

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Osazení klimatizačních jednotek pro cestující na všechny typy tramvají
v Dopravním podniku hl. m. Prahy, akciová společnost

Bc. Adam Bureš

Diplomová práce
2021

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Adam Bureš**
Osobní číslo: **D19446**
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**
Studijní obor: **Dopravní management, marketing a logistika**
Téma práce: **Osazení klimatizačních jednotek pro cestující na všechny typy tramvají v Dopravním podniku hl. m. Prahy, akciová společnost**
Zadávací katedra: **Katedra dopravního managementu, marketingu a logistiky**

Zásady pro vypracování

Úvod

1. Historický vývoj a modernizace tramvají
2. Analýza stavu a možností použití klimatizace v tramvajích Dopravního podniku hl. m. Prahy, akciová společnost
3. Návrh řešení k osazení klimatizačních jednotek v prostoru pro cestující
4. Zhodnocení navrženého řešení

Závěr

Rozsah pracovní zprávy: **50-60 stran**
Rozsah grafických prací: **dle doporučení vedoucí/ho**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

dle pokynů vedoucí/ho práce

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Helena Becková, Ph.D.**
Katedra dopravního managementu, marketingu
a logistiky

Datum zadání diplomové práce: **30. října 2020**
Termín odevzdání diplomové práce: **14. května 2021**

L.S.

doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.
děkan

Ing. Pavla Lejsková, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 26. dubna 2021

Prohlašuji:

Práci s názvem Osazení klimatizačních jednotek pro cestující na všechny typy tramvají v Dopravním podniku hl. m. Prahy, akciová společnost jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 12. 5. 2021

Adam Bureš v. r.

Rád bych poděkoval vedoucí práce Ing. Heleně Beckové, Ph.D. a zaměstnancům Dopravního podniku hl. m. Prahy za vstřícný přístup a cenné rady při zpracovávání diplomové práce.

ANOTACE

Tato diplomová práce se zaměřuje na možnosti k osazení klimatizací pro jednotlivé typy tramvajových vozidel provozovaných Dopravním podnikem hlavního města Prahy, akciová společnost. Zabývá se také analýzou současného stavu a následně navrhuje varianty jednotlivých řešení a náklady na realizaci. Tyto varianty jsou poté vyhodnoceny a zakončeny doporučeními k jednotlivým variantám.

KLÍČOVÁ SLOVA

tramvaje, klimatizační jednotky, ventilace, vozový park, údržba, oprava

TITLE

Installation of air conditioning units for passengers on all types of trams in the JSC Prague Public Transit Company

ANNOTATION

This thesis focuses on the possibilities of installing air conditioning for individual types of tram vehicles operated by the JSC Prague Public Transit Company. It also deals with the analysis of the current state and then proposes variants of individual solutions and implementation costs. These variants are then evaluated and concluded with recommendations for individual variants.

KEYWORDS

trams, air conditioning units, ventilation, fleet, maintenance, repair

OBSAH

ÚVOD	9
1 HISTORICKÝ VÝVOJ A MODERNIZACE TRAMVAJÍ	10
1.1 Charakteristika tramvajové dopravy	10
1.2 Historie tramvajové dopravy	10
1.2.1 Křižíkova elektrická dráha Praha – Libeň – Vysočany	10
1.2.2 Elektrická dráha Smíchov – Košíře	10
1.2.3 Městská elektrická dráha královských vinohrad	11
1.2.4 Elektrické podniky hlavního města Prahy a Dopravní podniky hlavního města Prahy	11
1.2.5 Dopravní podniky hlavního města Prahy	11
1.3 Historický vývoj tramvajových vozidel	12
1.3.1 Tramvajové vozy Tatra	12
1.3.2 Vývoj nízkopodlažních vozů	14
1.4 Technické řešení klimatizace a ventilace tramvajů	15
1.4.1 Funkce klimatizace v obecné rovině	16
1.4.2 Klimatizační jednotka v tramvaji	17
1.4.3 Automatické a manuální ovládání klimatizace	20
2 ANALÝZA STAVU A MOŽNOSTÍ POUŽITÍ KLIMATIZACE V TRAMVAJÍCH DOPRAVNÍHO PODNIKU HL. M. PRAHY, AKCIOVÁ SPOLEČNOST	21
2.1 Vozovny	21
2.2 Tatra T3M2-DVC	23
2.3 Tatra T6A5	24
2.4 Tatra T3 R.P	25
2.5 Tatra KT8D5.RN2P	26
2.6 Tatra T3 R.PLF	28
2.7 Škoda 14T	29
2.8 Škoda 15T	30
2.9 Celkový počet vozů	32
2.10 Technická a provozní zhodnocení možností použití klimatizace	33
2.10.1 Tatra T3R.P	34
2.10.2 Tatra T3R.PLF	40
2.10.3 Tatra KT8D5.RN2P	44
2.10.4 Škoda 14T	49

2.10.5	Škoda 15T	53
2.11	Souhrnné vyhodnocení.....	55
3	NÁVRH ŘEŠENÍ K OSAZENÍ KLIMATIZAČNÍCH JEDNOTEK V PROSTORU PRO CESTUJÍCÍ.....	58
3.1	Tatra T3R.P	58
3.2	Tatra T3R.PLF	63
3.3	Tatra KT8D5.RN2P	64
3.4	Škoda 14T	67
3.5	Škoda 15T	70
4	ZHODNOCENÍ NAVRŽENÉHO ŘEŠENÍ	71
4.1	Tatra T3R.P a T3R.PLF	71
4.2	Tatra KT8D5.RN2P	72
4.3	Škoda 14T	73
4.4	Škoda 15T	73
4.5	Souhrn	74
	ZÁVĚR	76
	POUŽITÁ LITERATURA.....	77
	SEZNAM TABULEK.....	82
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	84
	SEZNAM ZKRATEK.....	85

ÚVOD

Spolu s rozvojem nových technologií v automobilech a zvyšováním komfortu cestování je pro městskou hromadnou dopravu stále těžší nabídnout konkurenceschopné přepravní podmínky. Především v letních měsících je tento rozdíl znatelný z důvodu vysokých venkovních teplot, které snižují komfort cestování v pražských tramvajích. Z celkového počtu provozovaných tramvají jich je klimatizovaná pětina a v mnoha případech tak cestující raději volí jízdu automobilem, ve kterém klimatizaci najdou vždy. Tato diplomová práce se zaměřuje na možnosti použití klimatizace prostoru pro cestující u jednotlivých tramvají Dopravního podniku hl. m. Prahy.

První kapitola diplomové práce se zaměří na historický vývoj tramvajových tratí, tramvajových vozů a obecný pojem klimatizace a jeho použití. V druhé kapitole bude provedeno stručné představení vozoven a vozového parku Dopravního podniku hl. m. Prahy. Dále již bude následovat samotná analýza technických možností k dodatečné instalaci klimatizace a nákladů s tím spojených. V další kapitole budou pro jednotlivé tramvaje řešeny návrhy montáže klimatizační jednotky a výběr jednotek dle potřebných parametrů. Bude také proveden výběr dostupných vozů k provedení instalace klimatizace, a to s ohledem na co nejnižší náklady a prostoje. Závěrem budou jednotlivá řešení zhodnocena a doplněna o doporučení, která se k nim vztahují.

Cílem práce je na základě analýzy současného stavu a možností použití klimatizace v tramvajích Dopravního podniku hl. m. Prahy navrhnout řešení k osazení klimatizačních jednotek v prostoru pro cestující.

1 HISTORICKÝ VÝVOJ A MODERNIZACE TRAMVAJÍ

1.1 Charakteristika tramvajové dopravy

Tramvajová doprava je jedním ze systémů kolejové dopravy MHD. V projektu, který řešila VŠB-Technická univerzita (VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2009), se uvádí, že je „charakteristická tím, že tramvajové tratě (většinou dvoukolejné) jsou uloženy ve společné vozovce s dopravou nekolejovou. Vyznačují se soupravami složenými obvykle ze dvou vozů (výjimečně ze tří). Provoz je charakteristický hustým sledem vlaků. Vzdálenosti zastávek jsou malé, především v centru města (300-600 m). Křížení s nekolejovou dopravou a pěšími je v úrovni vozovky, a proto platí pro tramvajový provoz pravidla silničního provozu“. Z toho vyplývá, jak je v projektu konstatováno, častá akcelerace a brzdění kola i kolejnice rychle opotřebovávají, vzhledem k tomu, že tramvajové vozy mají všechny nápravy hnané. Dále se zde uvádí, že přívod stejnosměrného proudu je vrchním vedením, odběr proudu z trakčního vedení zajišťuje pantograf, umístěný na střeše vozu.

1.2 Historie tramvajové dopravy

Linert (2005) uvádí, že v době provozu pražské koněspřežné dráhy se František Křižík rozhodl vybudovat v Praze první elektrickou dráhu na našem historickém území. Zřízena podle něj byla ku příležitosti Jubilejní zemské výstavy v roce 1891 a měla především propagační účel. Upřesňuje, že trasa vedla od horní stanice letenské lanové dráhy k pavilonu Jubilejní zemské výstavy.

1.2.1 Křižíkova elektrická dráha Praha – Libeň – Vysočany

Podle Fojtíka (2005) vybuvoval Křižík další elektrickou trať, vedoucí z dnešní Florence přes Libeň až do Vysočan, v roce 1896. Ta byla, jak uvádí, provozována pod akciovou společností „Elektrická drobná dráha Praha-Libeň-Vysočany“. Dodává, že později byla prodána Elektrickým podnikům, a tímto se Elektrické podniky staly jediným vlastníkem pražské městské hromadné dopravy.

1.2.2 Elektrická dráha Smíchov – Košíře

Linert (2005) zmiňuje, že Matěj Hlaváček, starosta samostatného města Košíře, vybuvoval vlastní trať ze Smíchova do města Košíře. Byla to podle něj poslední elektrická tramvajová dráha provozovaná soukromou osobou a po smrti Hlaváčka dědicové dráhu prodali Elektrickým podnikům.

1.2.3 Městská elektrická dráha královských vinohrad

Fojtík (2005) popisuje i další dráhu z pera Františka Křižíka, která byla pojata jako okružní, a to z Prahy přes Žižkov do Královských Vinohrad. Jak píše, provozovatelem dráhy bylo město Královské Vinohrady, později se přidala i Praha. Městskou elektrickou dráhu Královských Vinohrad podle něj pak v prosinci 1897 odkoupily Elektrické podniky královského hlavního města Prahy.

1.2.4 Elektrické podniky hlavního města Prahy a Dopravní podniky hlavního města Prahy

Linert (2005) uvádí, že v období po 1. světové válce bylo nutné provést rozsáhlé rekonstrukce většiny tramvajových svršků, což mělo za následek odsunutí výstavby nových tratí. Toto období bylo podle něj jedno z nejkritičtějších v historii pražské tramvajové dopravy. Tento zlom ale znamenal pro pražskou veřejnou dopravu počátek nových projektů tramvajových tratí a dopravní síť se začala rozšiřovat všemi směry, jak dodává. Podle Fojtíka (2005) byl během 2. světové války zaveden pravostranný provoz a důsledkem toho bylo potřeba přestavět zastávky a upravit samotné tramvaje. Jak uvádí dále, byl také zaveden noční provoz, později s omezeními kvůli probíhající válce a v roce 1946 došlo k rozdělení Elektrických podniků hlavního města Prahy na dopravní a elektrárenskou. Dodává, že dopravní část se později přejmenovala na Dopravní podniky hlavního města Prahy.

1.2.5 Dopravní podniky hlavního města Prahy

Poslední etapu vývoje tramvajové dopravy v Praze popisuje Linert (2005) následovně. Podle něj postupné rozšiřování metra v 70. letech omezilo rozvoj tramvajové sítě a otevřelo i otázku pro její případné nahrazení autobusy; vzhledem k rychlému rozvoji autobusové dopravy také nevznikaly v této době nové tratě do okrajových sídlišť, místo toho byly preferovány desítky autobusových linek, většinou navazujících právě na nové metro. Zároveň se rušily některé tramvajové linky, které byly souběžné s trasou metra, jak dodává.

Linert (2005) uvádí, že se tramvajová doprava měla stát jen jakýmsi doplňkem metra a vypadalo to, že bude postupně omezována, avšak v 80. letech došlo k přehodnocení toho záměru, jelikož se ukázalo, že díky své ekologičnosti a dopravní kapacitě je pro pražskou hromadnou dopravu více než výhodná. Dodává, že posledním velkým milníkem ve vývoji pražského dopravního podniku, bylo v roce 1991 založení akciové společnosti Dopravní podnik hlavního města Prahy.

1.3 Historický vývoj tramvajových vozidel

Podle Linerta (2005) v návaznosti na vývoj elektrifikovaných tratí došlo k výrazným změnám v konstrukci tramvají jako celku, a tak si postupné rozšiřování sítě elektrický drah vynutilo další doplnění vozového parku o modernější a kapacitnější vozy. *„Příznivou souhrou okolností měly všechny tramvajové tratě v pražské aglomeraci stejný rozchod kolejí 1435 mm, a tak mohlo snadno docházet k předávání vozidel mezi jednotlivými systémy“* (Linert, 2005, s. 56).

Linert (2005) uvádí, že dodávky těchto vozů byly začátkem 20. století a charakteristické vzhledové rysy pro novější tramvaje byly přebírány až do začátku třicátých let minulého století. Podle něj, první výrazná změna v konstrukci vznikla v období mezi první a druhou světovou válkou; jednalo se o jednosměrné vozy, u kterých měl řidič pouze jedno stanoviště. Dále popisuje, že prvním důvodem bylo lepší využití podlahové plochy, a tedy více místa pro cestující, tím druhým byla snaha o minimalizace časově ztrátových úkonů v konečných stanicích, kdy docházelo k přepřažení vozů objížděním vlečných vozů. Vznikly tak vratné smyčky, při jejichž průjezdu se tramvaj dostala opět do správného směru jízdy a odpadly tedy úkony popsané výše, dodává. Zmiňuje také, že v návaznosti na tyto změny bylo zmodernizované i pracoviště řidiče vybavené sedačkou, tedy už nemusel po celou dobu jízdy stát.

1.3.1 Tramvajové vozy Tatra

Linert (2005) popisuje milník v pražské hromadné dopravě jako zavedení velkoprostorových čtyřnápravových vozů typu T tovární značky Tatra, kterým byla vzorem americká tramvaj PCC (Presidents' Conference Committee Car) neboli vůz výboru předsedů. *„V rámci dohody o bezplatné výměně licenci mezi ČKD a americkou firmou Westinghouse bylo požádáno o dokumentaci k jejich elektrické výzbroji. Dokumentace sice byla z USA odeslána, ale mezitím vypukla válka a k jejímu doručení došlo až v roce 194“* (Linert, 2005, s. 57). Dále Linert (2005) uvádí, že nový typ tramvají se v Praze začal používat až v letech 1951–1952, kdy typ T1 byl koncipován tak, aby mohl jezdit po pražské síti bez úprav kolejových konstrukcí. Podle Fojtíka (2005) měl typ T1 výrazně zúženou vozovou skříň v oblasti prvních a posledních dveří a byl koncipován tak, aby mohl jezdit po pražské síti bez úprav kolejových konstrukcí. Dále uvádí, že se tyto vozy odlišovaly od předcházejících typů tramvají vyráběných u nás především celokovovou samonosnou svařovanou skříní s jediným oddílem pro cestující a trojmi dveřmi, ovládanými jak řidičem, tak průvodčím. Zmiňuje také, že tramvajový jednosměrný motorový vůz T1 měl dva dvounápravové podvozky se všemi

hnanými nápravami a pro bezpečnější provoz sloužily tři druhy brzd, provozní elektrodynamická, zajišťovací čelist'ová a nouzová elektromagnetická.

Podle Fojtíka (2005) s rozvojem města bylo nutné souběžně přizpůsobit také infrastrukturu tramvajové dopravy, především kapacitně, nástupcem se stal typ T2. Dodává, že podvozky i elektrická výzbroj zůstaly beze změny, ale zvětšila se vozová skříň, a tím i kapacita pro cestující. Podle Mary (2006) měla tato úprava za následek nepříznivé změny v provozu samotné tramvaje, kdy v síti elektrických drah byla celá řada kolizních míst, především křižovatky a oblouky. Musely být tedy používány pouze na vybraných linkách, kde nehrozila žádná kolize z důvodu větších rozměrů, dodává. Dalším negativem byla také navýšená hmotnost, jak uvádí. Dodává, že celkem byly vyrobeny dva prototypy, ale bohužel vzhledem k problémům popsaným výše nedošlo k zahájení sériové výroby.

Podle Fojtíka (2005) v návaznosti na problémy s typem T2 národní podnik Tatra vyvinul modernizovaný typ T3, jehož zmodernizovaná verze T3R.P ještě dnes tvoří podstatnou část vozového parku. Dále uvádí, jak se změnila konstrukce skříně, u které byly požadavky na odlehčení. „*Při výrobě vozu bylo použito plastických hmot, zejména skelného laminátu a dalších moderních prvků*“ (Fojtík, 2005, s. 198). Lze tedy říci, že se jednalo o takovou revoluci v konstrukci, co se použitých materiálů týče, dodává. Fojtík (2005) dále popisuje změny v konstrukci podvozku a elektrické výzbroje, kdy pro vozy T3 byla zkonstruována zjednodušená elektrická výzbroj se zvýšenou spolehlivostí a životností opotřebitelných částí a u podvozku došlo k úpravám nápravové převodovky. Podle Linerta (2005) v návaznosti na vývoj elektrotechniky a na požadavek energetické úspornosti byla pro typ T3 vyvinuta polovodičová výzbroj TV1 s tyristorovou pulzní regulací rozjezdu a brzdění a typové označení takto zrekonstruovaných vozů bylo změněno na T3 M.

Zcela nový model tramvaje s označením KT8D5 vznikl, podle Linerta (2005), na základě požadavku na jednotný typ tramvaje pro všechny tramvajové provozy, která měla být použita především také na tratích rychlodrážního charakteru. Linert (2005) dále popisuje konstrukci typu KT8D5, která byla zcela nové koncepce. Dále uvádí, že tramvaj byla třídlílná se čtyřmi dvounápravovými podvozky a osazena byla výzbrojí TV3. Dodává také, že s ohledem na možnost použití na rychlodrážní trati bylo požadováno, aby dveře byly v jedné rovině s bočnicí. Podle něj, tato konstrukce změnila průjezdný průřez a v kombinaci s prodlouženou vzdáleností podvozků zapříčinila, zejména při jízdě obloukem v pražských ulicích, možnost kolize s protijedoucí tramvají. Toto zjištění vedlo k nutnosti upravit některé kritické úseky kolejišť, jak potvrzuje Linert (2005).

Linert (2005) uvádí, že druhým nejrozšířenějším vozem, po T3, se v novodobé historii pražských ulic stal typ T6A5. Jak píše dále, technické řešení nízkopodlažních vozů provázely problémy a výroba zatím nebyla možná, jenže nutnost obnovy vozového parku závislá na finančních možnostech podniku vedla k nákupu tramvají, které měly stále klasickou konstrukci, tedy výšku podlahy 920 mm nad temenem hlavy kolejnice. Linert (2005) popisuje T6A5 jako jednosměrný čtyřnápravový vůz, který má výklopná okna v horní části a dvoukřídlé dveře s ochranou proti sevření, které mohli otevírat sami cestující. Na střeše je pak umístěn polopantograf a elektrická výzbroj TV3, dodává.

1.3.2 Vývoj nízkopodlažních vozů

Fojtík (2005) uvádí, že první koncepcí nízkopodlažní konstrukce byl typ RT6N1. Popisuje ji jako tříčlankovou, jednosměrnou, částečně nízkopodlažní tramvaj, kdy záměrem této konstrukce bylo urychlení nástupu a výstupu cestujících, a tím zvýšení cestovní rychlosti. To mělo pomoci zejména osobám s omezenou pohyblivostí nebo cestujícím s kočárky. Nízkopodlažní část ve výšce 350 mm nad (TK) temenem hlavy kolejnice, jak uvádí Linert (2005), byla umístěna ve střední části vozu mezi dvěma vnějšími hnacími podvozky. Podle Fojtíka (2005) se tramvaje bohužel vyznačovaly značnou poruchovostí a nezískaly povolení Drážního úřadu k pravidelnému provozu s cestujícími; především z tohoto důvodu byl provoz ukončen a vozy prodány do Polska.

Podle Linerta (2005) nízkopodlažní vozy zaznamenaly pozitivní ohlasy u cestujících, a tak po neúspěchu s modelem RT6N1 se pražský Dopravní podnik rozhodl zmodernizovat starší typ KT8D5 popsany výše. *„Tramvaj KT8D5R.N2P je modernizována velice podobným způsobem jako ostatní rekonstruované vozy KT8D5. Na první pohled je nejvýraznější změnou výměna středního článku, místo původního byl osazen nový nízkopodlažní o výšce podlahy 350 mm nad temenem kolejnice“* (Pražské tramvaje, 2001-2021a). Server Pražské tramvaje (2001-2021a) dále uvádí, že výzbroj TV3 je nahrazena stejnosměrnou trakční výzbrojí TV Progress od firmy Cegelec a.s. a veškerá výzbroj byla přemístěna pod podlahu krajních článků. Podvozky byly poté zakryty, aby se co nejvíce snížila hluková zátěž; samozřejmostí byla také modernizace interiéru a pracoviště řidiče, dodává server Pražské tramvaje (2001-2021a).

Linert (2005) zmiňuje rok 2003, ve kterém bylo vypsáno výběrové řízení na částečně nízkopodlažní tramvaje a ve kterém zvítězila Škoda Transportation s.r.o. s nabídkou pětičlankové nízkopodlažní jednosměrné tramvaje na neotočných podvozcích, která nese označení 14T. Jak uvádí, dva z pěti článků jsou nízkopodlažní a jsou zavěšeny na sousedních

článcích s podvozky. Jak píše dále, zbylé tři podvozky potom nesou asynchronní trakční motory, celkem tedy šest motorů a vzhledem ke konstrukci částečně nízkopodlažního vozu je převážná většina elektrické výzbroje umístěna v kontejnerech na střeše vozidla. Dále uvádí, že novinkou je také nové prostorné pracoviště řidiče se samostatnými vstupními dveřmi a s klimatizací.

Server Pražské tramvaje (2001-2021b) uvádí, že po zkušenostech s vozy Škoda 14T, které měly problémy s neotočnými podvozky, bylo vypsáno výběrové řízení na nový typ s otočnými podvozky a tender vyhrála Škoda Transportation s.r.o. s nabídkou modelu 15T. Jak píše dále, jedná se o první typ tramvaje používaný v Praze, který má celou skříň nízkopodlažní. Dále uvádí, že tramvaj je tříčlánková se šesticí předšupných dvoukřídlých dveří v pravé bočnici, určených pro cestující a umožňujících rychlou obměnu cestujících. Sedmé, jednokřídlé dveře usazené nad předním podvozkem slouží pro přístup řidiče na jeho stanoviště, upřesňuje server Pražské tramvaje (2001-2021b). Podle Hinčici (2019a) bylo celkem objednáno 250 ks tramvají a poslední byla dodána v únoru roku 2019. Hrubeš (2015) uvádí, že je pro upřesnění nutné dodat modelové označení, kdy prvních 125 ks je označeno jako Škoda 15T a dalších 125 ks jako Škoda 15T4, přičemž označení 15T4 nesou modernizované vozy, které byly doplněny o celovozovou klimatizaci či wi-fi připojení.

1.4 Technické řešení klimatizace a ventilace tramvají

Dienstbier (2020) uvádí, že nově zaváděná koncepce nízkopodlažních vozů si vyžádala kompletní změnu v konstrukci vozidel a následkem těchto změn došlo k přestěhování typicky podpodlahových komponent na střechu vozidla. Jak popisuje dále, jedná se konkrétně o trakční výzbroje, pomocné pohony a baterie, které byly nově umístěny na střeše vozidla (do jednotlivých kontejnerů), a takto vzniklý prostor v podvozkové části dovolil snížit podlahu do podvozkové úrovně. Dodává, že v konstrukci starších vysokopodlažních vozů, například typ T3, bylo větrání interiéru založeno na prosté náporové bázi během jízdy vozu pomocí otevíracích oken a střešních klapek. Vysvětluje, že tyto střešní klapky (zejména první) jsou ve vozidle orientovány proti směru jízdy tak, aby byl venkovní vzduch vtlačěn do interiéru, následně prošel částí vozidla a otevřenými bočními okny byl ohřátý vzduch vytlačen ven z vozu. Což potvrzuje i Linert (2005). Jak dále popisuje Dienstbier (2020), v kombinaci s posuvnými okny se jeví tento systém jako velmi funkční a účinný, ale tento princip bohužel nelze aplikovat během stání vozu, protože pak není aplikována teorie náporového větrání.

Dienstbier (2020) uvádí, že náporový systém větrání u nových nízkopodlažních tramvajových vozidel naráží na čtyři základní úskalí. Jak popisuje dále, jedná se o legislativní,

kdy je zakázáno využívat větrání skrz posuvná boční okna, a druhé je technické – právě výše zmíněné umístění jednotlivých komponent na střeše vozu. Z jeho vyjádření vyplývá, že se buď střešní větrací klapka mezi komponenty už nevejde, nebo by nasávání vzduchu bránilo střešní kontejnery. Dále popisuje, že třetím nezanedbatelným vlivem je hluková zátěž od nuceného větrání kontejnerů výzbroje, které vzhledem k umístění na střeše na přímém slunci musí pracovat intenzivněji. Výčet zakončuje posledním bodem, kterým je vizuální linka vozidla, kde většinou po obvodu střechy je vytvořen zákrytový límec, aby nebyl vzhled vozidla rušen právě technologickými kontejnery na střeše. Nicméně tento střešní zákryt všechnu snahu o intenzivnější přísun chladnějšího vzduch téměř znemožňuje a vytváří množství horkého vzduchu, který nemá jak proudit, a víceméně zůstává ve voze, jak dodává. Dále konstatuje, že z těchto důvodů jsou u nízkopodlažních vozidel střešní klapky nahrazeny systémem nucené ventilace. Upozorňuje ovšem, že zde existuje mnoho nástrah, zejména jaký vzduch je nasáván, protože může docházet k nežádoucímu nasátí ohřátého vzduchu od brzdových odporů či chlazení trakčních kontejnerů, ale také při delším stání vozu nebo pomalejší jízdě je nasáván horký vzduch rozpálený od samotné střechy vozu.

„Již v devadesátých letech byla z bezpečnostně legislativních důvodů nahrazena posuvná okna za vyklápěcí, převážně se jednalo v České republice o vozy T6A5 či počátky rekonstruovaných vozů T3R/T3R.P.“ (Dienstbier, 2020). Dienstbier (2020) dále navazuje poznámkou, že již u těchto vozů lze poznat změnu v náporovém proudění vzduchu, kdy k proudění dochází jen v malé míře kolem horního pootevření oken zcela mimo prostor cestujících a v letních měsících je uvnitř vozu nepříjemně teplý vzduch. Podle něj se systém výklopných oken dál přenesl do prvních nízkopodlažních vozidel a velice zajímavá porovnávací možnost byl projekt tramvají typu RT6N1, u kterého vozidla vyrobená pro provoz v České republice nebyla vybavena větrací klapkou, ale ta určena pro polský provoz ano. V polské variantě RT6N1 se cestující z tohoto pohledu cítili komfortněji a lépe se jim dýchalo, dodává. Naštěstí v současné době již světoví i tuzemští výrobci mohou od vyklápěcích oken zase upustit a vracejí se k osvědčeným posuvným, ale použití náporových větracích klapek je z výše popsaných důvodů stále nemožné, doplňuje. Z výše uvedeného vyplývá, že tato úskalí lze vyřešit použitím klimatizace do tramvajových vozidel.

1.4.1 Funkce klimatizace v obecné rovině

System klimatizace se skládá z dvou hlavních částí, kterými jsou venkovní a vnitřní jednotka. M-klima (2014) uvádí, že kompresor, který je z hlukových důvodů umístěný ve venkovní jednotce, stlačuje plynné chladivo, tím se zvyšuje jeho teplota a pod tlakem je

vháněno do výměníku tepla (kondenzátor), který je ochlazován venkovním vzduchem za pomoci ventilátoru. „Chladivo ve výměníku odevzdá svoji teplotu do venkovního prostoru a tímto jevem dojde k jeho zkapalnění. Kapalné chladivo s nízkou teplotou je potrubím přenášeno přes expanzní ventil do výměníku tepla (výparníku) vnitřní jednotky. Skrz stěny výparníku chladivo odebírá teplo z okolního vzduchu, který je k němu hnán ventilátorem, a druhou stranou jednotky je vháněn ochlazený vzduch zpět do místnosti“ (M-klima, 2014). Dále popisuje proces změny skupenství chladiva z kapalného na plynné, ke kterému dojde právě změnou teploty chladiva. Ohřáté plynné chladivo je opět vháněno do kompresoru venkovní jednotky, kde je opětovně stlačeno a celý cyklus se opakuje, zakončuje popis M-klima (2014)

1.4.2 Klimatizační jednotka v tramvaji

Jak popisuje Dienstbier (2020), většina klimatizačních jednotek umí pracovat ve třech režimech: chlazení, prosté ventilování a ventilování s ohřevem vháněného vzduchu. Klimatizační jednotka má možnost volby nasávání vzduchu buď z interiéru vozu, nebo z okolí, či kombinací obojího dle natočení klapky ovládané servomotorem. Dále uvádí, že nasávaný vzduch následně prochází skrz filtr, zabraňující prostupu nečistot, dále výparníkem, na kterém dochází ke snížení vlhkosti a ochlazování vzduchu, až do topného bloku pro možné ohřívání vzduchu v chladném počasí a v poslední části je vzduch vháněn do podstropního kanálu pomocí ventilátorů. „Topný blok byl u prvních klimatizací zapojen do sérioparalelního zapojení topného tělesa, které umožňuje pouze několikastupňové spínání. V současné době se již standardně používá pulzní regulace topného tělesa, která umožňuje rozsah topení od 0 do 100 %. Regulace kompresoru pro chlazení je většinou řešena frekvenčním měničem 600 V DC/3x400 V AC“ (Dienstbier, 2020).

Metodika nastavení klimatizace se aktuálně zaměřuje na dvě možné varianty, které Dienstbier (2020) popisuje následovně. Jak uvádí, první možností je nastavit interiérovou hodnotu teploty blízkou k venkovní tak, aby klimatizovaný vzduch pouze ochlazoval prostor od sálavých podílů tepla, a na základě tohoto požadavku se interiérová teplota udržuje řádově 1–3 °C pod tou venkovní, kdy se rozdíl teplot nepatrně zvětšuje s narůstající venkovní teplotou. Jak ale dodává, takové nastavení může působit jako neúčinné, protože rozdílné teploty jsou minimální, ale v porovnání s neklimatizovaným vozem, vybaveným pouze ventilací, je rozdíl ihned znatelný. Samotná ventilace nedokáže udržovat nastavený rozdíl teplot v interiéru oproti externím teplotám, upřesňuje. Dienstbier (2020) uvádí, že druhou možností je udržovat teplotu ve vozidle na konstantní úrovni, což ale znamená při vyšších

venkovních teplotách značný rozdíl teploty oproti interiéru. Dále upozorňuje na fakt, že cestující by tedy zažívali teplotní šok při nástupu a výstupu, což zrovna při krátké cestovní době v MHD není vhodné, a proto se tento způsob nastavení spíše hodí na dálkovou, případně příměstskou dopravu. Dodává příklad z praxe, kdy při použití prvního způsobu klimatizování cestující systém označují za nefunkční a mají tendenci otevírat okna, protože při nástupu do klimatizovaného vozidla očekávají pocit ochlazení.

Jak bylo zmíněno v úvodu, klimatizační jednotky se ovšem nepoužívají pouze v letních měsících, ale také k ohřívání chladného vzduchu, který je do interiéru vháněný. V zimním období je nejdůležitější spolupráce mezi klimatizační jednotkou na střeše vozu a topnými agregáty umístěnými zpravidla pod sedačkami cestujících.

Dienstbier (2020) uvádí, že v tomto uspořádání je třeba správně nastavit systém tak, aby stropní jednotka nepřetápěla podsedačkové agregáty, které by se téměř vlastní regulací odstavily a došlo by tím k disfunkci. Upozorňuje tak na stav, kdy je u podlahy a sedaček zima a naopak u stropu teplo. Dále upřesňuje, že většina klimatizačních jednotek měří teplotu interiéru při zpětném nasávání vzduchu ve stropním kanálu, a tedy není schopná rozpoznat, že je v dolní části vozu chladno, čímž vzniká u stropu vozidla tzv. tepelný zkrat. Technicky lepším řešením je podle Dienstbiera (2020) realizovat dopravením teplého vzduchu ze střešní klimatizační jednotky vzduchovody k sedačkám vozu. Jak uvádí, výhodou tohoto řešení je správná distribuce teplého vzduchu k podlaze vozu, a naopak v letním provozu se po přestavení klapky vhání studený vzduch stropním kanálem. Další výhodou tohoto řešení podle něj je, že odpadá potřeba užití podsedačkových topných agregátů, což má za následek značné zjednodušení systému a úsporu financí. Nakonec popisuje i nevýhodu tohoto systému, protože je nutná tepelná izolace vzduchovodů procházející hrubou stavbou vozu. Dále, jak tvrdí, musí provozovatel vzít na vědomí nutnost delšího technologického času pro vytopení interiéru v případě startu studeného vozu, jelikož se první musí nahřát samotný vzduchovod a až poté se začíná ohřívát interiér.

Dienstbier (2020) uvádí, že pro klimatizační a topné systémy nebývá většinou problém zvládnout klasické horké letní či zimní studené dny, protože systémy většinou pracují na plno, regulace softwaru nebývá složitá a již není problém na trhu sehnat zařízení o dostatečných výkonech.

Poměrně náročným obdobím roku pro udržení tepelného komfortu pro cestující je podzimní a jarní období. Jak už bylo zmíněno výše, ve starších vozidlech bez nucené ventilace vzduchu povětšinou postačuje provoz vozidla bez topení se zavřenými okny a střešními klapkami. Úskalím je, jak uvádí Dienstbier (2020), když do vozidla proudí skrz

ventilaci venkovní chladný vzduch. Jako příklad uvádí, že pokud je venkovní teplota vzduchu v rozsahu 10–16 °C, je nutné takto chladný vzduch ohřívat, aby nesnižoval tepelný komfort cestujících. Ohříváním vzduchu se interiér vozu vyhřeje až nad 20 °C, popisuje dále, a na podzim je tento stav pro cestující příjemný, jelikož jsou zvyklí na letní teploty a lehké oblečení. Ovšem v jarním období, podle něj, nastává opačná situace, kdy vnitřní a venkovní teploty jsou stejné, cestující jsou zvyklí na nízké teploty, nosí teplé oblečení, a tak jim takovýto vůz připadá silně přetopený. Pro klimatizační jednotku je tento stav obtížně rozpoznatelný, jelikož jak na jaře, tak na podzim se naměří přibližně stejné teploty, dodává Dienstbier (2020).

Další slabinou kombinovaných klimatizačních systémů bývá jejich nastavení od výrobce/programátora, jehož zadáním je obvykle stanovená norma, kdy výrobce nastaví přípustné meze, upozorňuje Dienstbier (2020) a dodává, že systém musí být nastavený velice rozumně, jinak vyjde pro cestujícího značně nekomfortní výsledek.

Dienstbier (2020) popisuje simulaci takto nastaveného systému na modelu vytápění při venkovní teplotě 0°C, u které je zadáním kombinace stropního a podsedákového topení se striktními hranicemi vnitřní teploty (19 °C), které stanovil výrobce. Zásadní tedy podle něj byla podmínka nepřekročení teploty 19 °C v interiéru, to znamená, že podsedákové topení topí, dokud se teplota v interiéru nedostane na hodnotu 19 °C. Dále uvádí, že následkem toho dojde k úplnému odstavení topných těles, která vychladnou, a totéž platí i pro stropní klimatizaci s přehřevem vzduchu. V tento okamžik by cestující pociťovali příjemné interiérové teploty, dodává.

Dienstbier (2020) ale upozorňuje, že vzhledem k nízkopodlažní konstrukci vozu začne být od podlahy poměrně rychle chladno, a to kvůli umístění teplotních čidel v horní části prostoru pro cestující. Jak popisuje dále, následkem toho se spodní část vozidla začne ochlazovat a stropní ventilace bude vhánět neohřátý vzduch. Uvádí, že tento stav zanedlouho rozpozná čidlo vnitřní teploty a začne nové vytápění vozu, jenomže než se opět podsedáková topná tělesa rozehřejí, bude poměrně dlouho klimatizace pouze vhánět neohřátý vzduch. Závěrem dodává, že tento stav je tedy naprosto nepříjemný a vede k navyšování výkonu podsedákových topení za adekvátních finančních nákladů. Podle Dienstbiera (2020) může být přitom jedinou chybou špatně naprogramovaný systém klimatizace a je tedy nutné jej přeprogramovat na pozvolné snižování výkonu s dočasnými možnými překročeními hranic, zejména zákazem spadnutí do nulového tepelného výkonu.

Dienstbier (2020) závěrem uvádí, že pokud bude celý systém správně nastaven, lze tímto dojít k závěru, že podsedákové agregáty nejsou vůbec potřeba a k provoznímu vytápění

stačí jen klimatizační jednotka, což je velice zajímavé z ekonomického hlediska i s ohledem na nekonečný boj s hmotností vozidel a požadavky na úpornější provoz z hlediska spotřeby elektrické energie.

1.4.3 Automatické a manuální ovládání klimatizace

Dienstbier (2020) řeší také provozní problém, zda má být vozidlo vybaveno manuální klimatizací, či automatickou, protože v případě manuálního ovládání může nastat problém, když řidič klimatizaci nastaví chybně nebo jí vůbec nespustí. *„V této situaci je mnohem lepší použít automatický režim, který sám rozpozná, od jaké teploty má klimatizaci spustit. Jelikož teplota bývá na celém území města stejná, tedy všechny vozy se zachovají obdobně a začnou ve stejnou chvíli klimatizovat“* (Dienstbier, 2020). Z toho vychází jeho tvrzení, že cestující, kteří přestoupí mezi vozy, žádný velký rozdíl nepoznají. Dodává, že nevýhoda automatického režimu nastává, kdy systém nesprávně vyhodnotí naměřené teploty a nezareaguje tak, jak by bylo pro cestující nejvhodnější, což u manuálního režimu řidič může regulovat a nastavení patřičně upravit. Podle něj se z těchto důvodů u automatického režimu dovoluje řidiči upravovat teplotní rozsah zpravidla ± 2 °C a pro provozovatele tedy vychází jako lepší automatický režim, který minimalizuje lidskou chybu. Pro úplnost zmiňuje, že je nezbytné, aby provozovatelé dbali na správné nastavení klimatizací, jejich programů a v případě poruchy dovolili alespoň částečný zásah řidiče do nastavení.

Pokud vozidlo není vybaveno otevíracími okny, musí v případě poruchy klimatizace nebo ventilace být odstaveno z provozu, a to při vysokých venkovních teplotách může být natolik vážné, že vozidlo nemůže bez funkční ventilace dojet ani na nejbližší konečnou stanici, upozorňuje Dienstbier (2020). V případě osazení vozidla otvíracími okny, je možno vozidlo dále provozovat, a to buď do zajištění výměny záložním vozidlem, nebo do konce směny, dodává. Pokračuje myšlenkou, zda je vhodnější mít okna uzamčená, nebo je nechat přístupná pro případ problému výše. Dodává, že většina provozovatelů jde cestou uzamčení, čímž vzniká problém při výpadku klimatizace, kdy řidič musí dojít okna odemknout. V tomto případě je, podle něj, vhodné mít okna bez uzamčení, kdy si je cestující sami otevřou. Samozřejmě zde naopak působí problém otevření oken při funkční klimatizaci.

Je tedy obtížné najít takové řešení, aby systém pracoval efektivně a ke spokojenosti cestujících. Je nutné určit preference a dle nich systém nastavit. Umožňuje-li to konstrukce tramvaje, je určitě vhodné mít vůz osazen klimatizační jednotkou.

2 ANALÝZA STAVU A MOŽNOSTÍ POUŽITÍ KLIMATIZACE V TRAMVAJÍCH DOPRAVNÍHO PODNIKU HL. M. PRAHY, AKCIOVÁ SPOLEČNOST

V této kapitole je krátce uveden popis aktuálního stavu vozoven a jednotlivých tramvají. Druhá část se vztahuje pouze na perspektivní typy tramvají, které nebudou vyřazeny v tomto roce. Dle DPP (Dopravní podnik hl. m. Praha) by měly být vyřazeny vozy typu T3M2-DVC A T6A5. Vozy typu T3R.P a T3R.PV jsou spojeny do jedné kategorie a v práci budou dále uvažovány jednotně pod označením T3R.P.

2.1 Vozovny

Vozovna Hloubětín

Vozovna se nachází ve východní části Prahy v Hloubětíně a jedná se o nejmladší vozovnu, přesto odtud tramvaje vyjíždí 70 let, uvádí Chour (2014a) a dodává, že od počátku provozu, tedy 10. března 1951, až po otevření Ústředních dílen Dopravního podniku, sloužila vozovna Hloubětín k opravě vozů typu T. Poslední změny se podle Choura (2014a) vozovny dotkly

v roce 1999, kdy proběhla celková rekonstrukce vozovny.

Vozovna Kobylisy

Vozovna zahájila provoz 30. dubna 1939 a první větší změnou byla v roce 1967 instalace mycího rámu, který svému účelu slouží dodnes, jak popisuje server Pražské tramvaje (2001-2021c) a dodává, že vozovna Kobylisy má značně klidnou historii a od zahájení provozu se tu moc změn neodehrálo, vyjma poslední rekonstrukce kolejiště, které bylo v roce 2009 zcela přestavěno, jak potvrzuje redakce serveru Československý dopravák (2019).

Vozovna Motol

Severní část vozovny byla, dle serveru Pražské tramvaje (2001-2021d), slavnostně předána do provozu v roce 1937 a později, v roce 1953, byla z provozních důvodů dostavěna i jižní část. Kolejiště vozovny se dočkalo přestavby v roce 1989 z důvodu plánovaného umístění vozů KT8D5, uvádí Chour (2014b). Koncem 90. let proběhla, podle Choura (2014b), rozsáhlá rekonstrukce vozovny, která zahrnovala vybudování nového dílenského zázemí na severní straně depa a dokončena byla také hala denního ošetření.

Vozovna Pankrác

Ve své době jedna z největších vozoven zahájila provoz 10. října 1927 a zpočátku zde byly umístěny také autobusy až do roku 1982, uvádí Chour (2014c) a dodává, že v 70. letech proběhla přestavba kolejiště a následně v roce 1992 byl instalován nový mycí stroj. Popis vozovny uzavírá faktem, že kolejová harfa se dočkala rekonstrukce roku 2004.

Vozovna Strašnice

Vozovna Strašnice zahájila provoz 8. října 1908 a jedná se tak o v současné době nejstarší funkční pražskou vozovnu, uvádí Hrubeš (2018a) a navazuje informací o rekonstrukci kolejiště, které se vozovna dočkala v roce 1972, kolejiště dodnes zůstalo nezměněno. Na závěr Hrubeš (2018a) uvádí zajímavý fakt, že díky svému umístění je v Praze jedinou vozovnou, ze které je možné vyjíždět do tří stran. Z výše uvedeného vyplývá, že strašnická vozovna patří k základním pilířům pražské tramvajové sítě.

Vozovna Střešovice

Vozovna Střešovice zahájila provoz 24. října 1909 a mimo tramvají zde vypravovali i trolejbusy, jenže časem vzešel požadavek na zvětšení vozovny a stalo se tak v roce 1931, popisuje vznik vozovny Chour (2015a). Dále popisuje, jak se v 70. letech uvažovalo i o zrušení vozovny, což nakonec vyústilo v přerušení provozu a v roce 1992 byla vyhlášena Muzeem MHD Dopravního podniku hlavního města Prahy, které následně otevřeli v roce 1993.

Vozovna Vokovice

Podle Choura (2014d) vozovna zahájila provoz 1. května 1933 a kromě vozovny byla postavena i trať k vozovně, jelikož zde dosud tramvaje nejezdily, a dodává, že v roce 1953 zde byla zřízena lakovna, která tu byla až do konce 60. let. V roce 2001 byl otevřen nový mycí rám, což potvrzuje i server Pražské tramvaje (2001-2021e). V letech 2013 a 2014 došlo k postupné opravě kolejí v lodích vozovny za účelem zvýšení jejich únosnosti, uvádí Chour (2014d).

Vozovna Žižkov

Vozovna Žižkov zahájila provoz 28. dubna. 1912 a po vozovně Strašnice se jedná o druhou nejstarší vozovnu v provozu, uvádí Chour (2013). Podle serveru Pražské tramvaje (2001-2021f) roku 1925 došlo ke zvětšení vozovny a dva roky poté k dalšímu navýšení kapacit. Kolejiště vozovny bylo přestavěno v tom samém roce a další rekonstrukce budovy proběhla v roce 1961, dodává.

Zajímavostí je, že jako jediná pražská vozovna má na svém dvoře kolejový kruh, dodává závěrem Chour (2013). Přehled rozdělení vozů do vozoven je v tabulce č. 1.

Tabulka 1 Rozdělení vozidel dle vozoven

Vozovna	Hloubětín				Kobylisy		Motol			Pankrác		Strašnice		Střešovice	Vokovice		Žižkov		
Typ vozu	Retro vozy	T3M2-DVC	T3R.P	KT8D5.RN2P	T3R.P	14T	T3R.P	T6A5	15T	T3R.P	15T	T3R.P	T3R.PLF	Retro vozy	T3R.P	15T	Retro vozy	T3R.P	15T
Provozní stav ve vozovnách	13	18	26	52	59	55	16	3	96	30	62	119	35	10	26	65	2	71	27

Zdroj: Dopravní podnik hlavního města Prahy (2021a)

2.2 Tatra T3M2-DVC

Jak uvádí Linert (2005), u starších modelů tramvaje T3M končila životnost vozové skříně, ale výzbroj a podvozek nevykazovaly takovou míru opotřebení, a tak Dopravní podnik hlavního města Prahy zakoupil koncem 90. let zcela nové vozové skříně v provedení, v té době používaných, tramvajů T3SUCS a touto modernizací vzniklo nové označení T3M2-DVC. Tato výměna vozové skříně, jak uvádí server Pražské tramvaje (2001-2021g), umožnila vytápění salónu pro cestující ohřátým vzduchem od pulzního měniče a také nový systém předvolby otevření jednotlivých dveří cestujícími. Od toho pochází označení DVC – Dveře volí cestující, dodává Linert (2005). Technické parametry jsou uvedeny v tabulce č. 2.



Obrázek 1 Tramvajový vůz T3M2-DVC (Dopraváček, 2019, upraveno autorem)

Tabulka 2 Technické údaje vozu T3M2-DVC

Základní technické údaje		
Délka vozové skříně	14 000	mm
Šířka vozové skříně	2 500	mm
Výška vozové skříně	3 053	mm
Počet náprav	4	-
Počet míst k sezení	24	osob
Počet míst k stání maximální	138	osob
Hmotnost prázdného vozu	17 000	kg
Hmotnost plně obsazeného vozu	28 500	kg
Výška podlahy nad TK	894	mm
Maximální rychlost	65	km/h

Zdroj: Linert (2005)

2.3 Tatra T6A5

Linert (2005) uvádí, že druhým nejrozšířenějším vozem pražských ulic, před zavedením modelu 15T, se v novodobé historii, tzn. v polovině 90. let, stal typ T6A5 zobrazený na obrázku č. 2. Jak píše dále, technické řešení nízkopodlažních vozů provázely problémy a výroba zatím nebyla možná, a tak nutnost obnovy vozového parku závislá na finančních možnostech dopravního podniku vedla k nákupu tramvají, které měly stále klasickou konstrukci, tedy výšku podlahy 920 mm nad temenem hlavy kolejnice. Oproti předchůdci Tatra T3, byly nové T6A5 osazeny polopantografem, většími okny a dvoukřídlými dveřmi, jejichž otevření si volí sami cestující, uvádí server Pražské tramvaje (2001-2021h) a konstatuje, že došlo také k oddělení pracoviště řidiče posuvnými dveřmi. Podle informací z DPP (2021b) aktuálně provozují poslední 3 vozy, které v průběhu roku 2021 ukončí svůj provoz, vyjma jednoho vozu, který si DPP ponechá pro příležitostný provoz, což potvrzuje i Hrubeš (2020). Technické parametry jsou uvedeny v tabulce č. 3.



Obrázek 2 Tramvajový vůz T6A5 (Hrubeš, 2020, upraveno autorem)

Tabulka 3 Technické údaje vozu T6A5

Základní technické údaje		
Délka vozové skříně	14 700	mm
Šířka vozové skříně	2 500	mm
Výška vozové skříně	3 160	mm
Počet náprav	4	-
Počet míst k sezení	25	osob
Počet míst k stání maximální	147	osob
Hmotnost prázdného vozu	19 500	kg
Hmotnost plně obsazeného vozu	31 500	kg
Výška podlahy nad TK	894	mm
Maximální rychlost	65	km/h

Zdroj: Linert (2005)

2.4 Tatra T3 R.P

V Dopravním podniku hlavního města Prahy má tento typ T3 R.P, na obrázku č. 3, ve vozovém parku nejpočetnější zastoupení a aktuální počet (k 15. 2. 2021) je 347 vozů, jak uvádí statistika DPP (2021b). Modernizace po technické stránce již nevyhovujících tramvají nadtypu T3 začala v roce 2000 a vzešla z předchozích zkušeností při modernizaci na typ T3R a také z finanční výhodnosti oproti pořízení nových vozů. Linert (2005) uvádí, že zprvu modernizaci prováděla šumperská společnost Pars Nova a později pokračuje Dopravní podnik hlavního města Prahy již vlastní přestavbou ve svých dílnách v Hostivaři. Po technické stránce spočívá modernizace v generální opravě vozové skříně, ale hlavně také, z hlediska co nejnižších budoucích nákladů na provoz, ve výměně trakční výzbroje. Podle Linerta (2005) se konkrétně jedná o bezkontaktní IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) výzbroj TV-PROGRESS, která nahradila stávající odporovou výzbroj se zrychlovačem, a samozřejmě je také výměna kabeláže pro spolehlivější provoz. Výměnou prošly také podvozky s novými převodovkami, dodává Linert (2005). K roku 2021 je již zhruba polovina vozů osazena silnějšími motory, které se montovaly i do novějších typů T3R.PLF. Server Pražské tramvaje (2001-2021ch) uvádí, že samotná modernizace interiéru vozové skříně přináší nové čalouněné sedáky ukotvené do bočnice vozu, protiskluzovou podlahu, nový informační systém pro cestující s digitálními transparenty a bezpečnější pohon dveří s vyšší citlivostí proti sevření. U takto modernizovaného vozu se počítalo s navýšením životnosti o 15 let, ale ani v roce 2021 Dopravní podnik hlavního města Prahy neuvažuje v dohledné době o jejich vyřazení, především z důvodu zálohy pro nepředvídatelné stavy. Technické parametry jsou uvedeny v tabulce č. 4.



Obrázek 3 Tramvajový vůz T3R.P (Chour, 2015b, upraveno autorem)

Tabulka 4 Technické údaje vozu T3R.P

Základní technické údaje		
Délka vozové skříně	14 000	mm
Šířka vozové skříně	2 500	mm
Výška vozové skříně	3 060	mm
Počet náprav	4	-
Počet míst k sezení	22	osob
Počet míst k stání maximální	160	osob
Hmotnost prázdného vozu	16 800	kg
Hmotnost plně obsazeného vozu	27 360	kg
Výška podlahy nad TK	894	mm
Maximální rychlost	65	km/h

Zdroj: Linert (2005)

2.5 Tatra KT8D5.RN2P

V návaznosti na vlnu úspěšné modernizace a vytvoření derivátů modelu T3, přichází na řadu i model Tatra KT8D5, u kterého je nejvýraznější změnou záměna středního článku za nízkopodlažní a vzniká tak v roce 2004 nové označení KT8D5.RN2P. Změnu lze vidět na obrázku č. 4. Podle Serveru Pražské tramvaje (2001-2021a) projekt úprav provádějí již známé firmy, které se podílely na modernizaci modelů T3, a to ČKD Pragoimex a.s. spolu s Pars Nova, a.s. Jak je zmíněno výše, hlavním prvkem generální opravy je skříň vozu a její konstrukční úpravy. Server Pražské tramvaje (2001-2021a) uvádí, že kromě střední části byly nutné zásahy i do krajních článků, a to z důvodu vyztužení kriticky namáhaných bodů skříně.

Střední nízkopodlažní článek nese označení ML8LF a jedná se o nově navržený díl, stejně jako předchozí skříň VarCB3LF, dodává. Generální opravou prošly také podvozky a motory a původní výzbroj TV3 byla nahrazena již známou stejnosměrnou trakční výzbrojí TV-PROGRESS, popisuje modernizaci Hinčica (2020). Dále uvádí, že stejně jako u Tatry T3R.PLF i zde došlo k přemístění části komponent na střechu vozidla středního článku a na střeše vozu byly také vyměněny pantografy, nyní polopantograf typu FB 500. Interiér vozu doznal změn stejně jako v případě typu T3R.P, kdy salón byl osazen novými sedačkami, protiskluzovou vrstvou, či pohonným mechanismem dveří Bahoza, popisuje změny Chour (2015c). Hinčica (2020) zmiňuje, že pracoviště řidiče bylo částečně odděleno přepážkou s poloprůhledným sklem a došlo také k přepracování samotných ovladačů na přístrojové desce spolu s novým kamerovým systémem pro monitorování vnějšího i vnitřního prostoru. Technické parametry jsou uvedeny v tabulce č. 5.



Obrázek 4 Tramvajový vůz KT8D5.RN2P (Vrobel, 2020, upraveno autorem)

Tabulka 5 Technické údaje vozu KT8D5.RN2P

Základní technické údaje		
Délka vozové skříně	30 300	mm
Šířka vozové skříně	2 480	mm
Výška vozové skříně	3 145	mm
Počet náprav	8	-
Počet míst k sezení	54	osob
Počet míst k stání maximální	283	osob
Hmotnost prázdného vozu	38 000	kg
Hmotnost plně obsazeného vozu	61 550	kg
Výška podlahy nad TK	900	mm
Maximální rychlost	65	km/h

Zdroj: Linert (2005)

2.6 Tatra T3 R.PLF

Některé původní skříně na vozech typu T3 byly již v kritickém stavu, kdy ani generální oprava nebyla možná, a tak Dopravní podnik hlavního města Prahy využil v roce 2005 nabídky firmy ČKD Pragoimex k dodání nových vozových skříní VarCB3LF, vysvětluje server Pražské tramvaje (2001-2021i). Tato nová konstrukce skříní navazovala na původní vzhled T3, avšak změnou zde byla nízkopodlažní střední část. Z pohledu Dopravního podniku hlavního města Prahy šlo o výhodnou modernizaci, protože mohli nabídnout cestujícím více nízkopodlažních spojů a zároveň k tomu použili výběhové tramvaje, které by jinak museli buď odprodat, nebo určit k likvidaci. Chour (2014e) uvádí, že základní technické vybavení je podobné jako u typu T3R.P, jsou zde tedy použity komponenty jako bezkontaktní IGBT výzbroj TV-PROGRESS, stejné odzkoušené dveřní pohony a vybavení interiéru. Naopak nové jsou podvozky, které jsou vybaveny silnějšími motory a novějšími brzdami, ale také nově klimatizací vybavená kabina řidiče, dodává Chour (2014e). Vzhledem k nízkopodlažní konstrukci střední části jsou některé prvky výzbroje umístěny ve střešních kontejnerech a nové skříně VarCB3LF mají tedy vyšší pevnost, především v oblasti střechy, jsou delší a širší než původní u T3R.P a při jízdě v oblouku se tak negativně projevila vyšší vzdálenost otočných čepů, popisuje změny server Pražské tramvaje (2001-2021i). Technické parametry jsou uvedeny v tabulce č. 6.



Obrázek 5 Tramvajový vůz T3R.PLF (Kalina, 2018, upraveno autorem)

Tabulka 6 Technické údaje vozu T3R.PLF

Základní technické údaje		
Délka vozové skříně	15 100	mm
Šířka vozové skříně	2 480	mm
Výška vozové skříně	3 185	mm
Počet náprav	4	-
Počet míst k sezení	22	osob
Počet míst k stání maximální	149	osob
Hmotnost prázdného vozu	19 675	kg
Hmotnost plně obsazeného vozu	32 000	kg
Výška podlahy nad TK	350/860	mm
Maximální rychlost	65	km/h

Zdroj: Linert (2005)

2.7 Škoda 14T

Stále narůstající nároky na komfort přepravy a potřeba vyššího počtu nízkopodlažních spojů k uspokojení cestujících přivedly Dopravní podnik hlavního města Prahy k rozhodnutí nakoupit zcela nové vozy. Linert (2005) uvádí, že nové tramvaje s označením Škoda 14T začala v roce 2006 dodávat, v celkovém počtu 60 kusů, společnost Škoda Transportation s.r.o. Jak uvádí Chour (2014f), tramvaj je složena z pěti článků, které jsou mezi sebou spojeny kloubem a uloženy na třech neotočných podvozcích. Dále zmiňuje, že nízkopodlažní články jsou dva z nich, ty sudé, a jsou zavěšeny mezi články lichými. Ačkoliv 14T, na obrázku č. 6, není zcela nízkopodlažní, podařilo se konstruktérům snížit podlahu nosných článků (liché) na úroveň 600 mm nad TK, a tím se zlepšila průchodnost soupravou oproti modernizovaným vozům značky Tatra (T3R.PLF a KT8D5.RN2P). Každý ze tří podvozků je osazen dvěma asynchronními trakčními motory, které napájí asynchronní výzbroj ŠKODA TJ1.1 umístěná na střeše, stejně jako převážná většina výzbroje, popisuje pohon server Pražské tramvaje (2001-2021j). Interiérové řešení prvních vozů bylo vcelku nešťastné a cestující si zejména v prvním článku vozu stěžovali na stísněnost, ale po modernizaci je interiér vzdušnější, což potvrdila i zkouška obsaditelnosti, kterou prováděl ROPID (Regionální organizátor Pražské integrované dopravy) v roce 2016. „*Zkouška obsaditelnosti potvrdila správnost rozhodnutí o modernizaci tramvaje 14T, která zvýšila kapacitu vozu přibližně o 9% a nově se pohybuje na obdobných hodnotách dvojice vozidel T3R.P. Z výše uvedené skutečnosti vyplývá, že stávající standard obsaditelnosti 130 cestujících je pro toto modernizované vozidlo 14T facelift nastaven správně.*“ (Ropid, 2016). Kabina řidiče je zcela oddělena od salónu pro cestující posuvnými dveřmi a je klimatizovaná, popisuje další změny server Pražské tramvaje (2001-2021j) a dodává, že oproti starším tramvajím je zde nainstalovaný vylepšený software,

který řidiči pomáhá s plynulostí jízdy na základě vyhodnocování jízdních parametrů a aplikováním například při jízdě v oblouku. Šurovský (2020) zmiňuje nedostatky, které jsou spojeny zejména s vnitřním hlukem nebo vyšším působením příčných sil v oblouku oproti typu 15T. Technické parametry jsou uvedeny v tabulce č. 7.



Obrázek 6 Tramvajový vůz 14T (Indra, 2020, upraveno autorem)

Tabulka 7 Technické údaje vozu 14T

Základní technické údaje		
Délka vozové skříně	30 250	mm
Šířka vozové skříně	2 460	mm
Výška vozové skříně	3 400	mm
Počet náprav	6	-
Počet míst k sezení	69	osob
Počet míst k stání maximální	210	osob
Hmotnost prázdného vozu	39 987	kg
Hmotnost plně obsazeného vozu	61 770	kg
Výška podlahy nad TK	350/900	mm
Maximální rychlost	60	km/h

Zdroj: Tram.mobilnitabla (2021a)

2.8 Škoda 15T

Od dob nasazení vozů Tatra T3 a jeho modernizací se jedná o druhý nejvíce zastoupený model tramvaje v Dopravním podniku hlavního města Prahy a první vozy Škoda 15T jsou v pražském provozu již jedenáctým rokem. Z hlediska konstrukce jsou to první zcela nízkopodlažní tramvaje provozované v Praze. Server Pražské tramvaje (2001-2021b) uvádí,

že vůz je tvořen třemi články, které jsou propojeny podvozky, nikoliv klouby, a dodává, že při konstrukci se dbalo na průjezdný profil tramvajové kolejové sítě v Praze, a to velmi krátkými předstávkami, které zajišťují minimální vybočení vozidla v oblouku, zúženou vrchní částí skříně a použitím otočných podvozků. Podle Hinčici (2019) jsou podvozky osazeny individuálním pohonem, tedy pro každé kolo jeden motor, kdy každý z nich má výkon 45 kW, a díky této konstrukci nebylo nutné zvyšovat výšku podlahy nad podvozky. Jak uvádí Mlynařík (2015), důležitou vlastností této konstrukce nezávisle otáčivých kol je zlepšení jízdních vlastností s vazbou na bezpečnost proti vykolejení a opotřebením kol i kolejnic. „Metoda zajišťuje řízení pohonů jednotlivých kol v podvozku s individuálně nastavenými momentovými žádostmi tak, aby se podvozek pohyboval v přímé trati ve středu kolejové dráhy s minimálními dopady na opotřebením kol a kolejnic, v obloucích probíhá rozvážení momentů pohonů jednotlivých kol tak, aby se zmenšily vodící síly zejména nabíhajícího kola opět s pozitivními dopady na opotřebením kol a kolejnic.“ (Mlynařík, 2015). Synchronním řízením jednotlivých kol lze tedy dosáhnout znatelného efektu v oblasti redukce vodících sil a návazně na to také snížení opotřebením kol i kolejnic, dodává.

O kousek výše v interiéru se již neopakovaly koncepční chyby jako u Škody 14T a celý salón pro cestující je prostornější a lépe průchozí. Pracoviště řidiče je, stejně jako u modelu 14T, odděleno s vlastním vstupem a rozložení řídicích prvků je podobné včetně přítomnosti kamerového systému, popisuje změny Chour (2016). Vítanou změnou pro cestující je absence schodů uvnitř vozu a také menší hlučnost v porovnání s předchůdcem Škodou 14T, což přináší i negativum v podobě sníženého vnímání blízkosti se tramvaje. Technické parametry jsou uvedeny v tabulce č. 8.



Obrázek 7 Tramvajový vůz 15T (Isakov, 2019, upraveno autorem)

Tabulka 8 Technické údaje vozu 15T

Základní technické údaje		
Délka vozové skříně	31 400	mm
Šířka vozové skříně	2 460	mm
Výška vozové skříně	3 450	mm
Počet náprav	8	-
Počet míst k sezení	60	osob
Počet míst k stání maximální	223	osob
Hmotnost prázdného vozu	43 790	kg
Hmotnost plně obsazeného vozu	63 680	kg
Výška podlahy nad TK	320/350/450	mm
Maximální rychlost	60	km/h

Zdroj: Tram.mobilnitabla (2021d)

2.9 Celkový počet vozů

V tabulce č. 9 níže je možné nalézt celkový počet vozů zmíněných v této kapitole. Ekvivalent vozu T označuje kapacitní porovnání s vozy T3 oproti vícečláňkovým tramvajím typu KT8D5, 14T nebo 15T. U těchto vozů se jedná o dvojnásobek, tedy dva spojené vozy typu T se počítají jako jeden vícečláňkový vůz. Nejpočetnější typ, co se počtu kusů týče, je aktuálně T3R.P, ovšem po přepočtu na možnou obsaditelnost je na prvním místě nejnovější tramvaj Škoda 15T. V tabulce jsou zahrnuty i retrovozy, které již nejsou provozovány v běžném provozu. Jedná se o tramvaje typu T2, T3, T3SU, T3M a částečně i T6A5. Právě vozy T6A5 spolu s T3M2-DVC plánuje DPP tento rok vyřadit z provozu, a tak nejsou v následujících kapitolách zahrnuty.

Tabulka 9 Celkový počet tramvajových vozů

Typ vozu	Počet vozů	Ekvivalent vozu T
14T	55	110
15T	250	500
KT8D5.RN2P	52	104
T3R.P	347	347
T3R.PLF	35	35
T3M2-DVC	18	18
T6A5	3	3
Retro vozy*	25	25
Celkem	785	1 142

Zdroj: Dopravní podnik hlavního města Prahy (2021b)

2.10 Technická a provozní zhodnocení možností použití klimatizace

V první polovině druhé kapitoly byly představeny aktuálně provozované typy tramvají a jejich rozmístění dle vozoven. Následující analýza se bude týkat pouze perspektivních vozů, se kterými Dopravní podnik hlavního města Prahy počítá i v dalších letech. Ostatní vozy budou tento rok vyřazeny a nejsou tedy dále uvažovány. Výčet vozů, u kterých je provedeno zhodnocení je následující:

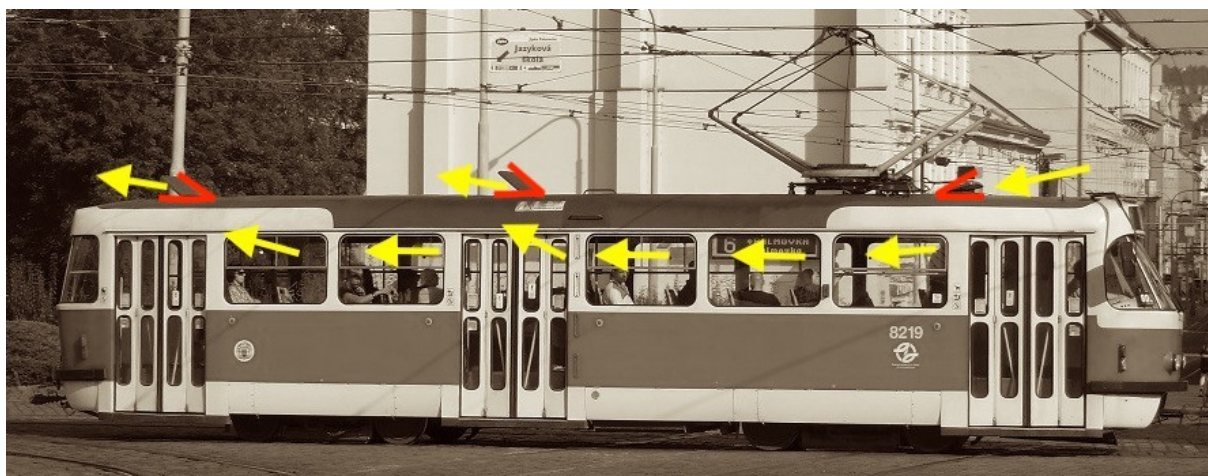
- Tatra T3R.P(V)
- Tatra T3R.PLF
- Tatra KT8D5.RN2P
- Škoda 14T
- Škoda 15T

U těchto vozů byla provedena technická a provozní analýza, zda je možné provést dodatečnou montáž klimatizačních jednotek a jaké jsou náklady s tím spojené. V prvním kroku je zhodnocen aktuálně používaný systém ventilace a popsán jeho princip. U vozů značky Tatra se jedná o náporové větrání a novějších značky Škoda jsou již osazeny ventilačními jednotkami. Nejedná se ani tak o krok vpřed a modernizaci, ale o vynucené řešení, protože náporové větrání u těchto vozů již nelze použít. Další nezbytnou částí je vyhodnocení proveditelnosti. Ani u jednoho typu, vyjma 15T, se v době objednávky tramvají s použitím klimatizace salónu pro cestující nepočítalo. Tomu odpovídá celková konstrukce jednotlivých vozů znemožňující operativně řešit otázku instalace klimatizačních jednotek na tyto vozy. Proto je nutné prvně ověřit možnost navýšení zatížení střechy karoserie a celkové hmotnosti působící na podvozky, potažmo nápravy. Vzhledem k celkové hmotnosti tramvaje se počítá s jistým naddimenzováním nosných prvků, ale nelze na to spoléhat. Základní výpočty jsou dle normy ČSN EN 13103-2 (Železniční aplikace - Dvojkolí a podvozky) a jedná se o naznačení, jak by taková kontrola zatížení mohla být provedena. Je důležité zmínit, že samotná norma obsahuje mnoho dalších výpočtů, které by bylo nutné zahrnout do komplexního ověření zatížení podvozku. V provozním zhodnocení je poukázáno nejen na celkové provozní náklady, ale také na náklady vztahující se k samotné klimatizaci. Tedy na její pořízení a údržbu. Náklady tak rostou s počtem použitých klimatizačních jednotek a předpokládané životnosti tramvaje. Tyto náklady jsou převzaty z vozu 15T, protože jako jediný je vybaven klimatizací salónu pro cestující a lze je tak analogicky použít pro ostatní vozy a získat komparaci mezi jednotlivými typy tramvají.

2.10.1 Tatra T3R.P

Technická analýza

Vozy T3R.P jsou klasické konstrukce a mají všechny elektrické komponenty umístěné pod podlahou skříně. Protože na střeše je uchycen pouze pantograf, je zde možné efektivní umístění větracích klapek do střechy vozu. Právě tyto větrací klapky spolu s posuvnými okny v horní části zajišťují během jízdy dostatečnou výměnu vzduchu. Ventilace a výměna vzduchu je tedy zajištěna náporovým větráním a v tomto modelu není klimatizace salónu pro cestující ani v kabině řidiče. Princip je naznačený obrázkem č. 8 níže.



Obrázek 8 Ukázka ventilace u vozu T3R.P (Malý, 2017, upraveno autorem)

V roce 2001, kdy začala modernizace vozů T3R na T3R.P, se použití klimatizace neuvažovalo a tomu také odpovídá konstrukce a elektrické vybavení tramvaje. Aby bylo možné provést dodatečnou montáž jednotky klimatizace salónu pro cestující, znamenalo by to následující úpravy:

- ověření nosnosti střechy vozu při dodatečném zatížení kontejnerem klimatizace,
- ověření celkového možného zatížení na nápravu či podvozek,
- konstrukční řešení uchycení kontejneru klimatizace na střechu vozu,
- instalace napájecího zdroje klimatizace, pokud by nebyl součástí kontejneru klimatizace,
- instalace stropního kanálu pro vedení vzduchu,
- ovládání klimatizace z kabiny řidiče.

Takové konstrukční zásahy je vhodné provádět na vyšším stupni opravy vozu (generální či pravidelná oprava) a tou již některá vozidla, v závislosti na roku modernizace, prošla. Z toho lze usoudit, že při najetí dalších kilometrů, jejichž počet odpovídá intervalu vyššího stupně opravy, budou vozidla místo opravy vyřazována. Tedy při započtení plánované doby provozu dalších 10 až 15 let, což je předpokládaná životnost, není prostor na generální opravu nebo modernizaci.

Z hlediska analýzy technického provedení bude vhodné začít ověřením výše uvedených nosností podvozků a střechy. Tyto parametry je samozřejmě nutné konzultovat s výrobcem vozové skříně, nebo společností, která by měla modernizaci provádět. Níže uvedené propočty zatížení jsou tedy pouze orientačního charakteru a slouží k prvotnímu ověření možnosti dodatečného zatížení. Z důvodu nedostupnosti hodnot udávajících povolené zatížení střechy nebude tento výpočet u žádné z tramvají proveden.

Výpočet celkového zatížení náprav

Při statickém zatížení náprav se uvažuje, že tramvaj stojí na rovné ploše a působí na ni pouze tíhová síla, která má působiště v těžišti. Protože nosné hřídele náprav jsou namáhány pouze na ohyb, mohou být v těchto případech při výpočtu považovány za nosníky. Jak uvádí na zjednodušeném příkladě Mičkal (1995), působí-li tíha vozu na jednotlivé nápravy, pak zatížení bude rozděleno podle počtu náprav. „Vzhledem k souměrnosti nápravy i zatížení mají vazbové síly F_a i F_b stejnou hodnotu.“ (Mičkal, 1995)

Parametry vozu potřebné k výpočtu statického zatížení u stojícího vozidla jsou uvedeny v tabulce č. 10. Pro přesnější výsledek je odečtena hmotnost dvojkolí od celkové hmotnosti vozu. Hmotnost dvojkolí byla stanovena od hmotnosti kol a nápravy a u vozů T3R.P, T3R.PLF a KT8D5.RN2P je vzhledem ke stejné konstrukci podvozku tato hodnota stejná. Tolerance zatížení náprav je u všech vozů 5 %.

Tabulka 10 Parametry vozu T3R.P

Celková hmotnost vozu	27 360	kg
Celková hmotnost prázdného vozu	16 800	kg
Celková hmotnost cestujících při plném obsazení	10 560	kg
Celková hmotnost dvojkolí	550	kg
Počet náprav	4	

Zdroj: Linert (2005), DPP (2021f)

Statická síla působící na nápravu stojící tramvaje

Použité veličiny:

m – hmotnost působící na nápravu po odečtení hmotnosti dvojkolí (kg)

g – gravitační konstanta (m/s)

i – počet náprav

Q – zatížení nápravy (N)

$$Q = \frac{m \cdot g}{i} = \frac{25160 \cdot 9,81}{4} = 61\,705 \quad [1]$$

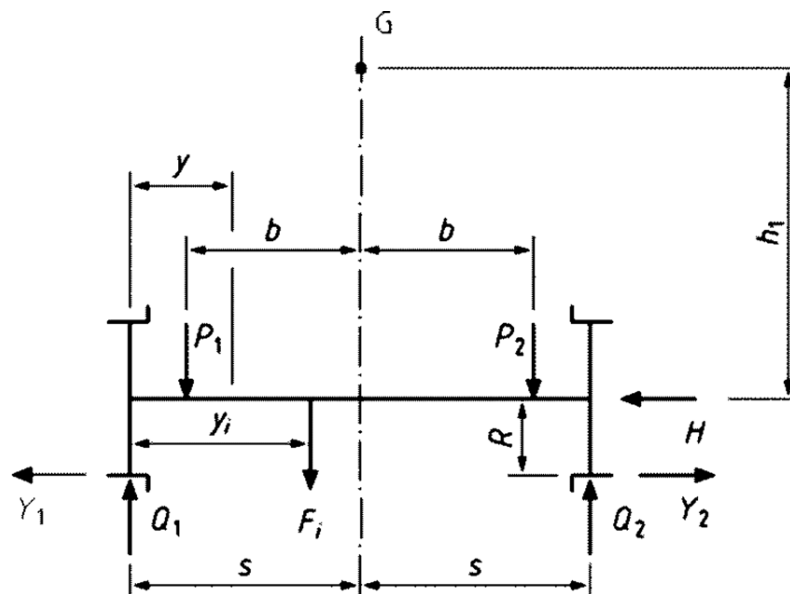
Zatížení jedné nápravy při plném obsazení vozu je tedy 61,7 kN. Při započtení hmotnosti 400 kg (1x klimatizační jednotka a prvky potřebné k instalaci) bude hodnota 62,7 kN.

$$Q = \frac{m \cdot g}{i} = \frac{25560 \cdot 9,81}{4} = 62\,685 \quad [2]$$

Maximální možné zatížení nápravy je dle DPP (2021g) 74 kN.

Výpočet zatížení ložisek dvojkolí dle normy ČSN EN 13103-2

Norma ČSN EN 13103-2 zahrnuje nespočet dalších propočtů týkajících se sil, které působí jak v jízdě přímé, tak v oblouku. Vzhledem k zaměření práce lze níže uvedené výpočty považovat za dostačující ve vztahu k prvotnímu ověření zatížení nápravy. Hodnoty h_1 a b uvedené v tabulce č. 11 jsou stejné pro vozy T3R.P, T3R.PLF, KT8D5.RN2P a byly autorem



Obrázek 9 Síly působící na dvojkolí (ČSN EN 13103-2, 2020)

odvozeny od rozměrů dvojkolí a skříně tramvaje. Nejedná se o zcela přesné parametry.

Tabulka 11 Hodnoty potřebné k výpočtu zatížení ložisek dvojkolí u vozu T3R.P

Veličina	Definice normy	Hodnota
m_1	hmotnost na čepy ložisek (včetně hmotnosti ložisek a tělesa ložiskové skříně)	6 320 kg
m_2	hmotnost dvojkolí a neodpružené hmotnosti mezi rovinami styčných kružnic (brzdové kotouče apod.)	620 kg
h_1	výška těžiště vypružených hmot nesených dvojkolím nad osou nápravy	1 150 mm
b	vzdálenost středu ložiska od osy vozu	500 mm

Zdroj: autor na základě vypočtených a stanovených hodnot

Před výpočtem sil je nutné stanovit hmotnost zatěžující ložiska. Hmotnost m_1 se stanoví ze vzorce:

$$m_1 = \frac{m_v}{i} + \frac{m_c}{i} - m_2 = \frac{16800+400}{4} + \frac{10560}{4} - 620 = 6320 \quad [3]$$

$$m_2 = m_{dv} + m_{př} + m_{ld} = 550 + 50 + 20 = 620 \quad [4]$$

Použité veličiny:

m_v – hmotnost prázdného vozu (kg)

m_c – celková hmotnost cestujících při plné obsazenosti

i – počet náprav

m_{dv} – hmotnost dvojkolí (kg)

$m_{př}$ – hmotnost převodovky (kg)

m_{ld} – hmotnost ložiskového domku a ložisek (kg)

Výpočet svislých sil působících na ložiska dvojkolí při jízdě v oblouku

Vzorce jsou použity dle normy ČSN EN 13103-2.

P_1 – Svislá síla na přetíženém ložiskovém čepu nápravy (N)

P_2 – Svislá síla na odlehčeném ložiskovém čepu (N)

$$P_1 = \left(0,5625 + 0,0375 * \frac{h_1}{b}\right) * m_1 * g = \left(0,5625 + 0,0375 * \frac{1150}{500}\right) * 6320 * 9,81 \quad [5]$$

$$P_1 = 40\,177$$

$$P_2 = \left(0,5625 - 0,0375 * \frac{h_1}{b}\right) * m_1 * g = \left(0,5625 - 0,0375 * \frac{1150}{500}\right) * 6320 * 9,81 \quad [6]$$

$$P_2 = 29\,494$$

Y_1 - Vodorovná příčná síla kolmá na osu kolejnice v přetíženém styku kolo/kolejnice (N)

$$Y_1 = 0,135 * m * g = 0,135 * 6320 * 9,81 = 8\,361 \quad [7]$$

Y_2 - Vodorovná příčná síla kolmá na osu kolejnice v odlehčeném styku kolo/kolejnice (N)

$$Y_2 = 0,21 * m * g = 0,21 * 6320 * 9,81 = 13\,005 \quad [8]$$

Z provedených výpočtů je patrné, že dodatečná montáž klimatizační jednotky by z hlediska zatížení nápravy byla možná. Dovolené zatížení je dimenzované na 74 kN a i při maximální zátěži, včetně klimatizace, by tato stanovená mez nebyla překročena. Konstrukce střechy karoserie není navržena k dodatečné montáži komponent, protože vše je umístěno pod podlahou vozu a na střeše je pouze pantograf. Bylo by tedy nutné, jak už bylo zmíněno, ověřit toto zatížení například s výrobcem karoserie pomocí přesných výpočtů. Ovšem při modernizaci je nutné zvážit také ostatní ukazatele ekonomického a provozního charakteru.

Provozní a ekonomická analýza

Nejen technické zhodnocení má vliv na finální rozhodnutí a je nutné pohlížet na problematiku komplexně, tedy zahrnout i ukazatele vztažené k provozu a opravám jednotlivých tramvají, a to z hlediska plánované životnosti tramvaje. Dodatečnou instalaci klimatizační jednotky je vhodné provádět při vyšším nájezdu kilometrů, tedy až na úrovni PO (pravidelná oprava), případně GO (generální oprava). U tramvaje Tatra T3R.P je tato norma stanovena na nájezd 600 000 km, což odpovídá zhruba 10 letům provozu. Náklady jsou uvedeny pro dva vozy typu T, aby bylo dosaženo rovnocenného srovnání s vozy KT8D5.RN2P, 14T a 15T, které mají vyšší kapacitu odpovídající právě dvěma vozům T. Roční nájezd tramvaje je zhruba 60 000 km. V tabulce č. 12 jsou pak rozepsané náklady na provoz, které je vhodné uvažovat při rozhodování o provedení modernizace.

V první tabulce č. 12 níže je porovnání nákladů na provoz a údržbu tramvaje s klimatizací a bez ní. Náklady na údržbu klimatizační jednotky vycházejí z kalkulací u vozu Škoda 15T a jsou zobrazeny v tabulce č. 13. Tyto výdaje se sledují pro periodu 200 tisíc km, což odpovídá zhruba provozu tří let, a v tomto definovaném období se provádí: 6x KP,

1x VKP, 1x PÚ. Hodnoty jsou v tabulce č. 12 upraveny pro období jeden rok a také na počet klimatizačních jednotek. Vůz 15T má tři jednotky, ale u vozu typu T3 by byly pouze dvě, pro každý vůz jedna. Cena za elektrickou energii na 1 km je 6,97 Kč.

Tabulka 12 Roční náklady na provoz a údržbu vozu T3R.P

Položka	Hodnota (Kč)
Roční náklady na provoz (oprava a údržba)	2 000 000
Spotřeba el. energie na rok (60 tis. km)	418 200
Náklady na údržbu klimatizace na rok	8 430
Náklady bez klimatizace na rok celkem	2 418 200
Náklady s klimatizací na rok celkem	2 426 630

Zdroj: Dopravní podnik hlavního města Prahy (2021c), doplněno autorem

Náklady poskytnuté Dopravním podnikem hlavního města Prahy pro vůz 15T, z kterých bude vycházet výpočet pro vozy T3R.P, T3R.PLF, KT8D5.RN2P a 14T. Náklady odpovídají cca třem letem provozu.

KP – kontrolní prohlídka po ujetí 20 tis. km

VKP – kontrolní prohlídka po ujetí 100 tis. km

PÚ – periodická údržba po ujetí 200 tis. km

Tabulka 13 Náklady na údržbu klimatizačních jednotek vozu 15T

Klimatizovaný vůz Škoda 15T	
Položka	Hodnota (Kč)
Materiál	17 658
Práce	20 281
Náklady celkem	37 939

Zdroj: Dopravní podnik hlavního města Prahy (2021d)

Zvýšená spotřeba elektrické energie při zapojení klimatizační jednotky není započtena, protože nelze předem určit, v jaké míře by byla vytěžována. Lze ale předpokládat, že by roční náklady vzrostly pouze minimálně, protože tropických dní je v Praze jen pár desítek za rok.

V celkovém porovnání ročních nákladů by navýšení pro 173 souprav vozů při použití klimatizace vzrostlo o 1 458 tisíc Kč. Při plánované životnosti 15 let jsou pak celkové navýšené náklady na údržbu klimatizace v hodnotě 21 870 tisíc Kč.

2.10.2 Tatra T3R.PLF

Technická analýza

Vozy T3R.PLF mají stejný systém ventilace jako již zmíněné vozy T3R.P. Ačkoliv mají zcela novou skříň, která je v prostřední části nízkopodlažní, tak částečně umístěná výzbroj na střeše vozu (ve střední části) nebrání v nasávání vzduchu střešními klapkami. To lze vidět na obrázku č. 10. Ty jsou tři a spolu s posuvnými okny v horní části zajišťují během jízdy dostatečnou výměnu vzduchu.



Obrázek 10 Skříň vozu T3R.PLF (Pražské tramvaje 2001-2021i, upraveno autorem)

Umístění klimatizační jednotky by tedy bylo možné pouze na zadní část vozu, ideálně v kolmé rovině podvozku mezi větrací klapky. Takové umístění klimatizační jednotky by zcela jistě znamenalo jinou konstrukci stropního kanálu pro vedení vzduchu než u vozu T3R.P, u kterého by klimatizace mohla být umístěna ve střední části skříň. Bylo by tedy obtížnější splnit normu ČSN EN 14 750-1, která upravuje podmínky použití klimatizace salónu pro cestující pro městská a příměstská kolejová vozidla. Konstrukční úpravy by byly stejné jako u vozu T3R.P:

- ověření nosnosti střechy vozu při dodatečném zatížení kontejnerem klimatizace,
- ověření celkového možného zatížení na nápravu či podvozek,
- konstrukční řešení uchycení kontejneru klimatizace na střechu vozu,
- instalace napájecího zdroje klimatizace, pokud by nebyl součástí kontejneru klimatizace,
- instalace stropního kanálu pro vedení vzduchu,
- ovládání klimatizace z kabiny řidiče.

První vozy jsou v provozu od roku 2007 a tak, stejně jako T3R.P, již některé vozy prošly pravidelnou opravou, která se provádí zpravidla při nájezdu 600 tis. kilometrů. Je tedy zřejmé, že při plánované životnosti 10 až 15 let již další pravidelná oprava neproběhne, a tedy není ani možnost v rámci odstavení provést výše zmíněné úpravy. Z konstrukčního hlediska je nutné provést kontrolu technické proveditelnosti dodatečné instalace klimatizační jednotky u vozu, jehož konstrukce k tomu při výrobě nebyla uzpůsobena. Pro ukázkou je níže znázorněn základní výpočet zatížení nápravy a ložisek dvojkolí jako u vozu T3R.P.

Parametry vozu potřebné k výpočtu statického zatížení u stojícího vozidla jsou uvedeny v tabulce č. 14.

Tabulka 14 Parametry vozu T3R.PLF

Celková hmotnost vozu	32 000	kg
Celková hmotnost prázdného vozu	19 675	kg
Celková hmotnost cestujících při plném obsazení	12 325	kg
Celková hmotnost neodpružených hmot na nápravu	550	kg
Počet náprav	4	

Zdroj: Linert (2005), DPP (2021f)

Statická síla působící na nápravu stojící tramvaje

Použité veličiny:

m – hmotnost působící na nápravu po odečtení hmotnosti dvojkolí (kg)

g – gravitační konstanta (m/s)

i – počet náprav

Q – zatížení nápravy (N)

$$Q = \frac{m * g}{i} = \frac{29800 * 9,81}{4} = 73085 \quad [9]$$

Zatížení jedné nápravy při plném obsazení vozu je tedy 73 kN. Při započtení hmotnosti 400 kg (1x klimatizační jednotka a prvky potřebné k instalaci) bude hodnota 74 kN.

$$Q = \frac{m * g}{i} = \frac{30200 * 9,81}{4} = 74066 \quad [10]$$

Maximální možné zatížení nápravy je dle DPP (2021g) 79,5 kN.

Výpočet zatížení ložisek dvojkolí dle normy ČSN EN 13103-2

Hodnoty potřebné k výpočtu jsou v tabulce č. 15.

Tabulka 15 Hodnoty potřebné k výpočtu zatížení ložisek dvojkolí u vozu T3R.PLF

Veličina	Definice normy	Hodnota
m_1	hmotnost na čepy ložisek (včetně hmotnosti ložisek a tělesa ložiskové skříně)	7 667 kg
m_2	hmotnost dvojkolí a neodpružené hmotnosti mezi rovinami styčných kružnic (brzdové kotouče apod.)	620 kg
h_1	výška těžiště vypružených hmot nesených dvojkolím nad osou nápravy	1 150 mm
b	vzdálenost středu ložiska od osy vozu	500 mm

Zdroj: autor na základě vypočtených a stanovených hodnot

Před výpočtem sil je nutné stanovit hmotnost zatěžující ložiska. Hmotnost m_1 se stanoví ze vzorce:

$$m_1 = \frac{m_v}{i} + \frac{m_c}{i} - m_2 = \frac{19675 + 400}{4} + \frac{12325}{4} - 620 = 7480 \quad [11]$$

$$m_2 = m_{dv} + m_{př} + m_{ld} = 550 + 50 + 20 = 620 \quad [12]$$

Použité veličiny:

m_v – hmotnost prázdného vozu (kg)

m_c – celková hmotnost cestujících při plné obsaditelnosti

i – počet náprav

m_{dv} – hmotnost dvojkolí (kg)

$m_{př}$ – hmotnost převodovky (kg)

m_{ld} – hmotnost ložiskového domku a ložisek (kg)

Výpočet svislých sil působících na ložiska dvojkolí při jízdě v oblouku

Vzorce jsou dle normy ČSN EN 13103-2.

P_1 – Svislá síla na přetíženém ložiskovém čepu nápravy (N)

P_2 – Svislá síla na odlehčeném ložiskovém čepu (N)

$$P_1 = \left(0,5625 + 0,0375 * \frac{h_1}{b}\right) * m_1 * g = \left(0,5625 + 0,0375 * \frac{1150}{500}\right) * 7480 * 9,81 \quad [13]$$

$$P_1 = 47605$$

$$P_2 = \left(0,5625 - 0,0375 * \frac{h_1}{b}\right) * m_1 * g = \left(0,5625 - 0,0375 * \frac{1150}{500}\right) * 7480 * 9,81 \quad [14]$$

$$P_2 = 34946$$

Y_1 – Vodorovná příčná síla kolmá na osu kolejnice v přetíženém styku kolo/kolejnice (N)

$$Y_1 = 0,135 * m * g = 0,135 * 7480 * 9,81 = 9906 \quad [15]$$

Y_2 – Vodorovná příčná síla kolmá na osu kolejnice v odlehčeném styku kolo/kolejnice (N)

$$Y_2 = 0,21 * m * g = 0,21 * 7480 * 9,81 = 15410 \quad [16]$$

Z provedených výpočtů je patrné, že dodatečná montáž klimatizační jednotky by z hlediska zatížení nápravy byla možná. Dovolené zatížení je dimenzované na 79,5 kN a s tolerancí 5 % je to 83,5 kN. Tedy i při maximální zátěži, včetně klimatizace, by tato stanovená mez nebyla překročena ani při jízdě v oblouku. Oproti T3R.P dovolují podvozky nižší dodatečné zatížení, což je způsobeno především vyšší hmotností samotného vozu T3R.PLF.

Provozní a ekonomická analýza

U vozu T3R.PLF uvažuje Dopravní podnik hlavního města Prahy stejné roční náklady jako u T3R.P. Důvodem jsou velmi podobné rozměrové a hmotnostní parametry, jízdní odpory, ale především stejná výzbroj a komponenty. Níže uvedené hodnoty jsou tedy beze změny. Cena elektrické energie na 1 km je 6,97 Kč.

Tabulka 16 Roční náklady na provoz a údržbu vozu T3R.PLF

Položka	Hodnota (Kč)
Roční náklady na údržbu (oprava a údržba)	2 000 000
Cena el. energie na rok (60 tis. km)	418 200
Náklady na údržbu klimatizace na rok	8 430
Náklady bez klimatizace na rok celkem	2 418 200
Náklady s klimatizací na rok celkem	2 426 630

Zdroj: Dopravní podnik hlavního města Prahy (2021c), doplněno autorem

Náklady na údržbu klimatizační jednotky poskytnuté Dopravním podnikem hlavního města Prahy pro vůz 15T vychází z tabulky č. 13.

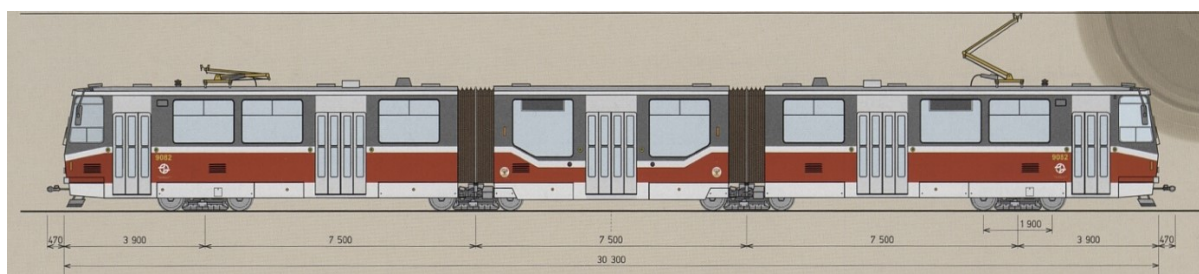
Rozdíl v celkovém navýšení nákladů bude tedy na základě počtu vozů, které jsou v provozu. Vzhledem k výrazně nižšímu počtu než u předchozí tramvaje, konkrétně 2 x 17 vozů, budou rozdíly zanedbatelné. V porovnání ročních nákladů by navýšení pro 17 souprav vozů při použití klimatizace vzrostlo o 143 tisíc Kč. Při plánované životnosti 15 let jsou pak celkové navýšené náklady v hodnotě 2 150 tisíc Kč, tedy zhruba 10x nižší než u T3R.P.

2.10.3 Tatra KT8D5.RN2P

Další částečně nízkopodlažní tramvaj vznikla modernizací typu KT8D5, kdy její střední článek byl nahrazen nízkopodlažním a část elektrické výzbroje se tak musela umístit na střechu. Na každém článku jsou pak umístěny dvě střešní klapky, jedna proti a druhá po směru jízdy. Princip ventilace je tedy stejný jako u T3R.P a T3R.PLF a lze tyto tři typy tramvají zařadit do jedné kategorie z hlediska ventilace a dostatečného systému výměny vzduchu během jízdy. Při pohledu na střechu vozu lze vidět, že oproti předchozím tramvajím je více osazena komponenty, a tedy nabízí velmi málo možností, kam umístit klimatizační jednotku. Ta by měla být ideálně pro každý článek jedna.

Výpočet ověření zatížení náprav je vhodné rozdělit na dvě části, protože jednotlivé články nezatěžují nápravy stejnou měrou. Krajní články působí svojí hmotností na tři nápravy, kdežto ten střední pouze na dvě a je tedy umístěný přímo na nápravě, nikoliv nesený. V této souvislosti je nutné podotknout, že střední článek je zhruba 65 % těch krajních, tedy i rozložení hmotnosti bude uvažováno takto. Tento údaj vychází z rozměrů na obrázku č. 11, protože se nepodařilo ověřit přesné hmotnosti jednotlivých článků.

Parametry vozu potřebné k výpočtu statického zatížení u stojícího vozidla jsou uvedeny v tabulce č. 17.



Obrázek 11 Tramvajový vůz KT8D5.RN2P (Linert, 2005, upraveno autorem)

Tabulka 17 Parametry vozu KT8D5.RN2P

Celková hmotnost vozu	61 550	kg
Celková hmotnost prázdného vozu	38 000	kg
Celková hmotnost cestujících při plném obsazení	23 550	kg
Celková hmotnost neodpružených hmot na nápravu	550	kg
Počet náprav	8	

Zdroj: Linert (2005), DPP (2021f)

Výpočet statického zatížení je rozdělený na dvě části, a to pro krajní článek a střední článek, protože nelze uvažovat rovnoměrné zatížení náprav jako u předchozích vozů klasické koncepce.

Statická síla působící na nápravu podvozku krajního článku stojící tramvaje

Použité veličiny:

m – hmotnost působící na nápravu po odečtení hmotnosti dvojkolí (kg)

g – gravitační konstanta (m/s)

i – počet náprav

Q – zatížení nápravy (N)

$$Q = \frac{m * g}{i} = \frac{21505 * 9,81}{3} = 70\,321 \quad [17]$$

Zatížení je zde rozloženo na tři nápravy a zatížení jedné nápravy při plném obsazení vozu je tedy 70,3 kN. Při započtení hmotnosti 400 kg (1x klimatizační jednotka a prvky potřebné k instalaci) bude hodnota 71,6 kN.

$$Q = \frac{m * g}{i} = \frac{21905 * 9,81}{3} = 71\,630 \quad [18]$$

Maximální možné zatížení nápravy podvozku krajního článku je dle DPP (2021g) 86,5 kN.

Statická síla působící na nápravu středního článku stojící tramvaje

$$Q = \frac{m * g}{i} = \frac{14135 * 9,81}{2} = 69\,332 \quad [19]$$

Zatížení jedné nápravy při plném obsazení vozu je tedy 74,8 kN. Při započtení hmotnosti 400 kg (1x klimatizační jednotka a prvky potřebné k instalaci) bude hodnota 76,8 kN.

$$Q = \frac{m * g}{i} = \frac{14535 * 9,81}{2} = 71\,294 \quad [20]$$

Maximální možné zatížení nápravy podvozku středního článku je dle DPP (2021g) 77,8 kN.

Výpočet zatížení ložisek dvojkolí dle normy ČSN EN 13103-2

Hodnoty potřebné k výpočtu zatížení u krajního článku jsou v tabulce č. 18 a vztahují se ke krajním článkům a podvozkům.

Tabulka 18 Hodnoty potřebné k výpočtům zatížení ložisek dvojkolí vozu KT8D5.RN2P

Veličina	Definice normy	Hodnota
m_1	hmotnost na čepy ložisek (včetně hmotnosti ložisek a tělesa ložiskové skříně)	8 289 kg
m_2	hmotnost dvojkolí a neodpružené hmotnosti mezi rovinami styčných kružnic (brzdové kotouče apod.)	620 kg
h_1	výška těžiště vypružených hmot nesených dvojkolím nad osou nápravy	1 150 mm
b	vzdálenost středu ložiska od osy vozu	500 mm

Zdroj: autor na základě vypočtených a stanovených hodnot

Před výpočtem sil je nutné stanovit hmotnost zatěžující ložiska. Hmotnost m_1 se stanoví ze vzorce:

$$m_1 = \frac{m_v}{i} + \frac{m_c}{i} - m_2 = \frac{14297 + 400}{3} + \frac{8860}{3} - 620 = 7233 \quad [21]$$

$$m_2 = m_{dv} + m_{př} + m_{ld} = 550 + 50 + 20 = 620 \quad [22]$$

Použité veličiny:

m_v – hmotnost prázdného vozu (kg)

m_c – celková hmotnost cestujících při plné obsaditelnosti

i – počet náprav

m_{dv} – hmotnost dvojkolí (kg)

$m_{př}$ – hmotnost převodovky (kg)

m_{ld} – hmotnost ložiskového domku a ložisek (kg)

Výpočet svislých sil působících na ložiska dvojkolí při jízdě v oblouku u krajních podvozků

P_1 – Svislá síla na přetíženém ložiskovém čepu nápravy (N)

P_2 – Svislá síla na odlehčeném ložiskovém čepu (N)

$$P_1 = \left(0,5625 + 0,0375 * \frac{h_1}{b}\right) * m_1 * g = \left(0,5625 + 0,0375 * \frac{1150}{500}\right) * 7233 * 9,81 \quad [23]$$

$$P_1 = 46\,032$$

$$P_2 = \left(0,5625 - 0,0375 * \frac{h_1}{b}\right) * m_1 * g = \left(0,5625 - 0,0375 * \frac{1150}{500}\right) * 7233 * 9,81 \quad [24]$$

$$P_2 = 33\,793$$

Y_1 – Vodorovná příčná síla kolmá na osu kolejnice v přetíženém styku kolo/kolejnice (N)

$$Y_1 = 0,135 * m * g = 0,135 * 7233 * 9,81 = 9579 \quad [25]$$

Y_2 – Vodorovná příčná síla kolmá na osu kolejnice v odlehčeném styku kolo/kolejnice (N)

$$Y_2 = 0,21 * m * g = 0,21 * 7233 * 9,81 = 14900 \quad [26]$$

Hodnoty potřebné k výpočtu zatížení u středního článku jsou v tabulce č. 19.

Tabulka 19 Hodnoty potřebné k výpočtu zatížení ložisek dvojkolí vozu KT8D5.RN2P

Veličina	Definice normy	Hodnota
m_1	hmotnost na čepy ložisek (včetně hmotnosti ložisek a tělesa ložiskové skříně)	7 197 kg
m_2	hmotnost dvojkolí a neodpružené hmotnosti mezi rovinami styčných kružnic (brzdové kotouče apod.)	620 kg
h_1	výška těžiště vypružených hmot nesených dvojkolím nad osou nápravy	1 150 mm
b	vzdálenost středu ložiska od osy vozu	500 mm

Zdroj: autor na základě vypočtených a stanovených hodnot

Před výpočtem sil je nutné stanovit hmotnost zatěžující ložiska. Hmotnost m_1 se stanoví ze vzorce:

$$m_1 = \frac{m_v}{i} + \frac{m_c}{i} - m_2 = \frac{9405 + 400}{2} + \frac{5829}{2} - 620 = 7197 \quad [27]$$

$$m_2 = m_{dv} + m_{př} + m_{ld} = 550 + 50 + 20 = 620 \quad [28]$$

Výpočet svíslých sil působících na ložiska dvojkolí při jízdě v oblouku u středních podvozků

P_1 – Svíslá síla na přetíženém ložiskovém čepu nápravy (N)

P_2 – Svíslá síla na odlehčeném ložiskovém čepu (N)

$$P_1 = \left(0,5625 + 0,0375 * \frac{h_1}{b}\right) * m_1 * g = \left(0,5625 + 0,0375 * \frac{1150}{500}\right) * 7197 * 9,81 \quad [29]$$

$$P_1 = 45\,803$$

$$P_2 = \left(0,5625 + 0,0375 * \frac{h_1}{b}\right) * m_1 * g = \left(0,5625 - 0,0375 * \frac{1150}{500}\right) * 7197 * 9,81 \quad [30]$$

$$P_2 = 33\,625$$

Y_1 – Vodorovná příčná síla kolmá na osu kolejnice v přitíženém styku kolo/kolejnice (N)

$$Y_1 = 0,135 * m * g = 0,135 * 7197 * 9531 \quad [31]$$

Y_2 – Vodorovná příčná síla kolmá na osu kolejnice v odlehčeném styku kolo/kolejnice (N)

$$Y_2 = 0,21 * m * g = 0,21 * 7197 * 9,81 = 14\,827 \quad [32]$$

Nejblíže k horní mezi zatížení je střední článek i přesto, že jeho hmotnost je výrazně nižší než krajní články. Důvodem je rozložení hmotnosti pouze na dvě nápravy. I přesto ale dovoluje instalaci klimatizační jednotky, pokud by byly splněny ostatní technické podmínky. Jednotlivá zatížení náprav při započtení tolerance 5 % nebyla ani v jednom případě překročena.

Provozní a ekonomická analýza

Modernější vozy KT8D5.RN2P, stejně jako T3R.PLF, patří do kategorie částečně nízkopodlažních vozů. Aby se tak stalo, stačilo vyměnit pouze střední článek namísto celé nové vozové skříně. Oproti vozům typu T ovšem mírně narostla spotřeba elektrické energie, což může být dáno vyšší hmotností jak prázdného vozu, tak i plně obsazeného, výkonnějšími motory a provozem klimatizace kabiny řidiče. Z pohledu roční spotřeby a ujetých kilometrů rozdíl není nijak výrazný. Ovšem z hlediska celkových ročních nákladů je údržba a provoz oproti vozům typu T v průměru vyšší o 350 tisíc Kč na jednu tramvaj. Náklady na údržbu klimatizace jsou počítané pro tři jednotky. V tabulce č. 20 jsou uvedeny roční náklady na provoz tramvaje. Cena elektrické energie na 1 km je 7,53 Kč.

Tabulka 20 Roční náklady na provoz a údržbu vozu KT8D5.RN2P

Položka	Hodnota (Kč)
Roční náklady na provoz (oprava a údržba)	2 350 000
Spotřeba el. energie na rok (60 tis. km)	451 800
Náklady na údržbu klimatizace na rok	12 646
Náklady bez klimatizace na rok celkem	2 801 800
Náklady s klimatizací na rok celkem	2 814 446

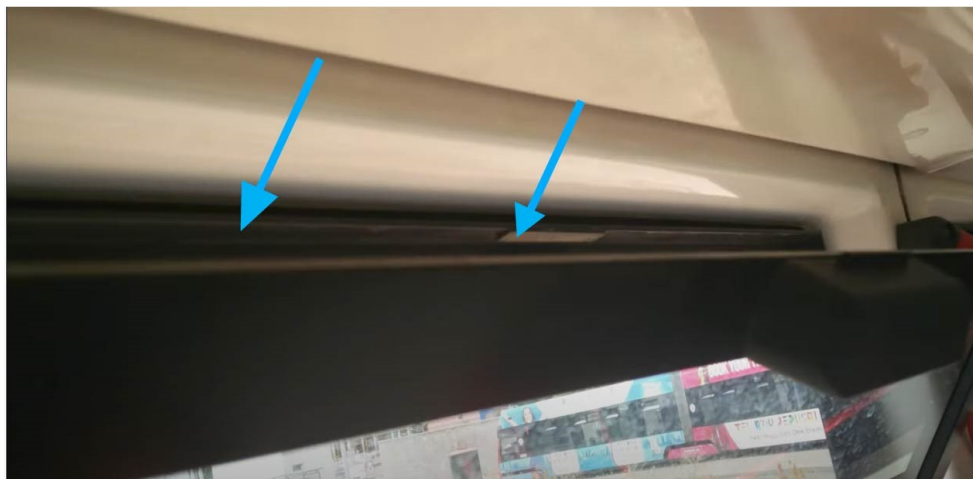
Zdroj: Dopravní podnik hlavního města Prahy (2021c), doplněno autorem

Náklady na údržbu klimatizační jednotky poskytnuté Dopravním podnikem hlavního města Prahy pro vůz KT8D5.RN2P vychází z tabulky č. 13.

Zvýšená spotřeba elektrické energie při zapojení klimatizační jednotky zde není opět započtena. Ze zapsaných hodnot je patrné, že po instalaci klimatizace na všech 52 vozech by roční náklady vzrostly o 658 tisíc Kč. Při plánované životnosti ještě 15 let by byly náklady navýšeny o 9 870 tisíc Kč.

2.10.4 Škoda 14T

Vzhledem k částečné nízkopodlažnosti vozu je převážná většina elektrické výzbroje umístěna v kontejnerech na střeše vozidla. Tyto modernější vozy 14T jsou již vybaveny stropními ventilačními jednotkami, které jsou umístěny na střeše článků 1, 2, 4 a 5. Z těchto konstrukčních důvodů nemá vůz 14T střešní větrací klapky jako starší vozy a ventilace vzduchu je zajištěna primárně zmíněnými jednotkami. Samozřejmě zde zůstává možnost otevřít boční výklopná okna, ale tím je velmi snížena účinnost výměny vzduchu, protože vyfukovaný vzduch z podstropního kanálu je směřován přímo do otevřeného výklopného okna. Tento jev je naznačený na obrázku č. 12. Možná, kdyby bylo možné použít posuvná okna, která dokážou nasát více vzduchu, bylo by větrání efektivnější. Jenže z důvodu bezpečnosti to nebylo možné.



Obrázek 12 Ventilace u vozu 14T (Tramvaják, 2019, upraveno autorem)

Doplnění klimatizačních jednotek by znamenalo záměnu za ventilační jednotky. Odpadá zde nutnost montáže stropního vzduchového kanálu a řešení napájení klimatizace. Dodatečná instalace ovládání klimatizace v kabině řidiče zůstává. Počet potřebných klimatizačních jednotek odpovídá počtu ventilačních jednotek, tedy čtyři. Při hmotnosti jednoho kusu klimatizační jednotky zhruba 400 kg ovšem výrazně vzroste celková hmotnost už tak těžké tramvaje. Dojde sice k záměně za ventilační jednotky, ale ty mají nižší hmotnost,

kdy hmotnost jednoho kusu je zhruba 176 kg (Bahoza, b.r.). Bude nutné opět ověřit opět dovolené zatížení střechy a náprav. Zejména u podvozku může být navýšené zatížení kritické, protože vůz 14T disponuje pouze třemi podvozky, což je o jeden méně, než má vůz 15T, ale rozměrově jsou si velmi podobné. Nutné základní úkony tvoří položky:

- Ověření nosnosti střechy vozu při dodatečném zatížení kontejnerem klimatizace.
- Ověření celkového možného zatížení na nápravu či podvozek.
- Zajištění ovládání klimatizace z kabiny řidiče.

Parametry vozu potřebné k výpočtu statického zatížení u stojícího vozidla jsou uvedeny v tabulce č. 21.

Tabulka 21 Parametry vozu 14T

Celková hmotnost vozu	61 800	kg
Celková hmotnost prázdného vozu	40 000	kg
Celková hmotnost cestujících při plném obsazení	21 800	kg
Celková hmotnost neodpružených hmot na nápravu	773	kg
Počet náprav	6	

Zdroj: Mobilní tabla (2014a), DPP (2021f)

Statická síla působící na nápravu stojící tramvaje

Použité veličiny:

m – hmotnost působící na nápravu po odečtení hmotnosti dvojkolí (kg)

g – gravitační konstanta (m/s)

i – počet náprav

Q – zatížení nápravy (N)

$$Q = \frac{m * g}{i} = \frac{57162 * 9,81}{6} = 93\,460 \quad [33]$$

Zatížení jedné nápravy při plném obsazení vozu je tedy 93,4 kN. Při započtení hmotnosti 896 kg (4x klimatizační jednotka a prvky potřebné k instalaci nahrazené ventilačními jednotkami s hmotností 176 kg na jeden kus.) bude hodnota 94,9 kN.

$$Q = \frac{m * g}{i} = \frac{58058 * 9,81}{6} = 94\,924 \quad [34]$$

Maximální možné zatížení nápravy je dle DPP (2021g) 99,7 kN.

Výpočet zatížení ložisek dvojkolí dle normy ČSN EN 13103-2

Hodnoty potřebné k výpočtu jsou uvedeny v tabulce č. 22. Parametr h_1 byl navýšen na 1400 mm z důvodu vyšší stavby skříně a umístění výzbroje na střeše tramvaje, nikoliv pod skříní.

Tabulka 22 Hodnoty potřebné k výpočtu zatížení ložisek dvojkolí u vozu 14T

Veličina	Definice normy	Hodnota
m_1	hmotnost na čepy ložisek (včetně hmotnosti ložisek a tělesa ložiskové skříně)	9 583 kg
m_2	hmotnost dvojkolí a neodpružené hmotnosti mezi rovinami styčných kružnic (brzdové kotouče apod.)	866 kg
h_1	výška těžiště vypružených hmot nesených dvojkolím nad osou nápravy	1 400 mm
b	vzdálenost středu ložiska od osy vozu	500 mm

Zdroj: autor na základě vypočtených a stanovených hodnot

Před výpočtem sil je nutné stanovit hmotnost zatěžující ložiska. Hmotnost m_1 se stanoví ze vzorce:

$$m_1 = \frac{m_v}{i} + \frac{m_c}{i} - m_2 = \frac{40000 + 896}{6} + \frac{21800}{6} - 866 = 9583 \quad [35]$$

$$m_2 = m_{dv} + m_{př} + m_{ld} + m_b = 693 + 80 + 40 + 53 = 866 \quad [36]$$

Použité veličiny:

m_v – hmotnost prázdného vozu (kg)

m_c – celková hmotnost cestujících při plné obsaditelnosti

i – počet náprav

m_{dv} – kotoučová brzda (kg)

m_{dv} – hmotnost dvojkolí (kg)

$m_{př}$ – hmotnost převodovky (kg)

m_{ld} – hmotnost ložiskového domku a ložisek (kg)

Výpočet svislých sil působících na primární vypružení při jízdě v oblouku

P_1 – Svislá síla na přetíženém ložiskovém čepu nápravy (N)

P_2 – Svislá síla na odlehčeném ložiskovém čepu (N)

$$P_1 = \left(0,5625 + 0,0375 * \frac{h_1}{b}\right) * m_1 * g = \left(0,5625 + 0,0375 * \frac{1400}{500}\right) * 9583 * 9,81 \quad [37]$$

$$P_1 = 62\,751$$

$$P_2 = \left(0,5625 - 0,0375 * \frac{h_1}{b}\right) * m_1 * g = \left(0,5625 - 0,0375 * \frac{1400}{500}\right) * 9434 * 9,81 \quad [38]$$

$$P_2 = 42\,807$$

Y_1 – Vodorovná příčná síla kolmá na osu kolejnice v přitíženém styku kolo/kolejnice (N)

$$Y_1 = 0,135 * m * g = 0,135 * 9434 * 9,81 = 12\,494 \quad [39]$$

Y_2 – Vodorovná příčná síla kolmá na osu kolejnice v odlehčeném styku kolo/kolejnice (N)

$$Y_2 = 0,21 * m * g = 0,21 * 9434 * 9,81 = 19\,435 \quad [40]$$

Při jízdě v oblouku dochází k vysoké zátěži na ložiska dvojkolí, k čemuž přispívá především vysoká hmotnost, ale hlavně osazení tramvaje pouze třemi podvozky. Celková hodnota zatížení nápravy při jízdě obloukem je nad limitem 99,7 kN a velmi těsně je překročena i po započtení tolerance 5 %. Vzhledem k neotočné konstrukci podvozků tak dochází k vysokému opotřebení kolejnic i okolků dvojkolí. Dle vyjádření Dopravního podniku hlavního města Prahy, který celou záležitost již dříve konzultoval s výrobcem, není možné dále navyšovat zatížení podvozků použitím klimatizačních jednotek. Tomu odpovídá i zjištěný výpočet.

Provozní a ekonomická analýza

Vozy 14T jezdí po Praze již 15 let a jejich začlenění do provozu bylo spíše pozvolné. Zřejmě kvůli neotočným podvozkům byly přijímány s kontroverzí, ačkoliv se jednalo o očekávané nízkopodlažní vozy. Hrubeš (2018b) uvádí, že během provozu musely být všechny vozy odstaveny z důvodů praskajících příčnic rámu a opravy trvaly až do roku 2020. „Náklady na opravu příčnic jednoho vozu 14T činí 1 282 454 Kč“ (Hrubeš, 2018b). Na druhou stranu se jedná o nejúspornější tramvaj srovnatelnou se starší T3R.PLF zapojenou do soupravy dvou vozů. Důvodem je použití asynchronní výzbroje, ale také nižší počet motorů. Z pohledu ročních nákladů je ovšem rozdíl propastný v neprospěch 14T. Cena elektrické energie na 1 km je 7,17 Kč. Náklady na údržbu klimatizační jednotky poskytnuté Dopravním podnikem hlavního města Prahy pro vůz 14T vychází z tabulky č. 13. Náklady na provoz a údržbu jsou pak uvedeny v tabulce č. 23.

Tabulka 23 Roční náklady na provoz a údržbu vozu 14T

Položka	Hodnota (Kč)
Roční náklady na provoz (oprava a údržba)	3 350 000
Spotřeba el. energie na rok (60 tis. km)	430 200
Náklady na údržbu klimatizace na rok	16 861
Náklady bez klimatizace na rok celkem	3 780 200
Náklady s klimatizací na rok celkem	3 797 061

Zdroj: Dopravní podnik hlavního města Prahy (2021c), doplněno autorem

Zvýšená spotřeba elektrické energie při zapojení klimatizační jednotky zde není opět započtena. Z tabulky č. 23 je patrné, že u vozu 14T jsou nejvyšší náklady na údržbu klimatizační jednotky, což je způsobeno potřebou čtyř kusů k osazení tramvaje. Dosud byly potřeba dva nebo tři kusy. V porovnání s ročními náklady se jedná o velmi malý nákladový progres. Ze zapsaných hodnot lze vysledovat, že po instalaci klimatizace na všech 55 vozech by roční náklady vzrostly o 928 tisíc Kč. Při plánované životnosti dalších 25 let by byly náklady navýšeny o 23 200 tisíc Kč.

2.10.5 Škoda 15T

Moderní tramvaje 15T jsou jediné zcela nízkopodlažní, které jezdí v pražských ulicích. Z hlediska způsobu ventilace se jedná o stejně nešťastné řešení, jako mají vozy 14T, a nemožnost použití posuvných oken zdůvodňuje Lubomíra Černá, mluvčí výrobce tramvají 15T, Škody Transportation, jako bezpečnostní opatření. „*Okna musí být podle normy ČSN 28 1300 taková, aby neumožňovala vyklánění cestujících z otevřeného okenního prostoru.*“ (Černá, 2011). Tím ale podobnost s vozy 14T končí. Vozy 15T lze totiž bez větších obtíží osadit klimatizační jednotkou, konkrétně se jedná o celý střešní kontejner. Ten nahradí stávající kontejner s ventilační jednotkou. Dle vyjádření Dopravního podniku hlavního města Prahy by kromě výměny střešního kontejneru bylo zapotřebí pouze upravit stropní kanály pro nasávání zpětného vzduchu a pomocí software upravit řízení pro ovládání klimatizace, protože tyto vozy mají již integrované řízení ventilačních/klimatizačních jednotek do nadřazeného řízení. Řidič vše tedy ovládá přes jeden sdružený displej, ale u starších vozidel musí být tento ovládač vytvořen jako samostatný prvek někde v kabině. U vozů 15T stačí pouze vytvořit nové menu na displeji, ovšem je zde nutná spolupráce s výrobcem vozu. Server MHD86 (2019) uvádí, že z celkového počtu 250 vozů je 125 z nich osazeno klimatizací již z výroby a na voze č. 9285 byla tato úprava provedena dodatečně. Celkem je klimatizací osazeno 126 vozů. Projekt na instalaci klimatizace pro zbývajících vozy je aktuálně pozastaven. I když je zcela jasné, že zvýšenou zátěž karoserie vozu a podvozky ustojí, tak pro

úplnost a srovnání především s podobně hmotnou tramvají 14T je níže uveden základní vzorec pro statické zatížení náprav.

Parametry vozu potřebné k výpočtu statického zatížení u stojícího vozidla jsou uvedeny v tabulce č. 24. Ačkoliv se jedná o zcela rozdílnou konstrukci podvozků oproti ostatním tramvajím v pražském provozu, tak pro zjednodušení je uvažována hmotnost pouze dvojkolí, které nese podvozek včetně motorů umístěných na vnější straně podvozku. Výpočet zatížení u vozů 15T lze považovat za bezpředmětný, protože 126 vozů již klimatizaci a má a zatížení je tak v pořádku. Výpočet je zde uveden pro srovnání výsledků s vozem 14T.

Tabulka 24 Parametry vozu 15T

Celková hmotnost vozu	63 700	kg
Celková hmotnost prázdného vozu	44 300	kg
Celková hmotnost cestujících při plném obsazení	19 400	kg
Celková hmotnost neodpružených hmot na nápravu	550	kg
Počet náprav	8	

Zdroj: Mobilní tabla (2014d), DPP (2021f), doplněno autorem

Statická síla působící na nápravu stojící tramvaje

Použité veličiny:

m – hmotnost působící na nápravu po odečtení hmotnosti dvojkolí (kg)

g – gravitační konstanta (m/s)

i – počet náprav

Q – zatížení nápravy (N)

$$Q = \frac{m * g}{i} = \frac{59300 * 9,81}{8} = 72\,717 \quad [41]$$

Zatížení jedné nápravy při plném obsazení vozu je tedy 72,7 kN. Při započtení hmotnosti 672 kg (3x klimatizační jednotka s prvky potřebnými k instalaci mínus hmotnost ventilačních jednotek, která je 176 kg na jeden kus.) bude hodnota 73,5 kN.

$$Q = \frac{m * g}{i} = \frac{59972 * 9,81}{8} = 73\,540 \quad [42]$$

Maximální možné zatížení nápravy je dle serveru Pražské tramvaje (2001-2021b) 93 kN. V porovnání s vozem 14T, který disponuje pouze třemi podvozky, je rozdíl o více než 20 kN na nápravu. Celkové rozložení hmotnosti u vozu 15T na čtyři podvozky umožňuje mít rezervu v zatížení zhruba 2 tuny na nápravu.

Provozní a ekonomická analýza

Jak uvádí Hinčica (2019a), k předání posledního vozu pražskému DPP došlo v únoru roku 2019. Dodání tramvají je ukončeno fyzicky, ale finančně stále trvá, což potvrzuje i Hinčica (2019a). *Jako důležitá se ukázala pro Prahu možnost rozložení splátek za nové vozy, a to až do roku 2022. Celková hodnota kontraktu byla 19,2 mld. Kč, tedy zhruba 76,8 mil. Kč za vůz.* (Hinčica, 2019a). Jedná se o nejdražší tramvaje, které kdy pražský dopravní podnik nakoupil, a tomu také odpovídají náklady na provoz a údržbu. Ty také převyšují ostatní typy tramvají. Uvedeny jsou v tabulce č. 25. Cena elektrické energie na 1 km je 8,24 Kč.

Tabulka 25 Roční náklady na provoz a údržbu vozu 15T

Položka	Hodnota (Kč)
Roční náklady na provoz (oprava a údržba)	4 250 000
Spotřeba el. energie na rok (60 tis. km)	494 000
Náklady na údržbu klimatizace na rok	12 646
Náklady bez klimatizace na rok celkem	4 744 000
Náklady s klimatizací na rok celkem	4 756 646

Zdroj: Dopravní podnik hlavního města Prahy (2021c), doplněno autorem

Vyšší roční provozní náklady jsou dané technologicky vyspělými a složitějšími tramvajemi oproti starším typům tramvají jezdících v pražských ulicích. Zvýšená spotřeba elektrické energie pak bude dána především množstvím motorů. Na celé tramvaji jich je šestnáct, pro každé kolo jeden. Roční náklady na údržbu klimatizace pro 126 vozů jsou 1 593 tisíc Kč. Po ukončení projektu bude klimatizováno všech 250 vozidel a náklady budou 3 161 tisíc Kč. Při plánované životnosti 30 let, bude nutná výměna klimatizačních kontejnerů s celkovými náklady 307 500 tisíc Kč. Takto vysoké částky jsou tvořeny především vysokým počtem tramvají, kterých je aktuálně 250, a dlouhou životností. Ačkoliv se očekává průběžné snižování stavu tramvají a za 30 let jich nebude už 250, nelze ale nyní predikovat složení vozového parku, a proto je počítáno se všemi 250 vozy.

2.11 Souhrnné vyhodnocení

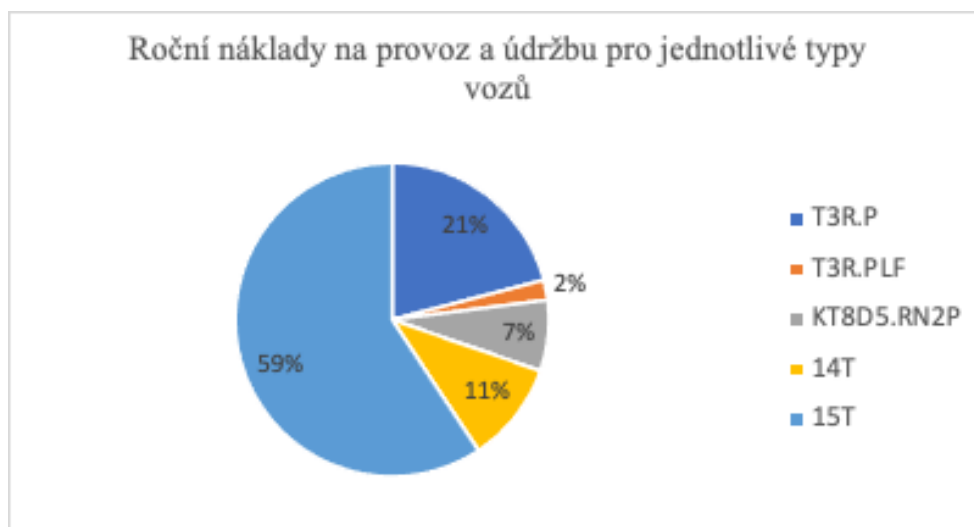
Na obrázku č. 13 lze vidět, že v souhrnu ročních nákladů mají dominantní část vozy 15T s 59% podílem. Je to dáno nejvyšším počtem tramvají ze všech typů a také nejvyššími náklady na provoz a údržbu. To může být způsobeno vyšší složitostí konstrukce a s tím spojené vyšší nároky na údržbu. Druhé nejvyšší zastoupení mají vozy typu T3R.P s 21 % z celkových nákladů. Ačkoliv mají nejnižší provozní náklady na jednu tramvaj (jak už bylo zmíněno, počítají se jako dva vozy zapojené do soupravy), celkový podíl ale navyšuje jejich

početnost. Vozy 14T mají druhé nejvyšší náklady na jednu tramvaj, ovšem jejich nižší počet je s 11% podílem na celkových nákladech řadí až za „úspornější“ T3R.P. U tramvají typu KT8D5.RN2P je počet vozů podobný jako u 14T, ale roční náklady jsou výrazně nižší, a tak jim připadá podíl pouze 7%. Zanedbatelnou položkou jsou vozy T3R.PLF, které zásluhou četnosti 17 souprav vyplňují poslední 2 % v celkovém součtu. Souhrn je v tabulce č. 26.

Tabulka 26 Souhrnné roční náklady na provoz a údržbu

Roční náklady na provoz a údržbu			
Typ vozu	Roční náklady (Kč)	Počet souprav	Celkem (Kč)
T3R.P	2 426 630	173	419 806 990
T3R.PLF	2 426 630	17	41 252 710
KT8D5.RN2P	2 814 446	52	146 351 192
14T	3 801 277	55	209 070 235
15T	4 756 646	250	1 189 161 500
Souhrn			2 005 642 627

Zdroj: Dopravní podnik hlavního města Prahy (2021c), doplněno autorem



Obrázek 13 Roční náklady na provoz a údržbu pro jednotlivé typy vozů (DPP, 2021c)

Z pohledu údržby klimatizačních jednotek je rozložení grafu, na obrázku č. 14, podobné jako u celkových nákladů. Výši částky tak určuje počet použitých jednotek na jednu tramvaj a počet tramvají daného typu. Kdyby se ovšem uvažovala cena vztažená k jedné tramvaji, tak nejdražší údržba bude u vozu 14T, protože by byla osazena čtyřmi klimatizačními jednotkami. Následně by se jednalo o vozy 15T a KT8D5.RN2P se třemi jednotkami na tramvaj a T3R.P s T3R.PLF by byly osazeny pouze jednou jednotkou na vůz, tedy dvěma na soupravu a náklady by tak byly nejnižší. Finanční prostředky vynaložené k osazení klimatizačními jednotkami by se mírně měnily v čase podle počtu zakoupených

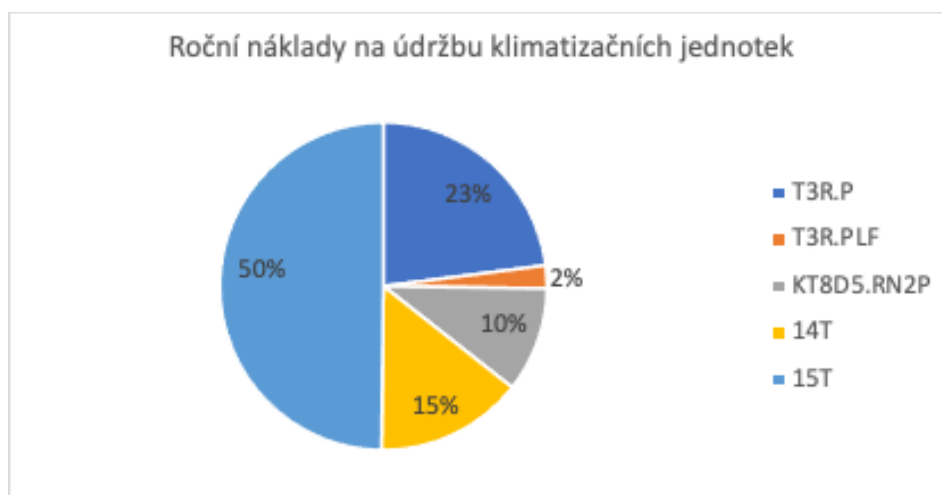
jednotek. Lze očekávat, že při životnosti tramvaje 30 let, bude potřeba výměna jednotlivých komponent jednotky nebo rovnou pořízení nového kontejneru. Při porovnání nákladů na údržbu klimatizace v tabulce č. 27 s náklady na provoz a údržbu tramvají se jedná o zanedbatelné navýšení.

Tabulka 27 Souhrnné roční náklady na údržbu klimatizace

Roční náklady na údržbu klimatizačních jednotek			
Typ vozu	Roční náklady (Kč)	Počet souprav	Celkem (Kč)
T3R.P	8 430	173	1 458 390
T3R.PLF	8 430	17	143 310
KT8D5.RN2P	12 646	52	657 592
14T	16 861	55	927 355
15T	12 646	250	3 161 500
Souhrn			6 348 147

Zdroj: Dopravní podnik hlavního města Prahy (2021c), doplněno autorem

Data odpovídají situaci, kdy po dobu plánované životnosti nedojde k vyřazení žádného z vozů. Reálně ale může dojít k vyřazení vozů z důvodu dopravní nehody či technické závady a náklady tak budou odlišné. Stejná úvaha je i ohledně stále ceny elektrické energie, náhradních dílů nebo za provedenou práci.



Obrázek 14 Roční náklady na údržbu klimatizačních jednotek dle typu vozu (DPP, 2021c)

Po provedené analýze technického i provozního charakteru je vhodné pro lepší orientaci shrnout zjištěné hodnoty do jednoho celku. Dopravní podnik hlavního města Prahy aktuálně provozuje sedm typů tramvají, z toho pět je prozatím perspektivních a není plánované jejich vyřazení. Pro tyto vozy byl proveden rozbor, ze kterého budou vycházet navrhovaná řešení v následující kapitole.

3 NÁVRH ŘEŠENÍ K OSAZENÍ KLIMATIZAČNÍCH JEDNOTEK V PROSTORU PRO CESTUJÍCÍ

Navržená řešení budou zaměřena na typy vozů, které DPP plánuje provozovat i v dalších letech a nebudou se tak týkat vozů T3M2-DVC a T6A5. Vyjma vozu 15T bude u každé tramvaje návrh rozdělený na technickou a ekonomickou část. Konečné úpravy jednotlivých vozů musí splňovat normy, které se k tomu váží. S přímou vazbou na klimatizační jednotku bude spojena norma ČSN EN 14750-1 s názvem: Železniční aplikace - Klimatizace pro městská a příměstská kolejová vozidla - Část 1: Parametry pohodlí. Tato evropská norma platí pro příměstská a/nebo regionální kolejová vozidla a také pro vozidla metra a tramvajová vozidla vybavená chladicími a/nebo vytápěcími/větracími systémy. Další normou, kterou je nutné zohlednit, bude ČSN 28 0318 s názvem: Průjezdné průřezy tramvajových tratí a obrysy pro vozidla provozovaná na tramvajových dráhách. Klimatizační jednotka tak po osazení na střechu vozu nesmí zasahovat do průjezdného profilu. Na závěr pak ještě například norma ČSN 28 1300 s názvem: Tramvajová vozidla - Technické požadavky a zkoušky. V této práci jsou návrhy především na modernizaci již schválených tramvajových vozů, nicméně i na to tato norma pamatuje a její část se vztahuje pouze na části dotčené modernizací nebo rekonstrukcí.

3.1 Tatra T3R.P

Tramvajové vozy Tatra T3 a jejich modernizované verze, jako pražské T3R.P a T3R.PLF, mají jednoduchou, ale funkční ventilaci i bez přídatných jednotek. Výměnu vzduchu, jak je popsáno v části 2.10.1, zajišťují velká posuvná okna a tři střešní klapky. Disfunkce celého systému ale nastane ve chvíli, kdy se tramvaj pohybuje nízkou rychlostí, nebo při zastavení z důvodu dopravní kongesce. Nabízí se tak úvaha ohledně osazení vozu klimatizační jednotkou a zajištěním stále teploty uvnitř tramvaje. Tato modernizace s sebou přináší jistá úskalí a složitější úpravy nejen skříně vozu, se kterými nikdo před 60 lety nepočítal.

Z hlediska konstrukce a nosnosti střechy karoserie se uvažuje zachování nosných částí a výztuh skříně a v případě dodatečné instalace klimatizace budou pouze rozdíly v uchycení kontejneru klimatizace na střechu vozu. Samotný kontejner HVAC (Heat, Ventilation, Air-Condition) má montážní body určené výrobcem. Protože u klimatizační jednotky vznikají vibrace, je vhodné mezi konzolí a úchyt ve střeše umístit pryžový blok k odstranění přenosu nežádoucích vibrací. Montážní pozice musí být taková, aby nebránila složení pantografu

a zároveň bylo zajištěné rovnoměrné proudění vzduchu stropním kanálem, tedy zhruba v polovině délky skříně, jestliže to nosné prvky umožní. Při umístění je také vhodné uvažovat co nejkratší délku kabeláže, kterou bude klimatizační jednotka propojena s kabinou řidiče, a vedení kabelů je pak možné buď středem, nebo po stranách střechy. Samotná konstrukce stropního kanálu pro vedení vzduchu by musela být řešena velmi úsporně, aby neubírala z již tak skromného prostoru nad hlavou stojících cestujících. Ideální by byly výdechy po stranách a u střední části by měla být možnost zachovat průchodnost vzduchu skrz střešní klapky, které by se využívaly v teplotách nevyžadujících použití klimatizace. Na to navazuje nutnost jiného uchycení madel, která byla původně v horní části ukotvena do stropu skříně. Zřejmě by bylo nutné také vyměnit stávající osvětlení interiéru za světla kompaktnějších rozměrů. Ideálním řešením by bylo stropní kanál zakomponovat mezi konstrukci střechy a stropní obložení, ve kterém by byly po stranách dodělané výdechy. Tím by byla zachována linie interiéru i možnost použít střešní klapky. Z hlediska volby vhodné samotné klimatizační jednotky nebo celého kontejneru je vhodné vycházet ze vstupních parametrů a požadavků. Měla by být také splněna například norma ČSN EN 14750-1, která stanovuje parametry pohodlí pro oddílová nebo velkoprostorová vozidla pro příměstská a/nebo regionální kolejová vozidla a také pro vozidla metra a tramvajová vozidla vybavená chladicími a/nebo vytápěcími/větracími systémy v prostoru pro cestující. Výběr vhodné klimatizační jednotky se tedy odvíjí od potřebného chladicího výkonu a množství dodaného vzduchu v m^3 . Samotný chladicí výkon je konečná hodnota po provedení výpočtů. Dle zmíněné normy ČSN EN 14750-1 se nejdříve určí specifikace dopravního prostředku, a to dle dvou kategorií A a B. Tramvajové vozidlo je zařazeno do kategorie B, která určuje například počet stojících cestujících na m^2 , průměrnou dobu jízdy cestujícího, průměrnou dobu mezi dvěma stanicemi nebo klimatické zařazení dané země. Do celkového výpočtu je vhodné zahrnout tepelné ztráty skříně vozu při stání, jízdě, větrání, tepelné zisky získané absorpcí slunečního záření, od cestujících a případně od vnitřních zdrojů jako osvětlení nebo obrazovky. Pro potřeby této diplomové práce bude stačit další základní parametr stanovený normou ČSN EN 14750-1, kterým je množství čerstvého vzduchu dodaného do prostoru pro cestující. Tato hodnota je $12 m^3/h$ na osobu, přičemž maximální obsaditelnost vozu T3R.P je 160 cestujících. Z toho vyplývá, že celková potřeba dodaného vzduchu musí být minimálně $1920 m^3$ za hodinu. Pro srovnání, objem vnitřního prostoru skříně vozu je přibližně $70 m^3$. Při výběru klimatizační jednotky je nutné zohlednit právě tento parametr a zvolit raději takovou, která disponuje i o něco vyšším množstvím dodaného vzduchu. Dalšími požadavky jsou vhodné rozměry klimatizační jednotky a v případě vozu T3R.P také přítomnost střídače v kontejneru této jednotky pro vytvoření

z 600V DC napětí 400V AC 50Hz pro napájení klimatizace. Příklad externího střídače může být například od firmy Siigma s označením SP-STR3F-2. Konečné řešení by musel navrhnout výrobce klimatizační jednotky

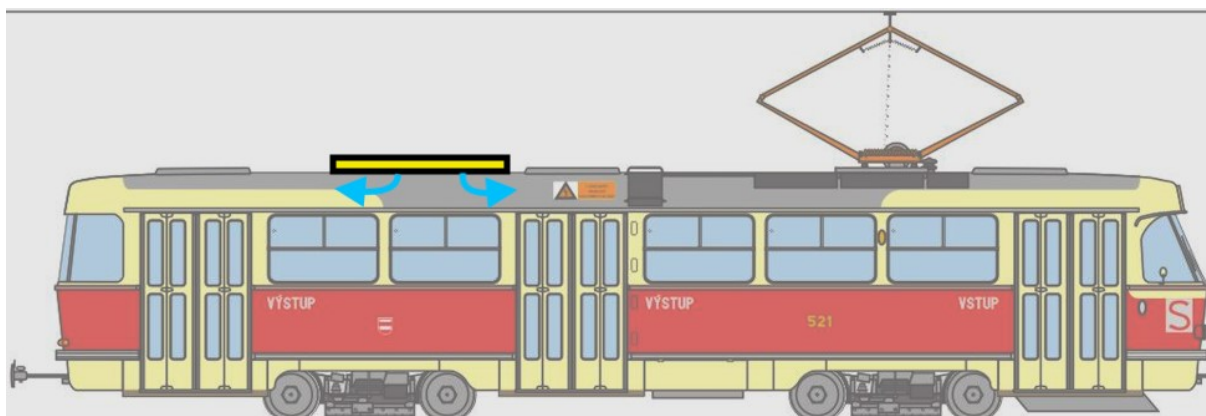
Pro tento případ byla zvolena z důvodu kompaktních rozměrů a dostatečného výkonu jednotka HVAC 5401 od firmy Konvekta a jedná se o klimatizační jednotku určenou pro kolejová vozidla. Již zmíněný vzduchový výkon je 2700 m³/h, což je zhruba o 40 % více než je základní požadavek dle normy. Ostatní technické parametry jsou uvedeny v tabulce č. 28.

Tabulka 28 Parametry HVAC 5401

Typ	HVAC 5401	
Délka / šířka / výška	1 500 / 1 500 / 370	mm
Chladicí výkon	16	kW
Topný výkon	7,2	kW
Vzduchový výkon výparníku	2 700	m ³ /h
Elektrický příkon	15,6	kW
	9,2 (topení)	kW
	8,4 (klimatizace)	kW
Zdrojové napětí	3 x 400 V 50 Hz	
Hmotnost	275	kg

Zdroj: Konvekta (2021)

Umístění klimatizační jednotky na voze T3R.P je s ohledem na prostor možné mezi střešní klapky v druhé polovině vozu ve směru jízdy, jak je znázorněno na obrázku č. 15.



Obrázek 15 Umístění klimatizační jednotky (Sabdigital, 2013, upraveno autorem)

Pro uchycení klimatizační jednotky bude nutné do střechy vozu vyříznout průduchy pro napojení vzduchového kanálu a ze svařených profilů provést montáž kotvicího rámu. Na takto připravenou konstrukci lze poté přišroubovat samotnou jednotku nebo kontejner. Jak již bylo zmíněno, je vhodné mezi aretační body jednotky a nosný rám umístit pryžové

silentbloky z důvodu eliminace vibrací od kompresoru. Podobný způsob je ukázán na obrázku č. 16. Vzhledem k nižší hmotnosti ve srovnání s kontejnerem použitým u vozu 15T je vyšší předpoklad, že dodatečnou zátěž by střecha karoserie mohla vydržet, i když k těmto úpravám nebyla dimenzována. K ovládání klimatizace musí být v kabině řidiče umístěn samostatný panel s volbou manuálního zapnutí a vypnutí. Spouštění jednotky by volil řidič v závislosti na okolní teplotě, protože není předpoklad stálého provozu jednotky jako u vozu 15T. Regulaci teploty by již měla provádět jednotka sama dle venkovní teploty.



Obrázek 16 Úprava střechy pro montáž klimatizační jednotky (Kaprálek, 2014)

Dopravní podnik hlavního města Prahy aktuálně provozuje 347 vozů T3R.P(V) a z toho již na 262 vozech byla provedena pravidelná oprava. Právě tento stupeň oprav je vhodný k provedení instalace klimatizační jednotky, a to z důvodu využití již odstavené tramvaje z provozu. To by bylo možné provést na zbylých 85 vozech a k tomu se vážou dvě možná řešení.

Varianta A

První možnost zvažuje provést standardně PO na zmíněných 85 vozech, při které by mohla být osazena klimatizační jednotka. Odstavení vozů by probíhalo postupně podle nájezdu kilometrů a časového harmonogramu. Po provedení PO pak DPP uvažuje další životnost 10 až 15 let do vyřazení tramvaje z provozu. Náklady na provedení PO a montáž klimatizační jednotky pro 85 vozů jsou uvedeny v tabulce č. 29. Náklady na jednu tramvaj tak vychází 2 791 tisíc Kč s tím, že po nájezdu na další PO bude vyřazena, buď likvidací, nebo prodejem. Takto vyřazenou tramvaj by DPP musel, pro zachování počtu spojů a přepravní kapacity, nahradit novou tramvaj

Tabulka 29 Náklady na provedení PO pro 85 vozů T3R.P

Položka	Cena (Kč)
Materiál	98 889 000
Práce	101 484 050
Kooperace	2 010 335
Klim. jednotka	34 850 000
Celkem	237 233 385

Zdroj: Dopravní podnik hlavního města Prahy (2021d), upraveno autorem

Vozy T3R.P, ačkoliv jsou spolehlivé, nejsou nízkopodlažní a pro DPP výhledově neperspektivní. Dlouhodobá snaha modernizovat vozový park především směrem k zajištění nízkopodlažních nočních linek směřuje na druhé možné řešení.

Varianta B

Druhé řešení spočívá v přestavbě vozů T3R.P na částečně nízkopodlažní T3R.PLF. To by znamenalo 85 vozů, namísto nastávající PO, přestavět na T3R.PLF včetně možného zakomponování klimatizační jednotky. Přestavbou by se životnost vozů prodloužila minimálně na dvojnásobek oproti T3R.P a DPP by mohl navýšit počet nízkopodlažních spojů. Náklady na přestavbu jsou vyšší než provedení PO, především z důvodu pořízení zcela nové skříňové vozů ale jsou vyváženy přidanou hodnotou a širšími možnostmi použití tramvaje. Celkové náklady na přestavbu 85 vozů jsou uvedeny v tabulce č. 30.

Tabulka 30 Náklady na přestavbu 85 vozů T3R.P na T3R.PLF

Položka	Cena (Kč)
Skříň vozu	263 500 000
Repasovaná výzbroj	255 000 000
Materiál + práce	204 000 000
Klim. jednotka	34 850 000
Celkem	757 350 000

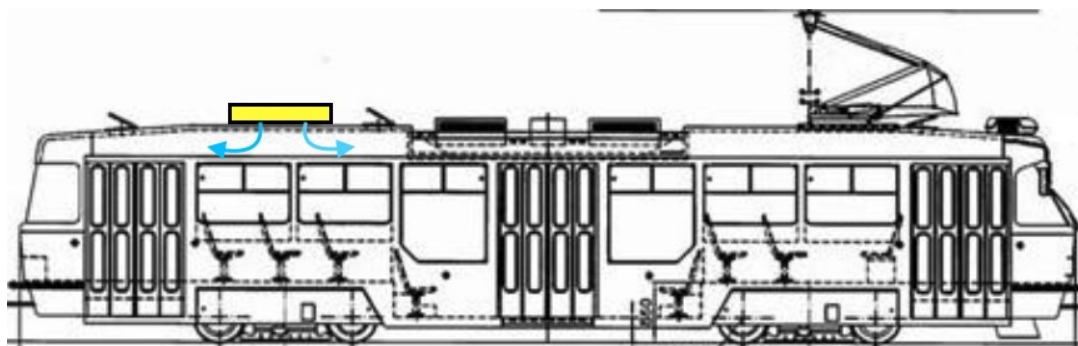
Zdroj: Dopravní podnik hlavního města Prahy (2021d, 2021e), upraveno autorem

Z uvedených nákladů vyplývá, že nejvyšší položky jsou za novou skříň vozu v ceně 3 100 tisíc Kč a repasované elektrické výzbroje Cegelec v hodnotě 3 mil. Kč. Pokud by byla použita nová výzbroj, stála by pro jeden vůz 5 mil. Kč. Další položkou jsou náklady na práci a materiál, protože nová skříň je pouze skelet a je potřeb ji dovybavit. Náklady na klimatizační jednotky jsou uvažovány stejně jako u T3R.P. Samozřejmě je také možná

kombinace obou variant, aby při zapojení vozů do soupravy T3R.P + T3R.PLF byly oba vozy klimatizované.

3.2 Tatra T3R.PLF

Konstrukce nových skříní je tvarově podobná T3R.P, ze kterých vychází, a tedy i možnosti použití klimatizační jednotky jsou shodné. Hlavní změna je snížení ve střední části vozu, a tedy nutnost přemístit část výzbroje na střechu střední části vozu. Tím je snížena variabilita a pro montáž klimatizace tak zbývá prostor opět mezi střešními klapkami v zadní části vozu. Krajiní řešení by bylo použít dvě menší jednotky, které jsou určeny pro kabinu řidiče a umístit je rovnoměrně před a za výzbroj. Umístění jedné výkonnější jednotky je zobrazeno na obrázku č. 17.



Obrázek 17 Umístění klimatizační jednotky na voze T3R.PLF (Sýkora, 2021, upraveno autorem)

Pro uchycení klimatizační jednotky lze použít stejnou konstrukci, která je uvedena u vozu T3R.P, protože i pro tento vůz je vybraná Konvekta HVAC 5401 vyhovující. Ačkoliv je T3R.PLF o metr delší a disponuje kapacitou v počtu 171 osob, je i v tomto případě splněna norma ČSN EN 14750-1, protože potřebné množství čerstvého vzduchu je $2\,052\text{ m}^3$. Zmíněná jednotka dodává $2\,700\text{ m}^3$, což je o 32 % více než minimální hodnota. Jedná se o velmi podobné řešení jako u T3R.P, rozdíl bude v úpravě stropního kanálu, která musí respektovat nepravidelnou linii střechy.

Vzhledem k tomu, že T3R.PLF jsou mladšího data výroby, tak na většině ještě PO nebyla provedena. Aktuálně se jedná o 33 vozů, které budou postupně dle nájezdu kilometrů odstaveny z provozu k provedení PO a lze na nich provést i montáž klimatizační jednotky. Náklady na provedení PO včetně osazení klimatizace jsou uvedeny v tabulce č. 31.

Tabulka 31 Náklady na provedení PO pro 33 vozů T3R.PLF

Položka	Cena (Kč)
Materiál	38 392 200
Práce	39 399 690
Kooperace	780 483
Klim. jednotka	13 530 000
Celkem	92 102 373

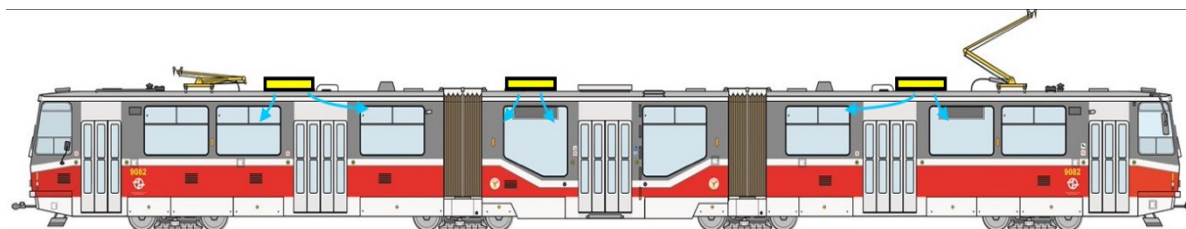
Zdroj: Dopravní podnik hlavního města Prahy (2021d), upraveno autorem

Z celkového porovnání pak samotné náklady na dodání klimatizace tvoří minimální navýšení. V tomto ohledu bude zřejmě výhodnost projektu porovnávána s očekávaným přínosem v praxi. Vozy T3R.PLF nejsou zapojovány do souprav 2xT3R.PLF, ale jezdí jednotlivě, případně v kombinaci s T3R.P. Samotné vozy T3R.PLF je vhodné z kapacitních důvodů přesunout převážně na noční linky a navýšit tak počet nízkopodlažních spojů i v nočních hodinách. Ovšem při zařazení vozů převážně na noční linky nebude klimatizace tolik využívána a je tedy na místě zvážit potřebu její instalace. Ta najde využití na vozech obsluhujících méně exponované denní spoje v případě sólo vozů, nebo u souprav T3R.PLF+T3R.P, které poskytují vyšší přepravní kapacitu. Využití na nočních linkách popisuje i Sůra (2020), který uvádí, že DPP se pro modernizaci tramvají T3 rozhodl, aby splnil podmínku nízkopodlažnosti i na nočních linkách, ale zároveň na ně nechce nasazovat větší a modernější tramvaje 14T nebo 15T. Vzhledem k relativně nízkým nákladům na osazení klimatizací by bylo vhodné tak učinit z důvodu možnosti nasadit tyto vozy i na denní spoje nebo případné rezervy při poruše ostatních vozů typu T3.

3.3 Tatra KT8D5.RN2P

Další zástupce nízkopodlažní tramvaje se od T3R.PLF liší jednak přepravní kapacitou, ale především možností obousměrného provozu. Právě tato možnost obousměrného provozu bude vyžadována při obsluze nových tratí, které budou zakončeny pouze úvratí. *„Na základě výstavby nových tratí a z toho vyplývající nutnosti vyššího vypravení vozů, než je současný disponibilní počet tramvají, bude pro dopravní podnik patrně nezbytné pořizovat alespoň část nových vozidel v obousměrném provedení.“* (Povýšil, 2021). Vozy KT8D5.RN2P jsou tedy aktuálně pro DPP perspektivním řešením a plánuje se navýšit jejich počet. Jak popisuje Povýšil (2021), jedním ze způsobů rozšíření vozového parku je nákup dvanácti vozů od PMDP (Plzeňské městské dopravní podniky), které tyto vozy začnou odprodávat v druhé polovině roku 2022. Jedná se o stejné vozy s nízkopodlažním středním článkem, které aktuálně provozuje DPP a nebude tedy nutná investice do modernizace.

DPP aktuálně provozuje 55 těchto vozů a z toho na 42 ještě nebyla provedena PO. Pokud by se DPP rozhodl pro osazení klimatizačních jednotek, nabízí se k tomu v rámci PO převážná většina těchto vozů. Samotné úpravy budou velmi podobné jako u vozů typu T3, ale rozdílné bude především umístění klimatizačních jednotek na střechu vozu. Ačkoliv tomu nebrání jiné komponenty, protože kromě odporníku výhybky jsou umístěny pod podlahou krajních článků, není příliš možností kam klimatizaci umístit. Důvodem jsou střešní klapky, které jsou tři pro krajní články a dvě pro ten střední. Možným řešením je demontovat jednu střešní klapku a nahradit ji klimatizační jednotkou. Jelikož by na krajních člancích byla klimatizace umístěna poblíž dveřního prostoru, bylo by nutné tomu uzpůsobit i stropní kanál, aby nedocházelo při otevření dveří k výdechu ochlazeného vzduchu rovnou ven z vozu namísto do salónu pro cestující. Umístění je zobrazeno na obrázku č. 18.



Obrázek 18 Umístění klimatizační jednotky na voze KT8D5.RN2P (Hýř, 2016, upraveno autorem)

Takové řešení má jistou výhodu, protože by se pro výdech ochlazeného vzduchu do stropního kanálu využily již dané otvory pro střešní klapky. Přebytečný prostor kolem šachty by se vyplnil izolací a nad to by následně byla položena střešní zástavba. Pravděpodobně opět ze svařených profilů jako u typu T3. Samotný skelet krajních článků byl v rámci modernizace z KT8D5 dodatečně vyztužen, což přidává i na nosnosti jako celku. Pro napájení klimatizační jednotky je, stejně jako u T3, nutný střídač pro změnu z 600 V DC napětí 400 V AC 50 Hz pro napájení klimatizace. Pro ovládání klimatizace v kabině řidiče je nutné mít toto řešení dvakrát, a to z důvodu již zmíněné obousměrnosti tramvaje. Vzhledem k tříčlánkové koncepci je vhodné pro lepší cirkulaci vzduchu osadit každý článek klimatizací. Maximální přepravní kapacita je v tomto případě 337 cestujících, a aby byla splněna norma ČSN EN 14750-1, která udává množství čerstvého vzduchu dodaného do prostoru pro cestující v hodnotě $12 \text{ m}^3/\text{h}/$ na osobu, je nutné, aby celkové množství vzduchu vyprodukované klimatizací bylo minimálně $4\,044 \text{ m}^3$ za hodinu. Při znalosti tohoto parametru lze nyní navrhnout vhodný výběr klimatizačních jednotek s cílem snížení zatížení podvozku středního článku, které se ukázalo jako limitní.

Tato varianta se odkazuje na výpočet ohledně zatížení náprav v předchozí kapitole. Tam bylo zjištěno, že při osazení klimatizací o celkové váze 400 kg (klimatizace a prvky potřebné k montáži) by zatížení středního podvozku bylo na úrovni maximálního zatížení. Uvažovala se stejná jednotka jako pro krajní články, u kterých je ale možné vyšší zatížení podvozků. Jsou to jednotky Konvekta HVAC 5401. Vzduchový výkon jedné jednotky je $2\,700\text{ m}^3$ a v celkovém součtu vyprodukují $8\,100\text{ m}^3$. Hodnota tak odpovídá dvojnásobku minimálního požadovaného množství. V ideálním případě by to znamenalo potřebu pouze dvou jednotek, namísto tří. Ovšem, jak už bylo zmíněno, z hlediska lepší cirkulace vzduchu a udržení stálé teploty v celém voze bude vhodné použít pro každý článek jednu jednotku. Zároveň tím odpadne nutnost řešení stropního kanálu skrz přechod ze středního do krajních článků.

Pro snížení zátěže středního podvozku lze jednotku HVAC 5401, uvedenou v tabulce č. 30, nahradit kompaktnější variantou s označením HVAC 3402, která váží pouze 130 kg. Po započtení dodatečného navýšení hmotnosti 125 kg, jako u HVAC 5401, je celková váha 255 kg. Toto snížení hmotnosti by znamenalo o 3,2 kN nižší zátěž na střední podvozek při jízdě v oblouku, a tím navýšení rezervy, než bude dosaženo hodnoty maximálního zatížení. Vzduchový výkon by po této úpravě byl v součtu $6\,300\text{ m}^3$, tedy stále nad spodní hranicí, která je $4\,044\text{ m}^3$. Vzhledem k menším rozměrům středního článku by snížený výkon slabší jednotky nebyl znatelný, protože celá soustava klimatizace je naddimenzovaná. Technické parametry jsou uvedeny v tabulce č. 32.

Tabulka 32 Parametry HVAC 3402

Typ	HVAC 3402	
Délka / šířka / výška	993 / 900 / 330	mm
Chladicí výkon	5,1	kW
Topný výkon	2,1	kW
Vzduchový výkon výparníku	900	m^3/h
Elektrický příkon	5,5	kW
	2,1 (topení)	kW
	3,4 (klimatizace)	kW
Zdrojové napětí	3 x 400 V 50 Hz	
Hmotnost	130	kg

Zdroj: Goss (2021)

Z hlediska nákladů na provedení PO a osazení klimatizace již bylo zmíněno, že by tento úkon byl možný pro 42 vozů. Rozpis těchto nákladů je uveden v tabulce č. 33.

Tabulka 33 Náklady na provedení PO pro 42 vozů KT8D5.RN2P

Položka	Cena (Kč)
Materiál	116 959 374
Práce	106 055 586
Kooperace	1 798 272
Klim. jednotka	39 060 000
Celkem	263 873 232

Zdroj: Dopravní podnik hlavního města Prahy (2021d), upraveno autorem

Znatelný nárůst nákladů u položky klimatizační jednotka je z důvodu zakoupení třech kusů, dosud u vozů T3 bylo uvažováno použití jednoho kusu. Z hlediska celkových nákladů se ale opět jedná o nižší finanční zátěž než samotná PO a celkové náklady se navyšují o 17 %. Další možností, při které by bylo vhodné klimatizaci instalovat, je přestavba starších KT8D5 odkoupených z maďarského Miskolce. Náklady na tuto modernizaci jednoho vozu jsou v tabulce č. 34.

Tabulka 34 Náklady na modernizaci KT8D5.RN2P

Položka	Cena (Kč)
Skříň vozu	4 804 000
Repasovaná výzbroj	6 000 000
Materiál + práce	11 600 000
Klim. jednotka	930 000
Celkem	23 334 000

Zdroj: Dopravní podnik hlavního města Prahy (2021e)

I v tom to případě jsou náklady na tři klimatizační jednotky minimální ve srovnání s celkovou cenou 23 334 tisíc Kč. Již zmíněná plánovaná výstavba nových tramvajových tratí bude vyžadovat navýšení kapacity vozového parku a lze za logický krok považovat pořízení dalších vozů KT8D5.RN2P. Jsou pro to dva důvody. Prvním je univerzálnost a možnost použití při výlukách či úvrat'ových tratích a druhým je pořizovací cena. V případě nové tramvaje podobného konceptu bude cena pravděpodobně několikanásobně vyšší než ta za odkoupení starších KT8D5.RN2P z PMDP. Stejně tak náklady na přestavbu KT8D5 budou mnohem nižší než na pořízení nové tramvaje. Atraktivita by po osazení klimatizací ještě narostla a pozvedla přepravní standard zase o něco výše.

3.4 Škoda 14T

Nákupem tramvají 14T od firmy Škoda Transportation učinil Dopravní podnik hlavního města Prahy první významný krok do nové, nízkopodlažní doby. Vyjma prototypu

RT6N1, který se v provozu neuchytil, se jedná o první pražské nízkopodlažní tramvaje. Prvotní nadšení ale vystřídal zjištění, že tyto vozy nejsou pro Prahu úplně vhodné. Zejména z důvodu neotočných podvozků, které poškozují kolejnice v prudším oblouku, ale také pro svoji vyšší hmotnost. DPP tak musel pečlivě plánovat, na které linky je lze použít. Ačkoliv prvotní problémy byly vyřešeny, tak i přesto DPP uvažuje o jejich prodeji, což potvrzuje i Šindelář (2018).

V souvislosti s tematikou této práce je zde ale další provozní nedostatek týkající se komfortu přepravy cestujících. Vozy 14T nedisponují optimální ventilací především použitím malých vyklápěcích oken a absencí střešních klapek. Nepřispívají tomu ani ventilační jednotky, které nasávají teplý vzduch ze střechy vozu. Cestující pak mají tendenci otevírat okna, což způsobí disfunkci ventilace. Vozy 14T sice splňují normu ČSN EN 14750-1, praxe je ale jiná. Nespokojenost cestujících tak přivedla DPP na myšlenku osadit tramvaje klimatizací. Jak už je popsáno v části 2.12, tak především z hmotnostních důvodů není tato úprava možná. Kombinace pěti článků a pouze třech podvozků neumožňuje podle výrobce Škoda Transportation další zatížení, a to především středního podvozku, vysvětluje Šurovský (2020). Toto stanovisko potvrzuje i aktuálně probíhající modernizace polských tramvají Škoda 16T (obdoba pražských 14T), která mimo další úpravy zahrnuje osazení salónu pro cestující klimatizací. Hlavním rozdílem mezi 16T a 14T je použití běžného podvozku třetího článku u 16T, pražské 14T jej mají hnaný. Ve vozidle 16T schází i trakční kontejner pro řízení tohoto středního podvozku. Z toho lze odvodit, že právě rozdílnost podvozku umožňuje polským tramvajím použití klimatizace. V Praze, z důvodu kopcovitého terénu, je nutné mít všechny podvozky poháněné. Podle Hruběše (2021) je cena za modernizace 16T přibližně 21 557 tisíc Kč.

V rámci splnění zadání diplomové práce je i pro vůz 14T navržené řešení, které by obnášelo úpravu stropních kanálů pro nasávání zpětného vzduchu, zakomponování ovládání klimatizace do kabiny řidiče a nahrazení ventilační jednotky za klimatizační. Napájení pro kontejner již tramvaj má přes vestavěný měnič. U výběru klimatizační jednotky by musely být z prostorových důvodů zohledněny stávající rozměry ventilační jednotky. Nelze předpokládat, že by ventilační a klimatizační kontejner měl stejné rozměry a muselo by dojít k úpravě montážních bodů na střeše vozidla. Z hlediska výkonu by dostačovala i méně výkonná jednotka ve srovnání s vozem 15T. Na podobný objem by byly použity čtyři kusy jednotek. Maximální kapacita je 279 cestujících a při dodržení požadované hodnoty dodaného vzduchu dle normy ČSN EN 14750-1 by vybraná soustava klimatizací musela dodávat $3\,348\text{ m}^3$ za hodinu. Pokud by to bylo rozděleno mezi čtyři jednotky, pak jedna by byla o minimální

kapacitě 837 m^3 za hodinu. Tento parametr splňuje například jednotka od firmy Konvekta s označením HVAC 3402, která dodává dle výrobce 900 m^3 za hodinu. Technické parametry jsou uvedeny v tabulce č. 35.

Tabulka 35 Parametry HVAC 3402

Typ	HVAC 3402	
Délka / šířka / výška	993 / 900 / 330	mm
Chladicí výkon	5,1	kW
Topný výkon	2,1	kW
Vzduchový výkon výparníku	900	m^3/h
Elektrický příkon	5,5	kW
	2,1 (topení)	kW
	3,4 (klimatizace)	kW
Zdrojové napětí	3 x 400 V 50 Hz	
Hmotnost	130	kg

Zdroj: Goss (2021)

Výhodou této jednotky je nízká hmotnost, pouze 130 kg. Pro srovnání, kontejner u vozu 15T má hmotnost 400 kg. Jak už napovídají parametry, tyto jednotky se používají primárně pro chlazení kabiny řidiče, ale při vyšším počtu by dle prvotních hodnot měly dostačovat i pro klimatizování salónu cestujících. Pokud by splnily i další požadované hodnoty dle normy ČSN EN 14750-1 (teplota vzduchu, rychlost proudění vzduchu, relativní vlhkost vzduchu atd.), lze po konzultaci s výrobcem uvažovat o zkušební záměně za ventilační jednotky.

Prostor k úpravě byl během modernizace uvedené v části 2.7, která se týkala například zvýšení přepravní kapacity. Vzhledem k plánované životnosti 20 až 25 let, pokud tedy dříve nedojde k jejich postupnému prodeji, bude další prostor k modernizaci během PO. Cena jednoho kontejneru s klimatizací je přibližně 110 tisíc Kč a na celou tramvaj by byly potřeba čtyři. Celková cena 440 tisíc Kč je zhruba o 30 tisíc vyšší než za jeden kontejner u vozu 15T. V rámci celkových nákladů na provedení PO (zatím nestanoveny, protože PO na 14T nebyla dosud provedena) by tak pořízení nových jednotek nezpůsobilo výrazné navýšení, stejně jako u ostatních vozů typu T3 a KT. Technické možnosti u vozu 14T značně omezují variabilitu řešení instalace klimatizace a navrhované řešení by dle dosud zjištěných údajů bylo možné. Konečné slovo by měl, z hlediska konstrukce, pravděpodobně výrobce Škoda Transportation. Pak by to mohlo být u jednoho vozu pojato jako experiment pro zvýšení komfortu cestujících během horkých dnů.

3.5 Škoda 15T

V současné době nejrealnější řešení pro zvýšení počtu klimatizovaných vozů je dovybavit klimatizací 124 vozů 15T. Z celkového počtu 250 vozů jich 126 již klimatizaci má, přičemž 125 už z výroby. V pořadí 126. vůz s číslem 9285 byl modernizován dodatečně ve spolupráci se Škoda Transportation a zkušební provoz proběhl za dohledu Drážního úřadu ČR s pozitivním výsledkem, uvádí server MHD86 (2019). Cestujícím k rozlišení vozu s klimatizací a bez slouží barevná linka na čele vozu. Ty žluté jsou osazeny klimatizací a červené pouze ventilací. Při pohledu zepředu je pak rozlišení patrné na obrázku č. 19. Vozy, které již klimatizaci mají přímo z výroby, jsou osazeny jednotkami Bahoza KLMT 15002.



Obrázek 19 Rozlišení klimatizovaných vozů 15T (Sůra, 2019)

Samotná přestavba vozu 15T s ventilací na plně klimatizovaný vyžaduje určité konstrukční zásahy. Dle Dienstbiera (2020) se kromě záměny jednotek jedná také o zásah do podstropního kanálu pro dosažení rovnoměrné distribuce vzduchu, zvětšení stávajících otvorů pro výdech tepelně upraveného vzduchu, provedení úpravy kabeláží a konektorů a nahrání nového softwaru do hlavního počítače vozu. Dodatečná klimatizace by se měla provádět ve vozovkách DPP na Pankráci a ve Vokovicích, které jsou pro to technicky vybaveny, a cena úpravy jednoho vozu je zhruba 3 200 tisíc Kč, uvádí server MHD86 (2019). Pokud se má hromadná doprava stát plnohodnotnou náhradou dopravy individuální, tak je klimatizace nezbytnou součástí moderního vozového parku. Celý projekt měl začít již v roce 2020, ale z finančních důvodů způsobených epidemií je pozastaven.

4 ZHODNOCENÍ NAVRŽENÉHO ŘEŠENÍ

Navržená řešení vychází z poznatků získaných během analýzy v druhé kapitole, technických možností jednotlivých tramvají a implikují ekonomickou náročnost ve snaze ji minimalizovat. Aby bylo splněno zadání práce, bylo popsáno také řešení pro vozy 14T, u nichž je dle výrobce zřejmé, že osazení klimatizací není možné. Podrobnější zhodnocení navržených řešení jsou uvedena v následujících částech.

4.1 Tatra T3R.P a T3R.PLF

Pro vozy T3R.P byly navrženy dvě možné varianty k osazení klimatizačními jednotkami. Z hlediska technického provedení montáže jednotky do vozu jsou obě varianty stejné, ale liší se v nákladech a v přístupu. Optikou nákladů se varianta A jeví jako výhodnější, protože celková suma je zhruba třikrát nižší oproti variantě druhé. Zahrnuje ovšem pouze provedení PO a instalaci klimatizace, což z hlediska životnosti znamená dle DPP maximálně dalších 15 let v provozu od provedení PO. Výběrem této varianty by DPP získal záruku na bezproblémový provoz již ověřených vozů T3R.P. Tím ale, kromě nové klimatizace, přínosy končí. Požadavky na více nízkopodlažních vozů na linkách může splnit druhá varianta B. Spočívá v přestavbě na částečně nízkopodlažní vozy T3R.PLF, které vycházejí právě z T3R.P. Jedná se o téměř nové tramvaje, u kterých je předpoklad životnosti 30 let. Těch je v provozu aktuálně 35 a lze tento počet navýšit přestavbou dalších 85 vozů. Tím by DPP mohl garantovat noční nízkopodlažní spoje a vzhledem k pořizovací ceně 8 910 tisíc Kč za jeden vůz se dá hovořit o velmi příznivé ceně za takřka novou tramvaj. Použití pak především na nočních linkách je z hlediska obav z vandalismu méně bolestivé, než u dražších 14T a 15T. Druhým důvodem je také očekávaná nižší poptávka po nočním bezbariérovém provozu oproti dennímu. Výhledově není smysluplné udržovat v provozu všech 347 vozů T3R.P a vhodnější bude jich poměrnou část modernizovat na T3R.PLF. Jestli to bude všech 85 vozů, nebo méně, bude záležet na preferencích a potřebách DPP.

Otázka klimatizace je u těchto vozů diskutabilní, především kvůli konstrukční náročnosti instalace, která by nemusela převážit výhody plynoucí z jejího použití. Určitě by také nebylo potřeba osadit všech 85 vozů ale pouze takový počet, který obsluhuje převážně denní linky. Rozhodujícím parametrem by byla využitelnost klimatizace v praxi a hlavně její účinnost. To je myšleno ve vztahu k pravidlu mít zavřená okna při zapnuté klimatizaci, jinak dochází ke snížení účinku chlazení. A to právě u vozů typu T3 s danou konstrukcí oken může být hlavní úskalí. Pokud by se DPP rozhodl k osazení klimatizační jednotkou vozy T3R.P,

bylo by vhodnější to provést při přestavbě na T3R.PLF při součinnosti výrobce skříně a pokusit se samotnou skříň přizpůsobit k osazení již ve výrobě. A to nejen výřezem střechy karoserie ale také přípravou montážních bodů pro podstropní kanál rozvodu vzduchu a rozvod nové kabeláže k ovládní klimatizace.

Zvolená klimatizační jednotky byla vybrána s ohledem na požadavky minimálního množství vzduchu při plné obsazenosti vozu. Dále je vyžadována co nejnižší hmotnost z důvodu minimalizace zatížení střechy a bylo nutné zvolit ideální poměr hmotnosti a výkonu. Právě tyto požadavky splňuje Konvekta 5401 s hmotností 275 kg a dostačujícím výkonem. Výhodou při osazení těchto starších vozů typu T3 klimatizací bude zachování volby, zda použít klimatizaci, nebo zajistit ventilaci vzduchu pomocí náporového vzduchu.

4.2 Tatra KT8D5.RN2P

Dále bylo popsáno řešení u vozů KT8D5.RN2P, které svoji starší platformou konstrukce nejsou k osazení klimatizace přizpůsobeny, stejně jako vozy typu T3. Jistou výhodou je zde během modernizace, z KT8D5, vyztužení skeletu skříně u krajních článků a zvýšení pevnosti jako celku. Rozmístění klimatizačních jednotek bylo zvoleno především s ohledem na omezené prostorové možnosti, které jsou způsobeny již rozmístěnými střešními klapkami. Při návrhu bylo využito vždy jedné střešní klapky každého článku a doporučeno její nahrazení klimatizační jednotkou. Nebylo by tedy nutné provádět výřez do střechy vozu, ale pouze upravit montážní body a přebytečné místo utěsnit, aby nedocházelo k zatékání do salónu pro cestující. Pro každý článek tak byla zvolena jedna klimatizační jednotka, a to především z důvodu rovnoměrnějšího rozvodu ochlazené vzduchu v celé tramvaji a také pro jednodušší řešení stropních kanálů, které by jinak musely procházet z krajních článků skrz kloubové spojení do toho středního. Výhoda koncepce této obousměrné tramvaje je při rozmístění klimatizace zároveň nevýhodou, protože klimatizační jednotky musí být z prostorových důvodů umístěny v blízkosti dveří. A ty jsou u této obousměrné a oboustranné tramvaje umístěny na obou stranách. Tento aspekt musí být zohledněn při rozmístění výdechů ochlazeného vzduchu tak, aby neústil v prostoru dveří. V opačném případě by byl účinek klimatizace snižován při každém otevření dveří. Klimatizační jednotka byla vybrána s požadavkem na co nejmenší rozměry při zachování dostatečného výkonu. Pro co nejnižší zatížení středního podvozku byla zvolena méně výkonná a lehčí jednotka. Na celém voze jsou tak umístěny dvě HVAC 5401 a jedna HVAC 3402. Samotné vozy KT8D5.RN2P disponují vysokým potenciálem a DPP nepočítá v blízké době s vyřazením. I z tohoto důvodu lze nad klimatizováním uvažovat.

Aktuálně je v provozu 55 vozů, z nichž u 42 zatím nebyla provedena PO, při které by bylo možné montáž klimatizace provést. Dalších 15 vozů KT8D5 bylo odkoupeno z Miskolce, z nichž většina čeká na přestavbu, při které by byla instalace klimatizace ještě vhodnější než při PO.

4.3 Škoda 14T

Navržené řešení pro vozy 14T vychází z faktu, že u těchto vozů jsou velmi omezené možnosti, pokud má být návrh ekonomicky a časově přijatelný. Samotný proces osazení klimatizačními jednotkami není tak složitý, jako u starších vozů typu T3 a KT, ovšem je zde velmi tenká hranice mezi dovoleným zatížením podvozků a celkovou hmotností. Navržená varianta, která popisuje záměnu ventilačních jednotek za ty klimatizační, uvažuje problematiku dovoleného zatížení. Použitím zvolených jednotek klimatizace by nemělo dojít k nárůstu celkové hmotnosti tramvaje, protože jsou lehčí než ty ventilační. Výkonově jsou spíš na spodní hranici použitelnosti, což je daň za malé rozměry. Druhou variantou by mohlo být použití pěti jednotek, ovšem to by muselo dojít k zásahu do konstrukce střechy a rozmístění současných komponent tak, aby vzniklo místo pro pátou jednotku. Hmotnostně by to přílišné navýšení nezpůsobilo, ovšem z hlediska nákladů je tato možnost neekonomická. Bývá také kladena otázka, proč nejít cestou polských vozů 16T, které jsou velmi podobné pražským 14T. Zmíněné 16T se v Polsku rozhodli zmodernizovat, což zahrnuje mimo jiné i instalaci klimatizace prostoru pro cestující. Zřejmě hlavním důvodem, proč v 16T je možné mít klimatizaci, je nižší hmotnost z důvodu absence pohonu středního podvozku a jeho výzbroje. Jak už se ukázalo dříve u prototypu RT6N1, pro pražské tramvajové tratě je podmínkou mít všechny podvozky hnané.

4.4 Škoda 15T

U vozů 15T nebylo navrženo žádné nové řešení, protože projekt na dovybavení 124 vozů klimatizací je již připraven. Byl tedy popsán aktuální stav a proces záměny ventilačních jednotek za ty klimatizační. Momentálně se jedná, ačkoliv je z finančních důvodů pozastaven, o jediný program na zvýšení počtu klimatizovaných vozů. Samotné náklady na údržbu klimatizace jsou zanedbatelné a průměrná spotřeba elektrické energie je dokonce nepatrně nižší než u vozů s ventilačními jednotkami. Rozdíl je znázorněn v tabulce č. 36.

Tabulka 36 Náklady na provoz vozů 15T s klimatizací a ventilací

Spotřeba vozu 15T bez klimatizace v salónu vozu	4,1341 kW / 1 km
Spotřeba vozu 15T s klimatizací v salónu vozu	4,1236 kW / 1 km

Zdroj: Dopravní podnik hlavního města Prahy (2021c)

Důvodem je, že ventilační jednotky jsou zapnuty neustále, kdežto klimatizační se občas vypínají. Porovnávací měření bylo dle DPP provedeno na vozech bez klimatizace a s klimatizací Bahoza. Vzhledem ke stejnému chladicímu výkonu (16,7 kW) a stejnému topnému výkonu (6 kW) lze měření považovat za relevantní. Kromě nákladů na přestavbu vozu, které jsou 3 200 tisíc Kč, se už další výrazné navýšení nákladů spojených s provozem klimatizovaných vozů neočekává.

4.5 Souhrn

Aktuální zastoupení klimatizovaných tramvají je 17 % z celkového počtu vozů nasazených pro běžný provoz a jedná se o vozy 15T. Do souhrnu nejsou započteny vozy T3M2-DVC a T6A5, které budou tento rok vyřazeny. Z celkového počtu 739 uvažovaných vozů jich má klimatizaci 126, jak uvádí tabulka č. 37.

Tabulka 37 Aktuální počet klimatizovaných vozů

Typ vozu	Počet	Z toho klimatizovaných
14T	55	0
15T	250	126
KT8D5.RN2P	52	0
T3R.P	347	0
T3R.PLF	35	0
Celkem	739	126

Zdroj: Dopravní podnik hlavního města Prahy (2021b)

Ve snaze navýšit počet klimatizovaných vozů a v návaznosti na výsledky zjištěné v této práci by bylo postupně možné dostat se na hodnotu 72 %. Poměr je znázorněný v tabulce č. 38. Pokud by, jak uvádí výrobce vozu 14T, nebylo tento vůz možné osadit klimatizací, tak celkové zastoupení by kleslo na 63 %.

Tabulka 38 Počet klimatizovaných vozů po aplikaci navržených řešení

Typ vozu	Počet	Z toho klimatizovaných
14T	55	0
15T	250	250
KT8D5.RN2P	52	57
T3R.P	262	25
T3R.PLF	35	83
Celkem	654	415

Zdroj: Dopravní podnik hlavního města Prahy (2021b), doplněno autorem

Pro udržení atraktivnosti tramvajové dopravy v Praze je určitě potřeba navýšit počet klimatizovaných vozů, a to úpravou stávajícího vozového parku nebo nákupem nových moderních tramvají. Finančně výhodnější je varianta přestavby starších tramvají, na druhou stranu je potřeba si položit otázku, do jaké míry je toto řešení udržitelné z pohledu standardů a pohodlí, které cestující vyžadují. Inspirací tak může být DPO (Dopravní podnik Ostrava), který realizoval přestavbu vozů T3 na nové nízkopodlažní vozy s označením VarioLF a jejichž poslední modernizace obsahuje právě osazení klimatizace prostoru pro cestující. Jistá výhoda DPP je v relativně vysokém počtu spolehlivých vozů T3R.P, které lze přestavět na T3R.PLF, nebo na ostravské VarioLF a zajistit tak obnovu vozového parku nízkopodlažními vozy.

ZÁVĚR

Během zpracování diplomové práce bylo představeno řešení pro každý typ tramvaje, která dosud nebyla klimatizací osazena. Jsou to konkrétně vozy T3R.P, T3R.PLF, KT8D5.RN2P a 14T. Ani u jednoho z uvedených vozů se při výrobě s dodatečným použitím klimatizace nepočítalo, čemuž odpovídá náročnost jednotlivých návrhů. Těmto návrhům předcházelo ověření, zda dodatečná zátěž způsobená klimatizační jednotkou nebude zatěžovat podvozky vozu nad úroveň dovoleného zatížení. Dále byl stanoven počet vozů jednotlivých typů tramvají, které lze, z hlediska co nejnižších nákladů a prostojů, klimatizací osadit. Nejbližší možná příležitost je tak při provedení pravidelné opravy. Největší variabilitu nabízí vozy T3R.P, u kterých byly navrženy dvě varianty. Umožňuje to početné zastoupení těchto vozů, ale také více variant možných modernizací. Naopak nejméně možností se nabízí u vozu 14T, kde jsou všechna řešení striktně omezena hmotnostním limitem.

Ať už to bude u zmodernizovaných stávajících vozů nebo zcela nových, problém absence klimatizace bude nutné vyřešit. Přínosy při využití vlastních vozů jsou primárně nižší náklady, k čemuž se přiklání také DPP s plány na rozšíření flotily T3R.PLF a KT8D5.RN2P a schváleným projektem na dodatečné klimatizování vozů 15T. Při pořízení nových vozů je nutné zvolit správný poměr obousměrných a jednosměrných vozů. První důvod je kapacita, kdy obousměrné vozy disponují nižší kapacitou z důvodu umístění dveří po obou stranách (absence sedaček v této části), a druhý důvod je vyšší pořizovací cena.

Navýšení klimatizovaných vozů je důležité nejen pro zvýšení komfortu cestujících, ale také zvýšení prestiže Prahy v porovnání s evropskými velkoměsty a zajištění konkurenceschopnosti městské hromadné dopravy ve vztahu k ostatním druhům dopravy.

POUŽITÁ LITERATURA

BAHOZA, [b.r]. Klimatizační jednotka typ KTV-1. *Bahoza* [online]. [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: <http://www.bahoza.cz/klimatizacni-a-vzduchotechnicke-jednotky/salonu-tramvaji/klimatizacni-jednotka-typ-ktv-1-14.html>

ČERNÁ, Lubomíra, 2011. Vedro na kolejích. Proč musí cestující v nových tramvajích trpět. *iDnes* [online]. [cit. 2021-04-5]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/technet/technika/vedro-na-kolejich-proc-musi-cestujici-v-novych-tramvajich-trpet.A110627_1610346_tec_technika_vse

ČESKOSLOVENSKÝ DOPRAVÁK, 2019. Pražská vozovna Kobylisy si připomíná 80. výročí. *Československý dopravák* [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://www.cs-dopravak.cz/2019-4-30-prask-vozovna-kobylisy-si-pipomn-80-vro/>

ČSN EN 13103-2, 2020. Železniční aplikace - Dvojkolí a podvozky - Část 2: Konstrukční metoda pro nápravy s vnitřními ložiskovými čepy. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Třídící znak 28 2301.

DIENSTBIER, David, 2020. *Klimatizace tramvajových vozů*. Praha: Dopravní podnik hl. m. Prahy

DOPRAVNÍ PODNIK HLAVNÍHO MĚSTA PRAHY, AKCIOVÁ SPOLEČNOST, 2021a. Interní zpráva o umístění tramvajových vozů dle vozoven. Praha: Dopravní podnik hlavního města Prahy

DOPRAVNÍ PODNIK HLAVNÍHO MĚSTA PRAHY, AKCIOVÁ SPOLEČNOST, 2021b. Interní zpráva o počtu tramvajových vozů vozidel. Praha: Dopravní podnik hlavního města Prahy

DOPRAVNÍ PODNIK HLAVNÍHO MĚSTA PRAHY, AKCIOVÁ SPOLEČNOST, 2021c. Interní zpráva o nákladech na provoz jednotlivých typů tramvají. Praha: Dopravní podnik hlavního města Prahy

DOPRAVNÍ PODNIK HLAVNÍHO MĚSTA PRAHY, AKCIOVÁ SPOLEČNOST, 2021d. Interní zpráva o nákladech na provedení pravidelné opravy. Praha: Dopravní podnik hlavního města Prahy

DOPRAVNÍ PODNIK HLAVNÍHO MĚSTA PRAHY, AKCIOVÁ SPOLEČNOST, 2021e. Interní zpráva o nákladech na provedení přestavby vozů T3R.PLF a KT8D5.RN2P. Praha: Dopravní podnik hlavního města Prahy

DOPRAVNÍ PODNIK HLAVNÍHO MĚSTA PRAHY, AKCIOVÁ SPOLEČNOST, 2021f. Interní zpráva o parametrech podvozku jednotlivých typů tramvají. Praha: Dopravní podnik hlavního města Prahy

DOPRAVNÍ PODNIK HLAVNÍHO MĚSTA PRAHY, AKCIOVÁ SPOLEČNOST, 2021g. Interní zpráva o parametrech zatížení náprav jednotlivých typů tramvají. Praha: Dopravní podnik hlavního města Prahy

- DOPRAVÁČEK, 2019a. Tramvajový newsletter – listopadový souhrn událostí u pražských tramvají. *Dopraváček* [online]. [cit. 2021-03-20]. Dostupné z: <https://dopravacek.eu/2019/12/01/tramvajovy-newsletter-listopadovy-souhrn-udalosti-u-prazskych-tramvaji/>
- FOJTÍK, Pavel, 2000. *Historie městské hromadné dopravy v Praze*. Praha: Dopravní podnik hl. m. Prahy. ISBN 80-239-5013-4
- GOSS, 2021. HVAC 3402. *Goss* [online]. [cit. 2021-05-8]. Dostupné z: <http://www.goss.cz/goss/xkolej02.htm>
- HINČICA, Libor, 2019a. Je konec. Praha převzala 250. vůz Škoda 15T. *Československý dopravák* [online]. [cit. 2021-01-29]. Dostupné z: <https://www.cs-dopravak.cz/2019-2-4-je-konec-praha-pevzala-250-vz-koda-15t/>
- HINČICA, Libor, 2020. V Praze vyjel do provozu první vůz KT8D5 z Miskolce. *Československý dopravák* [online]. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://www.cs-dopravak.cz/v-praze-vyjel-do-provozu-prvni-vuz-kt8d5-z-miskolce/>
- HRUBEŠ, Ondřej Matěj, 2015. DPP představil nové tramvaje Škoda 15T4 pro Prahu. *MHD86* [online]. [cit. 2021-01-29]. Dostupné z: <https://mhd86.cz/2015/08/24/dpp-predstavil-nove-tramvaje-skoda-15t4-pro-prahu/>
- HRUBEŠ, Ondřej Matěj, 2018a. Strašnická vozovna slaví 110 let. Denně vypraví deset linek tramvají. *MHD86* [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://mhd86.cz/2018/10/12/strasnicka-vozovna-slavi-110-let-denne-vypravi-deset-linek-tramvaji/>
- HRUBEŠ, Ondřej Matěj, 2018b. Tramvaje Škoda 14T za 2 miliardy odstavené ve vozovnách. Opravy potrvají do roku 2020. *MHD86* [online]. [cit. 2021-04-3]. Dostupné z: <https://mhd86.cz/2018/01/16/tramvaje-skoda-14t-za-2-miliardy-odstavene-ve-vozovnach-opravy-potrvasi-do-roku-2020/>
- HRUBEŠ, Ondřej Matěj, 2020. DPP zachová historickou soupravu tramvají T6A5. *MHD86* [online]. [cit. 2021-03-20]. Dostupné z: <http://mhd86.cz/2020/06/04/dpp-zachova-historickou-soupravu-tramvaji-t6a5/>
- HRUBEŠ, Ondřej Matěj, 2021. Wrocław zmodernizovala první tramvaj Škoda 16T. *MHD86* [online]. [cit. 2021-05-4]. Dostupné z: <http://mhd86.cz/2021/03/29/wroclaw-zmodernizovala-prvni-tramvaj-skoda-16t/>
- HÝŘ, Marek, 2016. V Praze budou jezdit ojeté tramvaje z Maďarska. Pomohou při výlukách. *Metro* [online]. [cit. 2021-05-2]. Dostupné z: https://www.metro.cz/prazsky-dopravni-podnik-koupil-ojete-tramvaje-v-madarsku-pm9-/praha.aspx?c=A160113_235159_praha-metro_lupo
- CHOUR, Martin, 2013. Vozovna Žižkov. *Tram-bus* [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://www.tram-bus.cz/mhd-praha/tramvaje/vozovny/vozovna-zizkov/>
- CHOUR, Martin, 2014a. Vozovna Hloubětín. *Tram-bus* [online]. [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <https://www.tram-bus.cz/mhd-praha/tramvaje/vozovny/vozovna-hloubetin/>

- CHOUR, Martin, 2014b. Vozovna Motol. *Tram-bus* [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://www.tram-bus.cz/mhd-praha/tramvaje/vozovny/vozovna-motol/>
- CHOUR, Martin, 2014c. Vozovna Pankrác. *Tram-bus* [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://www.tram-bus.cz/mhd-praha/tramvaje/vozovny/vozovna-pankrac/>
- CHOUR, Martin, 2014d. Vozovna Vokovice. *Tram-bus* [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://www.tram-bus.cz/mhd-praha/tramvaje/vozovny/vozovna-vokovice/>
- CHOUR, Martin, 2014e. Tatra T3R.PLF. *Tram-bus* [online]. [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <https://www.tram-bus.cz/mhd-praha/tramvaje/vozy/tatra-t3/tatra-t3r-plf/>
- CHOUR, Martin, 2014f. Škoda 14T. *Tram-bus* [online]. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://www.tram-bus.cz/mhd-praha/tramvaje/vozy/skoda-14t/>
- CHOUR, Martin, 2015a. Vozovna Střešovice. *Tram-bus* [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://www.tram-bus.cz/mhd-praha/tramvaje/vozovny/vozovna-stresovice/>
- CHOUR, Martin, 2015b. Tatra T3R.P. *Tram-bus* [online]. [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <https://www.tram-bus.cz/mhd-praha/tramvaje/vozy/tatra-t3/tatra-t3r-ppv/>
- CHOUR, Martin, 2015c. Tatra KT8D5(.RN2P). *Tram-bus* [online]. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://www.tram-bus.cz/mhd-praha/tramvaje/vozy/tatra-kt8d5-rn2p/>
- CHOUR, Martin, 2016. Škoda 15T. *Tram-bus* [online]. [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: <https://www.tram-bus.cz/mhd-praha/tramvaje/vozy/skoda-15t/>
- INDRA, David, 2020. Škoda 14T. *Seznam autobusů* [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://foto.bmhd.cz/f/267/2661/266060.jpg>
- ISAKOV, Michal, 2020. Škoda 15T. *Seznam autobusů* [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://foto.bmhd.cz/f/233/2322/232199.jpg>
- KALINA, Karel, 2018. Tatra T3R.PLF. *Seznam autobusů* [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://foto.bmhd.cz/f/202/2013/201219.jpg>
- KAPRÁLEK, Radovan, 2014. Všechny „wany“ s klimatizací kabiny. *DP kontakt*. Roč. 19, č. 7. ISSN: 1212-6349.
- KONVEKTA, 2021. HVAC 5401. *Konvekta* [online]. [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: <https://www.konvekta.de/en/products/hvac-systems-for-track-vehicles/track-vehicle-hvac-sys/air-conditioning-of-passengers-compartments/hvac-5401.html>
- LINERT, Stanislav, 2005. *Kolejová vozidla pražské městské hromadné dopravy*. Praha: Dopravní podnik hl. m. Prahy. ISBN 80-239-5463-6.
- M-KLIMA, 2014. Jak funguje klimatizace? *M-klima* [online]. [cit. 2021-01-29]. Dostupné z: <https://www.m-klima.cz/jak-funguje-klimatizace/>
- MALÝ, Jaroslav, 2017. Tatra T3R.P. *Seznam autobusů* [online]. [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <https://foto.bmhd.cz/f/155/1544/154367.jpg>
- MARA, Robert, 2006. *Tramvaje Tatra T2*. Praha: Malkus. ISBN 80-903012-7-4.

MHD86, 2019. Všechny tramvaje Škoda 15T budou mít klimatizaci. *MHD86* [online]. [cit. 2021-04-5]. Dostupné z: <http://mhd86.cz/2019/11/09/vsechny-tramvaje-skoda-15t-budou-mit-klimatizaci/>

MIČKAL, Karel, 1995. *Strojnictví a části strojů*. Praha: Sobotáles. ISBN 80-85920-01-8

MLYNAŘÍK, Ladislav, 2015. Vývoj synchronizovaného řízení pohonů tramvaje 15T ForCity. *Želpage* [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://www.zelpage.cz/clanky/vyvoj-synchronizovaneho-rizeni-pohonu-tramvaje-15t-forcity>

MOBILNÍ TABLA, 2021a. Informace o tramvaji 14T. *Mobilní tabla* [online]. [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: <https://tram.mobilnitabla.cz/vuz/9166>

MOBILNÍ TABLA, 2021b. Informace o tramvaji 15T. *Mobilní tabla* [online]. [cit. 2021-04-01]. Dostupné z: <https://tram.mobilnitabla.cz/vuz/9442>

POVÝŠIL, Ladislav, 2021. Praha tramvajová! Do roku 2030 vzniknou kilometry nových kolejí. *Piráti Praha 8* [online]. [cit. 2021-05-2]. Dostupné z: <https://praha8.pirati.cz/aktuality/praha-tramvajova-do-roku-2030-vzniknou-kilometry-novych-koleji.html>

PRAŽSKÉ TRAMVAJE, 2001-2021a. KT8D5.RN2P. *Pražské tramvaje* [online]. [cit. 2021-01-29]. Dostupné z: <https://www.prazsketramvaje.cz/view.php?cisloclanku=2006040801>

PRAŽSKÉ TRAMVAJE, 2001-2021b. Škoda 15T ForCity se představuje. *Pražské tramvaje* [online]. [cit. 2021-01-29]. Dostupné z: <http://www.prazsketramvaje.cz/view.php?cisloclanku=2008041001>

PRAŽSKÉ TRAMVAJE, 2001-2021c. Vozovna Kobylisy. *Pražské tramvaje* [online]. [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <https://www.prazsketramvaje.cz/view.php?cisloclanku=2006041324>

PRAŽSKÉ TRAMVAJE, 2001-2021d. Vozovna Motol. *Pražské tramvaje* [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://www.prazsketramvaje.cz/view.php?cisloclanku=2006041323>

PRAŽSKÉ TRAMVAJE, 2001-2021e. Vozovna Vokovice. *Pražské tramvaje* [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://www.prazsketramvaje.cz/view.php?cisloclanku=2006041322>

PRAŽSKÉ TRAMVAJE, 2001-2021f. Vozovna Žižkov. *Pražské tramvaje* [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://www.prazsketramvaje.cz/view.php?cisloclanku=2006041318>

PRAŽSKÉ TRAMVAJE, 2001-2021g. T3M2-DVC. *Pražské tramvaje* [online]. [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: <https://www.prazsketramvaje.cz/view.php?cisloclanku=2006040815>

PRAŽSKÉ TRAMVAJE, 2001-2021h. T6A5. *Pražské tramvaje* [online]. [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: <https://www.prazsketramvaje.cz/view.php?cisloclanku=2006040826>

- PRAŽSKÉ TRAMVAJE, 2001-2021ch. T3R.P. *Pražské tramvaje* [online]. [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: <https://www.prazsketramvaje.cz/view.php?cisloclanku=2006040818>
- PRAŽSKÉ TRAMVAJE, 2001-2021i. T3R.PLF. *Pražské tramvaje* [online]. [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: <https://www.prazsketramvaje.cz/view.php?cisloclanku=2007040801>
- PRAŽSKÉ TRAMVAJE, 2001-2021j. 14T. *Pražské tramvaje* [online]. [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: <https://www.prazsketramvaje.cz/view.php?cisloclanku=2006082001>
- PRAŽSKÁ INTEGROVANÁ DOPRAVA, 2016. Sborník obsaditelnosti tramvají a autobusů. *PID* [online]. [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <https://pid.cz/zkouska-obsaditelnosti-proverila-nove-typy-tramvaji-autobusu/>
- SABDIGITAL, 2013. Tramvaj T3. *Sabdigital* [online]. [cit. 2021-04-24]. Dostupné z: <http://www.sabdigital.com/expozicemhd/?akce=exponaty-tramvaje-brno-521-tramvaj-t3>
- SŮRA, Jan, 2020. Nesmrtelné T3 v Praze. Kromě úpravy na „wany“ dostanou i repasovanou elektrickou výzbroj. *Zdopravy* [online]. [cit. 2021-04-30]. Dostupné z: <https://zdopravy.cz/nesmrtelne-t3-v-praze-krome-upravy-na-wany-dostanou-i-repasovanou-elektrickou-vyzbroj-59946/>
- SŮRA, Jan, 2019. Klimatizace v tramvajích 15T bude, část pražské koalice ustoupila. Zakázku získá Škoda *Zdopravy* [online]. [cit. 2021-05-5]. Dostupné z: <https://zdopravy.cz/klimatizace-v-tramvajich-15t-bude-cast-prazske-koalice-ustoupila-zakazku-ziska-skoda-36738/>
- SÝKORA, Petr, 2021. Tramvaj T3R.PLF *Slideplayer* [online]. [cit. 2021-04-30]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/4102588/>
- ŠINDELÁŘ, Jan, 2018. Pražský dopravní podnik řeší budoucnost tramvají 14T, připustil i jejich odprodej. *Zdopravy* [online]. [cit. 2021-05-4]. Dostupné z: <https://zdopravy.cz/prazsky-dopravni-podnik-resi-budoucnost-tramvaji-14t-pripustil-i-jejich-odprodej-16121/>
- ŠUROVSKÝ Jan, 2020. Dopravní podcast (90) s Janem Šurovským o pražských tramvajích. *MHD86* [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://mhd86.cz/2020/12/23/dopravni-podcast-90/>
- TRAMVAJÁK, 2019. Jak funguje ventilace u vozu Škoda 14T. *Youtube* [online]. [cit. 2021-04-2]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=kpX8bdQIY9I>
- VROBEL, Lukáš, 2014. ČKD Tatra KT8D5.RN2P. *Seznam autobusů* [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://foto.bmhd.cz/f/268/2678/267734.jpg>
- VŠB-TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 2009. Kapitola II. Železniční stanice a kolejová doprava ve městech (ČÁST 3). *CZ.1.07/2.3.00/09.0150 „Zvýšení vědeckovýzkumného potenciálu pracovníků a studentů technických vysokých škol v oblasti dopravy a nových dopravních technologií“* [online]. [cit. 2021-01-29]. Dostupné z: <http://projekt150.ha-vel.cz/node/171>

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1	Rozdělení vozidel dle vozoven.....	23
Tabulka 2	Technické údaje vozu T3M2-DVC	24
Tabulka 3	Technické údaje vozu T6A5.....	25
Tabulka 5	Technické údaje vozu KT8D5.RN2P.....	27
Tabulka 6	Technické údaje vozu T3R.PLF	29
Tabulka 7	Technické údaje vozu 14T	30
Tabulka 8	Technické údaje vozu 15T	32
Tabulka 9	Celkový počet tramvajových vozů	32
Tabulka 10	Parametry vozu T3R.P	35
Tabulka 11	Hodnoty potřebné k výpočtu zatížení ložisek dvojkolí u vozu T3R.P.....	37
Tabulka 12	Roční náklady na provoz a údržbu vozu T3R.P	39
Tabulka 13	Náklady na údržbu klimatizačních jednotek vozu 15T	39
Tabulka 14	Parametry vozu T3R.PLF	41
Tabulka 15	Hodnoty potřebné k výpočtu zatížení ložisek dvojkolí u vozu T3R.PLF	42
Tabulka 16	Roční náklady na provoz a údržbu vozu T3R.PLF	43
Tabulka 17	Parametry vozu KT8D5.RN2P	45
Tabulka 18	Hodnoty potřebné k výpočtů zatížení ložisek dvojkolí vozu KT8D5.RN2P	46
Tabulka 19	Hodnoty potřebné k výpočtu zatížení ložisek dvojkolí vozu KT8D5.RN2P	47
Tabulka 20	Roční náklady na provoz a údržbu vozu KT8D5.RN2P	48
Tabulka 21	Parametry vozu 14T	50
Tabulka 22	Hodnoty potřebné k výpočtu zatížení ložisek dvojkolí u vozu 14T.....	51
Tabulka 23	Roční náklady na provoz a údržbu vozu 14T	53
Tabulka 24	Parametry vozu 15T	54
Tabulka 25	Roční náklady na provoz a údržbu vozu 15T.....	55
Tabulka 26	Souhrnné roční náklady na provoz a údržbu	56
Tabulka 27	Souhrnné roční náklady na údržbu klimatizace	57
Tabulka 28	Parametry HVAC 5401	60
Tabulka 29	Náklady na provedení PO pro 85 vozů T3R.P	62
Tabulka 30	Náklady na přestavbu 85 vozů T3R.P na T3R.PLF	62
Tabulka 31	Náklady na provedení PO pro 33 vozů T3R.PLF	64

Tabulka 32 Parametry HVAC 3402	66
Tabulka 33 Náklady na provedení PO pro 42 vozů KT8D5.RN2P	67
Tabulka 34 Náklady na modernizaci KT8D5.RN2P.....	67
Tabulka 35 Parametry HVAC 3402	69
Tabulka 36 Náklady na provoz vozů 15T s klimatizací a ventilací	74
Tabulka 37 Aktuální počet klimatizovaných vozů	74
Tabulka 38 Počet klimatizovaných vozů po aplikaci navržených řešení	75

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Tramvajový vůz T3M2-DVC	23
Obrázek 2 Tramvajový vůz T6A5	24
Obrázek 3 Tramvajový vůz T3R.P	26
Obrázek 4 Tramvajový vůz KT8D5.RN2P	27
Obrázek 5 Tramvajový vůz T3R.PLF	28
Obrázek 6 Tramvajový vůz 14T	30
Obrázek 7 Tramvajový vůz 15T	31
Obrázek 8 Ukázka ventilace u vozu T3R.P	34
Obrázek 9 Síly působící na dvojkolí	36
Obrázek 10 Skříň vozu T3R.PLF	40
Obrázek 11 Tramvajový vůz KT8D5.RN2P	44
Obrázek 12 Ventilace u vozu 14T	49
Obrázek 13 Roční náklady na provoz a údržbu pro jednotlivé typy vozů	56
Obrázek 14 Roční náklady na údržbu klimatizačních jednotek dle typu vozu	57
Obrázek 15 Umístění klimatizační jednotky	60
Obrázek 16 Úprava střechy pro montáž klimatizační jednotky	61
Obrázek 17 Umístění klimatizační jednotky na voze T3R.PLF	63
Obrázek 18 Umístění klimatizační jednotky na voze KT8D5.RN2P	65
Obrázek 19 Rozlišení klimatizovaných vozů 15T	70

SEZNAM ZKRATEK

DPO	Dopravní podnik Ostrava
DPP	Dopravní podnik hlavního města Prahy, akciová společnost
GO	Generální oprava
HVAC	Heat, Ventilation, Air-Condition Topná a chladicí vzduchová jednotka
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor Bipolární tranzistor s izolovaným hradlem
KP	Kontrolní prohlídka
PCC	Presidents' Conference Committee Car Vůz výboru sjezdu prezidentů
PMDP	Plzeňské městské dopravní podniky
PO	Pravidelná oprava
PÚ	Pravidelná údržba
ROPID	Regionální organizátor Pražské integrované dopravy
TK	Temeno kolejnice
VKP	Velká kontrolní prohlídka