAVA V REGIONE VÝCHODNÉ SLOVENSKO 2014 - 2020* [online]. 2015 [cit. 2019-05-28]. ISBN 978-80-971246-3-2.
- [30] *ZELENÁ TRATĚ A ZELENÁ STŘECHA VE MĚSTECH* [online]. In: . 2019 [cit. 2019-05-27].
- [31] Tramvaje a příměstské dráhy. In: *BRENS Europe* [online]. b.r. [cit. 2019-05-27]. Dostupné z: <https://www.brens.cz/produktove-listy-nizke-protihlukove-clony/>
- [32] EISENREICH, Jan. Kolejový absorber hluku s funkcí retence vody BRENS STERED. In: *Workshop - cirkulární ekonomika v průmyslu České republiky*. Brno, 2019.
- [33] EISENREICH, Jan a Milan KAMENICKÝ. Kolejový absorber hluku s funkcí retence vody BRENS® STERED®. In: *Rychlost s tichostí - veřejný prostor 21. století*. Plzeň, 2019.
- [34] EISENREICH, Jan. Košice: Bezúdržbová zelená električková trať s retenciou vody. In: *Enviroportal* [online]. 2018 [cit. 2019-11-13]. Dostupné z: <https://www.enviroportal.sk/uploads/green-economy/Bezudrzbova%20zelena%20elektrickova%20trat%20s%20retenciou%20vody.pdf>
- [35] Montáž MKA pro město Košice začala. In: *BRENS Europe* [online]. 2018 [cit. 2019-05-25]. Dostupné z: <https://www.brens.cz/l/montaz-mka-pro-mesto-kosice-zacala/>
- [36] *E(s) FB based turf track systems*. Wiesbaden, 2014.
- [37] The SEDRA turf track, Kassel type. In: *Edilon(sedra)* [online]. b.r. [cit. 2019-07-15]. Dostupné z: www.edilonsedra.com
- [38] Edilon(sedra USTS: Urban Slab Track System. In: *Edilon(sedra)* [online]. 2015 [cit. 2019-07-07]. Dostupné z: <https://www.edilonsedra.com/ts-download/edilonsedra-corkelast-usts-urban-slab-track-system/>
- [39] Edilon(sedra Corkelast USTS (Urban Slab Track System) Chemnitz, Germany. *Youtube* [online]. Kanál edilon(sedra, b.r. [cit. 2019-07-07]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=2O0ITBUrn8U>
- [40] TAPIA SILVA, Felipe, Anne WEHRMANN, Hans-Joachim HENZE a Nikolaus MODEL. Ability of plant-based surface technology to improve urban water cycle and mesoclimate. *Urban Forestry & Urban Greening*. vol. 4. 2006, 4(3-4), 145-158. DOI: 10.1016/j.ufug.2005.12.004. ISSN 16188667. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1618866705000567>
- [41] *Edilon(sedra Corkelast® EBS: Embedded Block System* [online]. In: . 2019 [cit. 2019-07-08]. Dostupné z: <https://www.edilonsedra.com/ts-download/edilonsedra-corkelast-ebs-embedded-block-system/>
- [42] Tram Vitoria-Gasteiz - 8. In: *Wikimedia.org* [online]. b.r. [cit. 2019-07-08]. Dostupné z: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tram_Vitoria-Gasteiz_-_8_\(8499898767\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tram_Vitoria-Gasteiz_-_8_(8499898767).jpg)
- [43] INPLACE-B. In: *HET group* [online]. b.r. [cit. 2019-09-06]. Dostupné z: <https://het-group.com/produkte/travetto/inplace-b/inplace-b/produkt.html>
- [44] *Google Maps* [online]. b.r. [cit. 2019-07-01]. Dostupné z: <https://www.google.com/maps>
- [45] VYČICHL, Jan a Tadeáš VOLF. Statická numerická analýza pružného upevnění kolejnice k

- pražci Vossloh W14. In: *Vědeckotechnický sborník ČD a.s.* [online]. Praha, 2015 [cit. 2019-07-01].
- [46] Athens Trams Project in Greece by Sirio LRV. In: *Railway technology* [online]. b.r. [cit. 2019-07-08]. Dostupné z: <https://www.railway-technology.com/projects/athens-trams/>
- [47] FISCHMEISTER, Edgar. Department B63 – Track construction. In: *Wiener Linien* [online]. 2016 [cit. 2019-07-08]. Dostupné z: http://www.sdp-cr.cz/WD_FileDownload.ashx?wd_systemtypeid=34&wd_pk=WzlwNzQsWzMwXV0%3D
- [48] BEATLEY, Timtohy. Green Urbanism. *Green urbanism: learning from European cities*. 1. Washington, DC: Island Press, 2000, s. 120. ISBN 1559636823.
- [49] EBERLEIN, Sven. Freiburg, Germany: City of the Future. In: *A world of words* [online]. 2011 [cit. 2019-07-08]. Dostupné z: <https://svenworld.com/freiburg-germany-city-of-the-future-part-ii-how-to-build-an-eco-suburb-from-scratch/>
- [50] Brno zelené. Město plánuje dostat do veřejného prostoru více rostlin a travnatých ploch. In: *Brněnská drbna* [online]. b.r. [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: <https://brnenskadrbna.cz/zpravy/spolecnost/8908-brno-se-zazelena-mesto-planuje-dostat-do-verejneho-prostoru-vice-zelene.html>
- [51] RTS DATA. *RTS* [online]. b.r. [cit. 2019-12-06]. Dostupné z: <https://www.rtscloud.cz/App/RTS-Data/>
- [52] KALINA, Jiří. Multikriteriální analýza. In: *Správným směrem* [online]. 2014 [cit. 2019-11-17]. Dostupné z: <http://spravnym.smerem.cz/Tema/Multikriteri%C3%A1ln%C3%AD%20anal%C3%BDza>
- [53] BOROVCOVÁ, Martina. Metody vícekriteriálního hodnocení variant a jejich využití při výběru produktu finanční instituce. In: *5. mezinárodní konference Řízení a modelování finančních rizik, VŠB-TU Ostrava, Ekonomická fakulta, katedra Financí* [online]. Ostrava, 2010 [cit. 2019-11-17].
- [54] Nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací ve znění pozdějších předpisů. In: *Sbírka zákonů*. 2011.
- [55] Meteostanice Plzeň - Mikulka. In: *IN-Počasí* [online]. 2018 [cit. 2019-11-13].
- [56] Meteostanice Brno-Tuřany. *IN-Počasí* [online]. b.r. [cit. 2019-11-09]. Dostupné z: http://www.in-pocasi.cz/archiv/brno/?&typ=teplota&historie_bar_mesic=7&historie_bar_rok=2015#monthly_graph
- [57] URBÁNKOVÁ, Pavla. *Alternativní odborná metoda dle č. B části II bodu 2 „Prováděcích pokynů pro hodnocení efektivnosti investic projektů železniční infrastruktury“: Obecná metodika zjednodušené multikriteriální analýzy pro ekonomické hodnocení staveb k plnění legislativních požadavků s pevně stanoveným časovým rámcem a staveb k řízení provozu a sledování vlaků*. Praha, 2015.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

LCC	life-cycle cost (náklady životního cyklu)
IZS	integrovaný záchranný systém
$I_{\text{země}}$ [A]	elektrický proud z kovové konstrukce vstupující do země
$U_{\text{kolejnice}}$ [V]	elektrické napětí v kolejnici
$R_{\text{trať-zem}}$ [Ω]	přechodový elektrický odpor mezi tratí a podložím
P [m^3]	množství srážkové vody
E [m^3]	objem evaporace
T [m^3]	objem transpirace
R [m^3]	objem odtoku
ΔW [m^3]	hydrologická bilance

SEZNAM TABULEK

Tabulka 3.1 Naměřené hodnoty hluku [19]	25
Tabulka 3.2 Emise hluku před a po rekonstrukci trati v Drážďanech [37]	27
Tabulka 3.3 Výsledky měření odtoku srážkové vody na zelené trati Berlín, Torstraße [40]	29
Tabulka 5.1 Náklady životního cyklu u varianty A	46
Tabulka 5.2 Náklady u životního cyklu u varianty B v případě výroby absorbérů na míru pro sledovanou stavbu	47
Tabulka 5.3 Náklady u životního cyklu u varianty B za předpokladu sériové výroby absorbérů	47
Tabulka 5.4 Náklady u životního cyklu u varianty B v případě výroby absorbérů na míru pro sledovanou stavbu	47
Tabulka 5.5 Náklady u životního cyklu u varianty C za předpokladu sériové výroby absorbérů.....	47
Tabulka 5.6 Saatyem doporučená bodová stupnice s deskriptory [53]	48
Tabulka 5.7 Preference dvojic kritérií v Saatyho metodě [53]	49
Tabulka 5.8 Váhy kritérií dle Saatyho metody [53].....	49
Tabulka 5.9 Náklady životního cyklu - bodové ohodnocení.....	50
Tabulka 5.10 Předpokládané snížení hluku – bodové ohodnocení	51
Tabulka 5.11 Srážkový úhrn v Plzni ve sledovaném období [55]	52
Tabulka 5.12 Retence vody na jednotlivých površích	52
Tabulka 5.13 Srážkový úhrn v roce 2018 v Brně [56].....	52
Tabulka 5.14 Potenciální množství zachycené dešťové vody na zelené trati v Brně v roce 2018....	53
Tabulka 5.15 Retence dešťové vody – bodové ohodnocení.....	53
Tabulka 5.16 Spotřeba pitné vody – bodové ohodnocení.....	53
Tabulka 5.17 Snížení prašnosti – bodové ohodnocení	54
Tabulka 5.18 Měrná tepelná kapacita povrchů – bodové ohodnocení	55
Tabulka 5.19 Produkce O ₂ – bodové ohodnocení	55
Tabulka 5.20 Využití recyklovaných materiálů – bodové ohodnocení.....	55
Tabulka 5.21 Pohyb záchranných vozidel – bodové ohodnocení	56
Tabulka 5.22 Náročnost realizace – bodové ohodnocení	56
Tabulka 5.23 Opravy a údržba koleje – bodové ohodnocení.....	57
Tabulka 5.24 Estetika – bodové ohodnocení	58
Tabulka 5.25 Váha jednotlivých kritérií zjištěná průzkumem mezi odborníky	58
Tabulka 5.26 Výsledek multikriteriální analýzy bez započítání nákladů životního cyklu	59
Tabulka 5.27 Výsledek multikriteriální analýzy včetně započítání nákladů životního cyklu s výrobou absorbérů na míru	59
Tabulka 5.28 Výsledek multikriteriální analýzy včetně započítání nákladů životního cyklu se sériovou výrobou absorbérů	60

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 2.1 Kostřava červená [3].....	2
Obrázek 2.2 Funkční vrstvy trati s travnatým vegetačním krytem [2]	3
Obrázek 2.3 Tramvajová trať porostlá rozchodníky ve Wroclawi [7]	4
Obrázek 2.4 Funkční vrstvy vegetačního krytu s rozchodníky [2]	4
Obrázek 2.5 Trať s nízkou vegetací [6]	5
Obrázek 2.6 Trať s vysokou vegetací a speciálními bokovnicemi [6]	5
Obrázek 2.7 Konstrukce se dvěma oddělenými paralelními betonovými nosníky [1]	6
Obrázek 2.8 Konstrukce s dvojicí betonových desek [1]	6
Obrázek 2.9 Konstrukce s jednolitou deskou pod celou šíří trati [1].....	6
Obrázek 2.10 Intenzivní (1) a extenzivní (2) travní koberec [8].....	7
Obrázek 2.11 Porovnání nákladů životního cyklu dle typu vegetace [6].....	8
Obrázek 2.12 Bludné proudy [11]	9
Obrázek 2.13 Příklady jednoduchých izolačních bokovnic [5].....	10
Obrázek 2.14 Příklad vícedílné bokovnice od firmy edilon)(sedra [5]	10
Obrázek 2.15 Příklad zapouzdření stojiny a paty kolejnice na zelené trati ve Freiburgu [5].....	11
Obrázek 2.16 Kolejnice v betonovém žlabu vyplněném polyuretanem [5]	11
Obrázek 2.17 Mapa teplot povrchů v Brně 7. 7. 2015 [14]	12
Obrázek 2.18 Dopad nepropustných povrchů na vodu ve městě [6].....	13
Obrázek 2.19 Hydrologická bilance na zelené tramvajové trati [6]	14
Obrázek 2.20 Měření odtoku na trati s rozchodníky v Berlíně [16]	14
Obrázek 2.21 Odraz zvuku od krytu trati [6].....	15
Obrázek 2.22 Výsledky měření hluku 7 m od trati v Grenoblu [21].....	16
Obrázek 2.23 Pohyb prachových částic ve vegetačním systému [6]	17
Obrázek 2.24 Trávník se syntetickými vlákny [25].....	17
Obrázek 2.25 Mřížka z geosyntetického materiálu [26]	17
Obrázek 2.26 Pokládka trávníku při prodloužení tramvajové linky T3 v Paříži [27]	18
Obrázek 2.27 Trávník se štěrkem v Brémách [5].....	18
Obrázek 2.28 Příčný řez testovacím úsekem pojízdné tramvajové trati v Bruselu [6]	19
Obrázek 2.29 Travnatý pás na zastávce v Berlíně [5]	19
Obrázek 2.30 Zelená trať s uschlým trávníkem [2]	20
Obrázek 2.31 Zamokřená zelená trať [2].....	20
Obrázek 3.1 Zelená trať v Berlíně na Tauentzienstrasse, 1930 [5]	21
Obrázek 3.2 Vývoj délky zelených tratí v Německu [2]	21
Obrázek 3.3 Vzorový příčný řez tramvajové tratě s absorbérem BRENS STERED [29].....	22

Obrázek 3.4 Povrch tratě s rozchodníky na jaře, v létě a v zimě (Ostrava) [30]	22
Obrázek 3.5 Protihluková clona BRENS BARRIER [31]	23
Obrázek 3.6 Porovnání teplot jednotlivých povrchů trati [33]	23
Obrázek 3.7 Původní stav zkušebního úseku [19]	24
Obrázek 3.8 Vzorový příčný řez ve směrovém oblouku s převýšením [19]	25
Obrázek 3.9 Vegetační povrch kolejového absorbéru BRENS STERED [33].....	25
Obrázek 3.10 Rozhraní mezi povrchem z umělého trávniku a rozchodníků	26
Obrázek 3.11 Třída SNP po modernizaci	26
Obrázek 3.12 Kolejnice s bokovnicí SEDRAPUR	27
Obrázek 3.13 Příčný řez zelenou tratí typu Kassel [36]	27
Obrázek 3.14 edilon)(sedra LCS-L [38]	28
Obrázek 3.15 Pokládka betonových panelů edilon)(sedra USTS [38].....	28
Obrázek 3.16 Osazování prefabrikovaných betonových žlabů [39]	28
Obrázek 3.17 Zelená trať se systémem edilon)(sedra USTS v Saské Kamenici [39]	29
Obrázek 3.18 Systém INFUNDO v Berlíně [40]	29
Obrázek 3.19 Příčný řez systémem Mannheim-light [36]	30
Obrázek 3.20 Příčný řez systémem Poznan [36]	30
Obrázek 3.21 edilon)(sedra EBS [41]	31
Obrázek 3.22 Zelená trať ve Vitorii-Gasteiz [42]	31
Obrázek 3.23 Příčný řez systémem INPLACE [5]	31
Obrázek 3.24 Systém INPLACE ve Frankfurtu [43]	32
Obrázek 3.25 Příčný řez trati se systémem RHEDA CITY GREEN v Berlíně [6].....	32
Obrázek 3.26 Povrch trati v polském Sosnowci s použitým systémem RHEDA CITY GREEN [6]	33
Obrázek 3.27 Příčný řez tratí se systémem ATD-G a nízkým vegetačním krytem [6].....	33
Obrázek 3.28 Trať s ATD-G na berlínské Prenzlauer Promenade [44]	34
Obrázek 3.29 Trať s ATD-G v Hannoveru [44].....	34
Obrázek 3.30 Příčný řez systémem Pandrol QTrack® s Vignolovými kolejnicemi [11].....	35
Obrázek 3.31 Příčný řez systémem Pandrol QTrack® s žlábkovými kolejnicemi [11]	35
Obrázek 3.32 Betonování systému QT JIG [11].....	36
Obrázek 3.33 Zelená trať s krytem z umělého trávniku v Budapešti.....	36
Obrázek 3.34 Zelená trať v Aténách	37
Obrázek 3.35 Příčný řez tramvajovou tratí s vysokou vegetací ve Vídni [47]	37
Obrázek 3.36 Příčný řez tramvajovou tratí s nízkou vegetací ve Vídni [47]	38
Obrázek 3.37 Zelená trať ve Freiburgu [49]	38
Obrázek 3.38 Příčný řez zelenou tratí ve Freiburgu [5]	39

Obrázek 4.1 Současný zelený tramvajový pás na ulici Nádražní [50]	40
Obrázek 4.2 Pohled na stávající stav trati na ulici Nové Sady	41
Obrázek 4.3 Pohled na navrhovaný stav trati s travnatým krytem a lučním porostem	42
Obrázek 5.1 Saatyho matice [50]	49
Obrázek 5.2 Hluková mapa řešeného úseku [47]	50
Obrázek 5.3 Retence vody ve vzorku trávniku na substrátu – duben a květen 2018 [31]	51
Obrázek 5.4 Retence vody ve vzorku kolejového absorbéru s rozchodníky – duben a květen 2018 [33]	52
Obrázek 5.5 Mapa teplot povrchů 7. 7. 2015 s vyznačením zájmové oblasti [14]	54
Obrázek 5.6 Ukázka pojízdnosti kolejového absorbéru [9]	56
Obrázek 5.7 Výsledky dotazníkového průzkumu (162 respondentů)	57

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 - položkový rozpočet

Výkresová část:

A – Situační výkresy

A.1 - Výkres architektonického řešení stavby – varianta A

A.2 - Výkres architektonického řešení stavby – varianta B

A.3 - Výkres architektonického řešení stavby – varianta C

B – Příčné řezy

B.1 – Příčný řez – varianta A

B.2 - Příčný řez – varianta A – nepřejíždná prohlubeň

B.3 – Příčný řez – varianta B

B.4 – Příčný řez – varianta C

PŘÍLOHA 1 – POLOŽKOVÝ ROZPOČET

Varianta A

Název položky	m.j.	Množství m.j.	jednotková cena [Kč]	Cena celkem [Kč]
REALIZACE				
Trávník v kolejišti				
Pryžové bokovnice kolejnice TN1 (vnitřní, vnější, patní profil pro 1 m kolejnice) včetně montáže	m	2960	1200,00	3 552 000
Plastová krabíčka - kryt na upevňovadla (5,33 ks pro 1 m koleje s rozdělním 0,75m) včetně montáže	m	1480	426,40	631 072
Doplnění štěrku a urovnání fr. 32/64 do výšky paty kolejnice do tl. 10 cm, včetně dopravy do vzdálenosti 1,5 km	m ²	3525	164,50	579 863
Plošná úprava terénu, nerovnosti do 10 cm v rovině	m ²	3525	32,20	113 505
Vrstva geotextilie 300g/m ²	m ²	3525	35,00	123 375
Zřízení vrstvy z geotextilie sklon do 1:5 š.do 3 m	m ²	3525	18,60	65 565
Provedení izolace nopovou fólií	m ²	3525	249,00	877 725
Vrstva geotextilie 300g/m ²	m ²	3525	35,00	123 375
Zřízení vrstvy z geotextilie sklon do 1:5 š.do 3 m	m ²	3525	18,60	65 565
Substrát zahradnický B VL	m ³	423	850,00	359 550
Trávníkový koberec	m ²	3525	147,00	518 175
Položení travního koberce včetně dodávky travního koberce	m ²	3525	220,50	777 263
uválcování trávníku	m ²	3525	0,92	3 243
Pěstební činnost po dobu prokořenění (doložení 1%, dosev 1%,odplevení)	m ²	3525	75,50	266 138
Přesun hmot	t	316,5	962,00	304 473
Celkem:				8 360 886
Luční porost na oddělovacím pásu				
Plošná úprava terénu, nerovnosti do 20 cm v rovině	m ²	1204	54,80	65 979
Odstranění starého porostu	m ²	1204	33,20	39 973
Obdělání půdy kultivátorováním v rovině	m ²	1204	1,20	1 445
Obdělání půdy smykováním, v rovině	m ²	1204	0,89	1 072
Založení trávníku lučního v rovině	m ²	1204	13,80	16 615
Krajinný trávník pro suché podmínky RSM 7.2.2 20g/m ²	kg	24	468,00	11 232
Uválcování trávníku	m ²	1204	0,92	1 108

Pěstební činnost do dosažení první seče po 4 měsících (zálivka 10x; dosev 1x5% plochy; pletí náletu 1x)	m ²	964	39,86	38 422
Celkem:				175 845
Květinová louka na oddělovacím pásu				
Plošná úprava terénu, nerovnosti do 15 cm v rovině	m ²	149	45,10	6 720
Odstranění starého porostu	m ²	149	33,20	4 947
Obdělání půdy kultivátorováním v rovině	m ²	149	1,20	179
Obdělání půdy smykováním, v rovině	m ²	149	0,89	133
Založení květinové louky v rovině	m ²	149	19,38	2 888
Květinová směs 6g/m ²	kg	0,9	4238,00	3 814
Uválcování trávníku	m ²	1204	0,92	1 108
Celkem:				19 788
Cibuloviny				
Dodávka cibulovin	ks	16 600	5,00	83 000
Cibuloviny	ks	16 600	10,00	166 000
Výsadba cibulovin	ks	16 600	4,85	80 510
Celkem:				329 510
Vybudování závlahového systému				405 900
Vybudování vodovodní přípojky				65 100
Realizace celkem:				9 357 029
PROVOZ A ÚDRŽBA				
Ošetřování trávníku (16x ročně) - sečení včetně odvezení shrabků	m ²	3525	4,90	276 360
Závlaha trávníku (spotřeba vody)	m ³	2115	36,78	85 569
Vertikutace trávníku s přísevem, ploch nad 1500 m ² (se započtením času navíc způsobeného projížděním tramvají)	ha	0,3525	50 000,00	17 625
Ošetřování lučního porostu (4x ročně)	m ²	1204	4,90	23 598
Údržba celkem ročně:				403 152
LIKVIDACE				
Likvidace po uplynutí životního cyklu	m ²	3525	1470,00	5 181 750
Likvidace celkem:				5 181 750

Varianta B – výroba na míru

Název položky	m.j.	Množství m.j.	jednotková cena [Kč]	Cena celkem [Kč]
REALIZACE				
Kolejové absorbéry hluku BRENS STERED s porostem rozchodníků				
Kolejové absorbéry hluku BRENS STERED s porostem rozchodníků	m ²	3624	9300,00	33 703 200
Celkem:				33 703 200
Extenzivní trávník na oddělovacím pásu				
Plošná úprava terénu, nerovnosti do 20 cm v rovině	m ²	964	54,80	52 827
Obdělání půdy kultivátorováním v rovině	m ²	964	5,86	5 649
Obdělání půdy smykováním, v rovině	m ²	964	0,89	858
Příprava půdy před výsevem	m ²	964	15,80	15 231
Založení extenzivního trávníku výsevem	m ²	964	22,70	21 883
Travní osivo 0,035 kg/m ²	kg	33,74	165,75	5 592
Uválcování trávníku	m ²	964	0,92	887
Pěstební činnost do dosažení první seče po 4 měsících (zálivka 10x; dosev 1x5% plochy; pletí náletu 1x)	m ²	964	39,86	38 422
Celkem:				141 350
Pás dlažby proti posypovým solím				
Osazení stojat. obrub. bet.bez opěry, lože z C12/15 včetně obrubníku ABO 2 - 15 100/15/25	m	860	347,00	298 420
Obrubník silniční betonový 150x250x1000 mm	ks	87	116,00	10 092
Chodník z dlažby zámkové, podklad štěrkodrt'	m ²	355	1261,00	447 655
Celkem:				756 167
Realizace celkem:				34 600 717
ÚDRŽBA A PROVOZ				
Ošetřování trávníku (4x ročně) - sečení včetně odvezení shrabků	m ²	964	4,90	18 894
Vertikutace trávníku s přisevem, ploch do 1500 m ²	m ²	964	6,80	6 555
Údržba celkem ročně:				25 450
LIKVIDACE				
Likvidace po uplynutí životního cyklu	m ²	3624	780,00	2 826 720
Likvidace celkem:				2 826 720

Varianta B – sériová výroba

Název položky	m.j.	Množství m.j.	jednotková cena [Kč]	Cena celkem [Kč]
REALIZACE				
Kolejové absorbéry hluku BRENS STERED s porostem rozchodníků				
Doplnění štěrku a urovnání fr. 16/32 do výšky paty kolejnice do tl. 10 cm, včetně dopravy do vzdálenosti 1,5 km	m ²	3624	164,50	596 148
Pryžové dílce (systémové bokovnice absorbéro) - vnitřní, vnější,mezilehlé, patní profil vše bez montáže pro 1 m kolejnice	m	2960	1150,00	3 404 000
Vnitřní sendvičové dílce absorbéro na 1m koleje (2ks/m koleje)	m	1480	1997,52	2 956 330
Vnější sendvičové dílce absorbéro na 1 m koleje (4ks/m koleje)	m	1480	4343,04	6 427 699
Mezilehlé dílce absorbéro nebo ambulantní výplně v ose os kolejí a vně kolejí + sloupky TV, kanalizační vpusti apod.	m ²	375	1992,00	747 000
Předpěstovaný vegetační koberec z rozchodníků	m ²	3624	575,30	2 084 887
Doprava materiálů	m ²	3624	53,33	193 280
Montáž systému absorbéro (bokovnice, dílce, mezilehlé části, dořezy, vnitrostaveništní doprava)	m ²	3624	1368,00	4 957 632
Pokládka a kotvení vegetačního koberce	m ²	3624	145,00	525 480
Pěstební činnost pro prokoření	m ²	3624	145,00	525 480
Celkem:				22 417 936
Extenzivní trávník na oddělovacím pásu				
Plošná úprava terénu, nerovnosti do 20 cm v rovině	m ²	964	54,80	52 827
Obdělání půdy kultivátorováním v rovině	m ²	964	5,86	5 649
Obdělání půdy smykáním, v rovině	m ²	964	0,89	858
Příprava půdy před výsevem	m ²	964	15,80	15 231
Založení extenzivního trávníku výsevem	m ²	964	22,70	21 883
Travní osivo 0,035 kg/m ²	kg	33,74	165,75	5 592
Uválcování trávníku	m ²	964	0,92	887
Pěstební činnost do dosažení první seče po 4 měsících (zálivka 10x; dosev 1x5% plochy; pletí náletu 1x)	m ²	964	39,86	38 422
Celkem:				141 350
Pás dlažby proti posypovým solím				
Osazení stojat. obrub. bet.bez opěry,lože z C12/15 včetně obrubníku ABO 2 - 15 100/15/25	m	860	347,00	298 420
Obrubník silniční betonový 150x250x1000 mm	ks	87	116,00	10 092
Chodník z dlažby zámkové, podklad štěrkodrtí	m ²	355	1261,00	447 655
Celkem:				756 167
Realizace celkem:				23 315 453

ÚDRŽBA A PROVOZ				
Ošetřování trávníku (4x ročně) - sečení včetně odvezení shrabků	m ²	964	4,90	18 894
Vertikutace trávníku s přísevem, ploch do 1500 m ²	m ²	964	6,80	6 555
Údržba celkem ročně:				25 450
LIKVIDACE				
Likvidace po uplynutí životního cyklu	m ²	3624	780,00	2 826 720
Likvidace celkem:				2 826 720

Varianta C - výroba na míru

Název položky	m.j.	Množství m.j.	jednotková cena [Kč]	Cena celkem [Kč]
REALIZACE				
Kolejové absorbéry hluku BRENS STERED s porostem rozchodníků				
Kolejové absorbéry hluku BRENS STERED s porostem rozchodníků	m ²	3624	9300,00	33 703 200
Celkem:				33 703 200
Štěrková zahrada na oddělovacím pásu				
Plošná úprava terénu, nerovnosti do 20 cm v rovině	m ²	964	54,80	52 827
Kamenivo těžené frakce 16/32 Jihomor. kraj	t	69,408	245,00	17 005
Vrstva geotextilie 300g/m ²	m ²	964	35,00	33 740
Zřízení vrstvy z geotextilie sklon do 1:5 š.do 3 m	m ²	964	18,60	17 930
Substrát zahradnický B VL	m ³	192,8	850,00	163 880
Kačírek pro okapový chodník tl. 100 mm	m ²	964	290,00	279 560
Založení záhonu pro výsadbu	m ²	964	20,00	19 280
Dodávka trvalek	ks	15 000	5,00	75 000
Trvalky	ks	15 000	19,00	285 000
Výsadba trvalek	ks	15 000	5,70	85 500
Přesun hmot	t	96	962,00	92 737
Celkem:				1 122 459
Realizace celkem:				34 825 659
ÚDRŽBA				
Údržba štěrkové zahrady	m ²	964	41,50	40006
Údržba celkem ročně:				40006
LIKVIDACE				
Likvidace po uplynutí životního cyklu	m ²	3624	780,00	2 826 720
Likvidace celkem:				2 826 720

Varianta C – sériová výroba

Název položky	m.j.	Množství m.j.	jednotková cena [Kč]	Cena celkem [Kč]
REALIZACE				
Kolejové absorbéry hluku BRENS STERED s porostem rozchodníků				
Doplnění štěrku a urovnání fr. 16/32 do výšky paty kolejnice do tl. 10 cm, včetně dopravy do vzdálenosti 1,5 km	m ²	3624	164,50	596 148
Přýžové dílce (systémové bokovnice absorbérů) - vnitřní, vnější, mezilehlé, patní profil vše bez montáže pro 1 m kolejnice	m	2960	1150,00	3 404 000
Vnitřní sendvičové dílce absorbérů na 1m koleje (2ks/m koleje)	m	1480	1997,52	2 956 330
Vnější sendvičové dílce absorbérů na 1 m koleje (4ks/m koleje)	m	1480	4343,04	6 427 699
Mezilehlé dílce absorbérů nebo ambulantní výplně v ose os kolejí a vně kolejí + sloupy TV, kanalizační vpusti apod.	m ²	375	1992,00	747 000
Předpěstovaný vegetační koberec z rozchodníků	m ²	3624	575,30	2 084 887
Doprava materiálů	m ²	3624	53,33	193 280
Montáž systému absorbérů (bokovnice, dílce, mezilehlé části, dořezy, vnitrostaveništní doprava)	m ²	3624	1368,00	4 957 632
Pokládka a kotvení vegetačního koberce	m ²	3624	145,00	525 480
Pěstební činnost pro prokoření	m ²	3624	145,00	525 480
Celkem:				22 417 936
Štěrková zahrada na oddělovacím pásu				
Plošná úprava terénu, nerovnosti do 20 cm v rovině	m ²	964	54,80	52 827
Kamenivo těžené frakce 16/32 Jihomor. kraj	t	69,408	245,00	17 005
Vrstva geotextilie 300g/m ²	m ²	964	35,00	33 740
Zřízení vrstvy z geotextilie sklon do 1:5 š.do 3 m	m ²	964	18,60	17 930
Substrát zahradnický B VL	m ³	192,8	850,00	163 880
Kačírek pro okapový chodník tl. 100 mm	m ²	964	290,00	279 560
Založení záhonu pro výsadbu	m ²	964	20,00	19 280
Dodávka trvalek	ks	15 000	5,00	75 000
Trvalky	ks	15 000	19,00	285 000
Výsadba trvalek	ks	15 000	5,70	85 500
Přesun hmot	t	96	962,00	92 737
Celkem:				1 122 459
Realizace celkem:				23 540 395

ÚDRŽBA				
Údržba štěrkové zahrady	m ²	964	41,50	40006
Údržba celkem ročně:				40 006
LIKVIDACE				
Likvidace po uplynutí životního cyklu	m ²	3624	780,00	2 826 720
Likvidace celkem:				2 826 720