

**Univerzita Pardubice**  
**Dopravní fakulta Jana Pernera**

**Návrh koncepce vozidla MUV s bateriovým  
pohonem a solárním nabíjením**

Bakalářská práce

2023

Dominik Řihák

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera  
Akademický rok: 2022/2023

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Dominik Řihák**  
Osobní číslo: **D20290**  
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**  
Studijní obor: **Dopravní prostředky: Kolejová vozidla**  
Téma práce: **Návrh koncepce vozidla MUV s bateriovým pohonem a solárním nabíjením**  
Zadávací katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

## Zásady pro vypracování

Cílem práce je analýza možností použití bateriového pohonu na lehkém kolejovém vozidle MUV. Student se zaměří na energetickou bilanci vozidla v provozu a proveditelnost z pohledu umístění agregátů. Přínosem bude vytvoření několika variant a výběr optimálního řešení. U energetické bilance bude zahrnuta možnost dobíjení z FVE a běžně dostupných zdrojů energie v provozu.

1. Rešerše lehkých pracovních vozidel s elektrickým pohonem.
2. Energetická bilance pro různé pracovní režimy vozidla MUV.
3. Návrh parametrů bateriového pohonu vč. možnosti solárního dobíjení.
4. Výběr vhodného uspořádání agregátů a koncepční návrh uspořádání vozidla (příp. více variant).
5. Závěrečné zhodnocení zvolené varianty.

Rozsah pracovní zprávy: **35 stran**  
Rozsah grafických prací: **dle pokynů vedoucího práce**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- [1] MICHÁLEK T., ZELENKA J. *Trakční mechanika*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2018. ISBN 978-80-7560-175-9.
- [2] NOVÁK J. *Electric drives: study material*. Ed. 1st. Pardubice: University of Pardubice, Jan Perner Transport Faculty, 2014. ISBN 978-80-7395-798-8.
- [3] EHSANI M., GAO Y., GAY S. E., EMADI A. *Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles: fundamentals, theory, and design*. Boca Raton: CRC Press, 2005. ISBN 0-8493-3154-4.
- [4] Informace od výrobců vozidel a výrobců komponent a agregátů.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jakub Vágner, Ph.D.**  
Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání bakalářské práce: **10. února 2023**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **15. května 2023**

L.S.

---

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

---

**Ing. Jakub Vágner, Ph.D.**  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 10. února 2023

## PROHLÁŠENÍ AUTORA

Prohlašuji:

Práci s názvem *Návrh koncepce vozidla MUV s bateriovým pohonem a solárním nabíjením* 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 14. 5. 2023

Dominik Řihák, v. r.

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce, Ing. Jakubu Vágnerovi, Ph.D., jakož i akademickým pracovníkům z Katedry elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě a Ing. Michalu Řihákovi za jejich ochotu a vstřícnost při konzultaci problematiky spojené s vypracováním této práce. Děkuji rovněž zaměstnancům Správy železnic, Oblastního ředitelství Ostrava, a akciové společnosti CZ LOKO za poskytnutí důležitých dat a informací.

## **ANOTACE**

Bakalářská práce se zabývá návrhem koncepce lehkého bateriového vozidla pro údržbu tratí s využitím již existujících konstrukčních řešení z vozidla MUV 75 výrobce CZ LOKO, a. s. Nejdříve je uvedena rešerše již existujících kolejových a silničních vozidel s bateriovým pohonem obdobného výkonu. Dále je provedena rešerše jednotlivých typů elektromotorů a baterií vhodných pro pohon vozidla. Práce řeší také analýzu energetických požadavků, které by měla soustava splňovat, a jsou okomentovány možnosti využití solárního dobíjení.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

baterie, solární nabíjení, kolejové vozidlo, MUV 75

## **TITLE**

Concept design of a MUV vehicle with battery drive and solar charging

## **ABSTRACT**

The bachelor thesis deals with the design of the concept of a light battery vehicle for track maintenance using existing design solutions from the MUV 75 vehicle manufactured by CZ LOKO, a. s. First, a search of already existing rail and road vehicles with battery drive is presented. Furthermore, a search is carried out for individual types of electric motors and batteries suitable for the vehicle. The thesis also deals with the analysis of the energy requirements and the possibilities of using solar charging.

## **KEYWORDS**

battery, solar charging, railway vehicle, MUV 75

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod .....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Popis vozidla MUV 75 .....</b>	<b>10</b>
2.1	Všeobecná charakteristika .....	10
2.2	Technický popis vozidla .....	12
<b>3</b>	<b>Rešerše lehkých vozidel s elektrickým pohonem .....</b>	<b>14</b>
3.1	Kolejová vozidla .....	14
3.1.1	Experimentální vozidlo DFJP .....	14
3.1.2	Akumulátorová lokomotiva řady A219.0 .....	17
3.2	Silniční vozidla .....	19
3.2.1	Bagr CAT (PON) 320 Z-line.....	19
3.2.2	Komunální vozidlo ENVIEL .....	20
<b>4</b>	<b>Řešení koncepce pojezdu.....</b>	<b>22</b>
4.1	Současná koncepce pojezdu vozidla MUV 75 .....	22
4.2	Návrh koncepce pojezdu pro bateriové vozidlo .....	22
4.2.1	Využití stejnosměrných sériových motorů.....	24
4.2.2	Využití asynchronních motorů.....	25
4.2.3	Využití synchronních motorů s permanentními magnety .....	26
4.2.4	Vzájemné porovnání motorů.....	28
4.2.5	Výběr vhodného elektromotoru .....	28
<b>5</b>	<b>Energetická bilance vozidla .....</b>	<b>31</b>
5.1	Výpočet spotřeby energie z teoretického modelu.....	31
5.1.1	Stanovení statické spotřeby energie .....	31
5.1.2	Stanovení spotřeby trakční energie .....	34
5.1.3	Modelové provozní dny .....	35
5.2	Výpočet spotřeby energie z údajů o provozu MUV 75 .....	39
5.3	Požadavky na zdrojovou soustavu.....	40
5.3.1	Vyhodnocení vypočtených hodnot.....	40
5.3.2	Vytýčení požadavků.....	43
<b>6</b>	<b>Výběr trakční baterie .....</b>	<b>45</b>
6.1	Přehled nepoužívanějších bateriových technologií .....	45
6.1.1	Technologie LTO – Li-ion.....	45
6.1.2	Technologie LFP Li-ion.....	46
6.1.3	Technologie NMC Li-ion.....	46
6.2	Výběr vhodné baterie.....	47
<b>7</b>	<b>Dobíjení bateriového vozidla .....</b>	<b>49</b>

7.1	Dobíjení z veřejné distribuční sítě .....	49
7.2	Solární dobíjení.....	50
7.2.1	Instalace solárních panelů přímo na vozidlo.....	50
7.2.2	Vybudování stacionární fotovoltaické dobíjecí stanice .....	51
<b>8</b>	<b>Koncepční uspořádání vozidla.....</b>	<b>54</b>
8.1	Definice souřadného systému .....	54
8.2	Určení těžiště původního vozidla .....	54
8.3	Určení těžiště bateriového vozidla.....	55
<b>9</b>	<b>Závěrečné zhodnocení .....</b>	<b>59</b>
	<b>Literatura .....</b>	<b>60</b>
	<b>Seznam obrázků.....</b>	<b>63</b>
	<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>64</b>
	<b>Seznam příloh.....</b>	<b>65</b>



# 1 Úvod

Současná světová ekologická, ale i ekonomická situace vyžaduje důraz na kritické myšlení v oblasti hospodaření s energiemi. A to zejména v dopravě, o které je všeobecně známo, že je napříč odvětvími lidské činnosti jedním z největších spotřebitelů fosilních paliv.

V hromadné silniční dopravě není používání elektrické energie pro trakční pohony žádnou novinkou. Řada měst v České republice používá v rámci svých systémů městské hromadné dopravy trolejbusy již několik desetiletí. Novodobým trendem, kterému dal možnost vzniknout vědeckotechnický pokrok v oblasti elektrických pohonů, je vedení linek s využitím parciálních trolejbusů, tedy vozidel, která jsou primárně určena pro provoz pod liniíovou elektrifikací, ale díky zástavbě trakční baterie je jim umožněna jízda i mimo trolejbusové tratě. Toto řešení tak umožňuje realizovat dopravní obslužnost i v okrajových částech měst bezemisními vozidly bez nutnosti nákladné výstavby pevného trakčního zařízení. Běžným konstrukčním řešením jsou však už dnes také elektrobusy, tedy vozidla hromadné dopravy, která pro svůj pohon používají elektromotory napájené pouze z baterií, které se dobíjí většinou během stání vozidla v obrátových stanicích, případně během odstavení ve vozovně.

Odvětvím, ve kterém má využití spalovacích motorů silnou tradici, je individuální silniční doprava. I přes to však elektromobilita v posledních letech velmi významnou měrou ovlivňuje i tuto oblast. Nejen v České republice se stalo již zcela běžným setkání s osobním automobilem poháněným bateriemi, roste i počet nabíjecích míst pro tato vozidla.

Železniční doprava naproti tomu využívá sílu elektrické energie již přes 100 let. V České republice vznikla první elektrifikovaná konvenční železniční trať v roce 1903 – tedy v době, kdy se zdálo jakékoliv budoucí nahrazení parní trakce jen vskutku velmi těžko představitelným. Historie však byla svědkem nemalého snažení o hlubší implementaci elektrické trakce do železniční dopravy, které na území tehdejšího Československa vyústilo na přechodu do druhé poloviny dvacátého století v postupnou elektrifikaci železniční sítě, přičemž dnes je již nepředstavitelné, že by se vlaky na páteřních linkách, mezinárodních železničních koridorech nebo vysokorychlostních tratích měly obejít bez hnacích vozidel elektrické trakce a elektrických jednotek. Řada přepravních výkonů však doposud zůstává závislá na využití vozidel se spalovacími motory. Jedná se mimo jiné o vozidla traťového hospodářství určená pro údržbu a opravy infrastruktury.

Cílem této práce je zmapovat již existující konstrukční řešení lehkých vozidel s elektrickým pohonem majících obdobné parametry jako vozidlo MUV 75. S využitím těchto poznatků pak bude po sestavení energetické bilance pro různé pracovní režimy tohoto vozidla přikročeno k návrhu parametrů bateriového pohonu včetně prověření možnosti solárního dobíjení.

## 2 Popis vozidla MUV 75

### 2.1 Všeobecná charakteristika

Vozidlo MUV 75 je lehký univerzální vozík nezávislé trakce určený k přepravě osob a materiálu zejména pro potřeby odvětví správy a údržby tratí. [1]



**Obr. 1: Vozidlo MUV 75 společně s přívěsným vozíkem. Zde v konfiguraci s hydraulickou rukou a určením pro provoz na konvenčních drahách. Fotografie: autor práce**

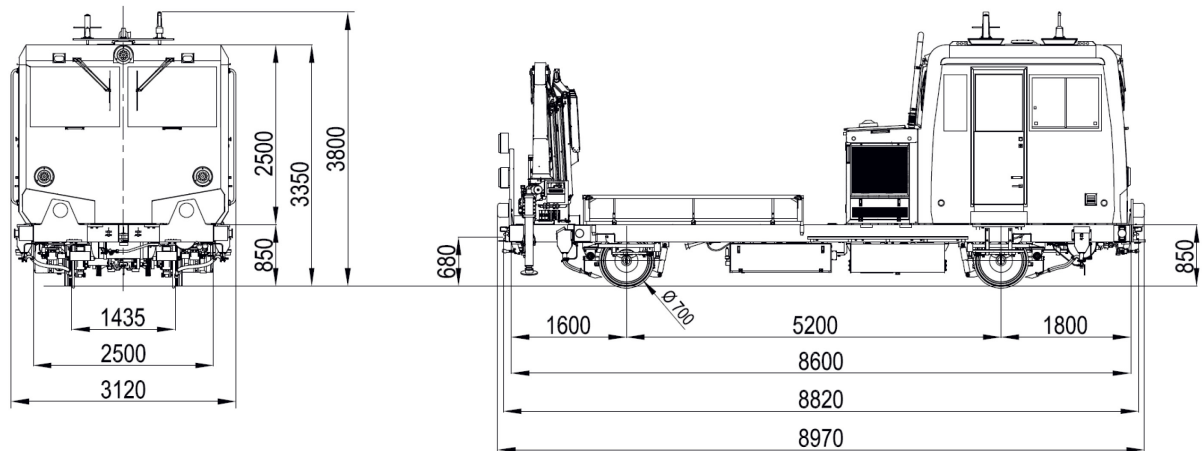
Vozidlo bylo vyvinuto českou akciovou společností CZ LOKO v návaznosti na typ MUV 74. Vývoj byl motivován potřebou náhrady konstrukčně i morálně zastaralých vozidel MUV 69 používaných na území bývalého Československa už od 60. let 20. století. Vozidlo je řešeno jako novostavba a jeho výroba byla zahájena v roce 2017. V současné době je největším provozovatelem těchto vozidel na území České republiky státní organizace Správa železnic. [2]



**Obr. 2: Vozidlo MUV 69.1 z roku 1983 vyfotografováno v roce 2022 během odstavení mezi provozními výkony. Fotografie: autor práce**

Vozidlo MUV 75 je konstruováno pro provoz na konvenčních tratích o rozchodu 1435 mm, v upravených verzích však slouží i na drahách metra. K vozidlu lze připojit až 3 přívěsné vozíky typu PV nebo PVK. Vozidlo je výrobcem řešeno jako stavebnicové, tedy na základě požadavků zákazníka umožňuje zástavbu téměř libovolné mechanizace, například hydraulického ramene pro zvedání břemen, kosícího zařízení nebo zařízení pro postřik tratí. [1]

## 2.2 Technický popis vozidla



Obr. 3: Typový výkres vozidla MUV 75. Převzato z [1].

Vozidlo MUV 75 je dvounápravové, přičemž obě nápravy jsou hnací. Přenos výkonu je řešen hydrostaticky. Vedení dvojkolí je provedeno pomocí kyvných ramen, které svými čepy zajišťují přenos tažných sil mezi skříní a dvojkolími. Všechna kola jsou brzděna pneumatickou kotoučovou brzdou automobilového typu. Snižovat okamžitou rychlost vozidla je však možno také brzdícím účinkem hydromotorů. [1]

Vozidlo má jednu kabinu obsluhy situovanou excentricky v přední části. V kabině jsou umístěny elektrické rozvaděče a 2 ovládací pulty pro strojvedoucího pro řízení vozidla oběma směry. Součástí kabiny jsou i lavice pro 6 členů osádky vozidla, která zde má k dispozici i odkládací prostor. Kabina je vytápěna kalorifery odpadním teplem od spalovacího motoru. V případě potřeby je možné ji vytápět i nezávislým teplovodním agregátem, do jehož okruhu je zapojen i předehřev spalovacího motoru. Pro zvýšení tepelné pohody zejména v letních měsících je kabina vybavena klimatizací. Vozidlo je vybaveno radiostanicí systému GSM-R a je uzpůsobeno pro instalaci vlakového zabezpečovače ETCS. Potřebné antény jsou umístěny na střeše kabiny. [1]

Na kabinu obsluhy navazuje snížený přístavek, ve kterém je umístěn kompresor a spalovací motor společně se dvěma čerpadly hydraulických okruhů, přičemž jedno je určeno pro trakci a druhé pro pohon mechanizace. Ve střední části vozidla je nákladní prostor se sklopnými nízkostěnnými bočnicemi, který umožňuje přepravu materiálu. Pod hlavním rámem jsou zavěšeny zásobníky písku, palivová nádrž a skříň bloku pneumatické výstroje. [1]

Nejčastějším mechanizačním vybavením vozidla je hydraulické rameno pro zvedání břemen, jež je zastavěno na zadní čelo vozidla.

Tabulka 1: Souhrnný přehled základních charakteristik vozidla MUV 75 [1]

Délka přes ochranné prvky ve výšce nárazníků	8 970 mm
Uspořádání pojezdu	Bo
Maximální rychlost	75 km/h
Hmotnost prázdného vozidla	13,5 t
Hmotnost loženého vozidla	18,5 t
Zatížení přední nápravy při prázdném vozidle:	7 t
Zatížení zadní nápravy při prázdném vozidle:	6,5 t
Typ spalovacího motoru	vznětový čtyřválec Caterpillar C4.4
Výkon spalovacího motoru	129,5 kW
Objem naftové nádrže	300 l
Spotřeba nafty při volnoběhu	1,5 l/h
Přenos výkonu	hydrostatický
Typ hydromotorů	PARKER V14-160
Výkon trakčních hydromotorů	2 x 45 kW
Maximální tažná síla	16,6 kN
Napětí palubní sítě (DC)	24 V
Kapacita vozidlových akumulátorů	180 Ah

## **3 Rešerše lehkých vozidel s elektrickým pohonem**

Před samotným návrhem konstrukčního řešení přestavby vozidla MUV 75 na bateriový pohon je vhodné sestavit rešerši již existujících konceptů bateriových vozidel, která může být zásadním vodítkem pro výběr a návrh jednotlivých řešení. Z údajů, které uvádí druhá část této práce, jsou zřejmé jeho základní charakteristiky. V rámci rešerše je žádoucí se zaměřit na podobná vozidla, což je v případě vozidla MUV 75 poměrně obtížný úkol – v České republice doposud nebylo vyvinuto žádné lehké vozidlo pro údržbu železniční infrastruktury s jiným pohonem než spalovacím motorem. Stejně tak ani v sousedních zemích není tento koncept nijak významně rozvinutý. Proto nezbyvá než porovnávat a prozkoumávat vozidla pro jiná určení, která budou mít alespoň některé parametry příbuzné, případně se v rámci rešerše zaměřit na vozidla silniční.

### **3.1 Kolejová vozidla**

#### **3.1.1 Experimentální vozidlo DFJP**

Akademičtí pracovníci Katedry elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě Dopravní fakulty Jana Pernera Univerzity Pardubice sestavili vozidlo pro potřeby vývoje a testování řídicích algoritmů pohonu tramvaje Škoda 15T. Probíhá na něm také energetický výzkum řízení pohonu, akumulátorů a jejich fotovoltaického dobíjení. Vzhledem ke svému určení je zkonstruováno na rozchod 600 mm a je provozováno výhradně na tratích Mladějovské průmyslové dráhy, případně na krátké experimentální dráze Univerzity Pardubice vystavěné v areálu Výukového a výzkumného centra v dopravě v Doubravících. V případě potřeby je schopno přepravit až 6 osob. [3]

Tabulka 2: Základní technické údaje experimentálního vozidla DFJP [3]

Délka skříně vozidla	2 990 mm
Uspořádání pojezdu	Bo'1
Maximální rychlost	16 km/h
Hmotnost vozidla	2,1 t
Typ trakčních motorů	pomaluběžné synchronní buzené permanentními magnety
Výkon trakčních motorů	4 x 1,5 kW
Regulace výkonu	frekvenční řízení SPMSM pulsním měničem
Jmenovité napětí trakčních akumulátorů	96 V
Kapacita trakčních akumulátorů	150 Ah
Typ trakčních akumulátorů	LFP Li-ion

Jak již vyplývá z textu výše, vozidlo není určeno ani schváleno pro provoz na konvenčních normálněrozchodných drahách. Není vybaveno tlakovou brzdou, která je pro železniční vozidla běžná – k brzdění využívá výhradně rekuperační elektrodynamickou brzdu, případně špalíkovou brzdu ovládanou ručně pomocí vřetene. Díky tomu však mimo jiné odpadá problém spotřeby elektrické energie kompresorem (jeho absence je rovněž pozitivní s ohledem na mrtvou hmotnost vozidla) a naopak se díky rekuperaci maximalizuje efektivita provozu. Jeho odlišnost oproti běžným železničním vozidlům je navíc podtrhnuta využitím nezávisle otáčivých kol v hnaném podvozku, která jsou zde zabudována právě kvůli testování pohonu pro tramvaje Škoda 15T. Všechny tyto aspekty atypičnosti však mají své opodstatnění a pro vozidlo jsou přínosem, neboť je stále třeba mít na paměti jeho účel: co nejjednodušší konstrukci, nízkou pořizovací cenu a případnou variabilitu v zástavbě nových zařízení. Zcela zřetelně tedy hmotnostně, výkonově, určením ani jinými parametry nepatří do stejné kategorie jako vozidlo MUV 75. Je však jedním z mála novodobých kolejových vozidel české konstrukce poháněných z akumulátorů, jeho technické řešení je pak nutno hodnotit jako pozoruhodné a inspirativní. Pro zájmový okruh této práce je vozidlo extrémně zajímavé kvůli již zmíněnému dobíjení baterií z fotovoltaických panelů. [3]



Obr. 4: Experimentální kolejové vozidlo DFJP. Přeřzato z [3]

V současné době je vozidlo vybaveno čtyřmi hybridními fotovoltaickými panely Panasonic umístěnými na střeše. Přípojný vůz, který je s experimentálním vozidlem možno provozovat v soupravě, má střechu pokrytu čtyřmi amorfními panely SolarFrontier, které jsou rovněž zapojeny do nabíjecího okruhu experimentálního vozidla. [3]

Tabulka 3: Parametry solárních panelů [3]

Typ	[-]	VBHN240SJ25	SF160F
Výrobce	[-]	Panasonic	SolarFrontier
Maximální výkon	[W]	240	160
Napětí na prázdnó	[V]	52,4	110
Proud nakrátko	[A]	5,85	2,2
Jmenovité napětí	[V]	43,6	84
Jmenovitý proud	[A]	5,51	1,91
Pořizovací cena	[Kč/ks]	19 920	4 700



Koncept dobíjení akumulátorů pomocí fotovoltaických panelů instalovaných přímo na tomto vozidle byl inspirací pro stanovení úkolu prověření možností a smysluplnosti zástavby solárních panelů i na vozidlo MUV 75 v rámci této práce. Blíže je tedy tato problematika rozebírána v kapitole 7.2.

### 3.1.2 Akumulátorová lokomotiva řady A219.0

Lokomotiva A219.0 z produkce závodů ČKD vznikla na počátku 90. let minulého století. Její vývoj byl motivován poptávkou rakouského železničního trhu na emisně šetrnou posunovací lokomotivu nezávislé trakce, jejíž provoz by značně redukoval úroveň nejen emisí spalin, ale také hluku v blízkosti železničních stanic nejen ve velkých aglomeracích. Při vývoji byla použita totožná mechanická koncepce jako u dieselelektrických lokomotiv tehdejší řady T238.0 (dnes řada 704). Jednotlivé řady se tak od sebe navzájem vzhledově prakticky neliší, na první pohled je lokomotiva A219.0 odlišná pouze brzdovým odporníkem instalovaným na střeše. [4]



Obr. 5: Lokomotiva A219.001. Autor fotografie: Bc. Rostislav Kolmačka, DiS.

Jelikož v době konstrukce lokomotivy měly závody ČKD již bohaté zkušenosti s aplikací polovodičů v trakčních obvodech zejména u tramvají, byly i její obvody regulace sestaveny z těchto součástí. Plně automatizovaný řídicí systém byl mikroprocesorový a umožňoval mimo jiné velmi hospodárné a k bateriím šetrné řízení, včetně rekuperačního brzdění do akumulátorů – brzdový odporník se do obvodů zapojoval jen tehdy, přesáhnul-li požadavek strojvedoucího na brzdový účinek možnosti rekuperace energie do akumulátorů. [4]

Lokomotiva byla vybavena také standardní samočinnou tlakovou brzdou s brzdovými špalíky. Zásoba stlačeného vzduchu, který dodával kompresor 3 DSK 75, byla uložena v jímkách o objemu 400 litrů. Spotřeba vzduchu však byla díky již zmíněné elektrodynamické

brzdě minimální a znamenala rovněž i minimální opotřebení brzdových špalíků, což se promítlo ve výrazně nižších nákladech na údržbu. [4]

Tabulka 4: Základní technické údaje lokomotivy řady A219.0 [4]

Délka přes nárazníky	7 540 mm
Uspořádání pojezdu	Bo
Maximální rychlost	60 km/h
Hmotnost vozidla	40 t
Typ trakčních motorů	stejnoseměrné sériové
Výkon trakčních motorů	115 kW
Regulace výkonu	pulsním měničem s GTO tyristory
Jmenovité napětí trakčních akumulátorů	640 V
Kapacita trakčních akumulátorů	300 Ah
Typ trakčních akumulátorů	Pb

Lokomotiva disponuje dvěma bateriemi. Pomocná baterie VARTA 24V–3 PzS 165 o kapacitě 150 Ah, která je určena pro osvětlení lokomotivy, napájení řídicího systému a podobně, je umístěna společně se vzduchovým panelem a dalšími zařízeními v krátké kapotě. Prostor pod zadní (delší) kapotou lokomotivy je z velké části vyplněn trakčními bateriemi VARTA 8x80V–3 PzS 300, která sestává z osmi článků, z nichž je každý uložen ve vlastní vaně, zabraňující případnému úniku elektrolytu. Bezúdržbová trakční akumulátorová baterie je olověná s trubičkovými elektrodami a zařízením zajišťujícím automatické centrální doplňování vody přes jedinou přípojku k vnějšímu zdroji destilované vody. Jmenovité napětí baterie je 640 V, jmenovitá kapacita 300 Ah a při poměrně nízké hmotnosti 7860 kg disponuje vcelku vysokou hodnotou měrné energie – 24,4 kWh/t. [4]

Součástí elektrické výbavy vozidla je i statický dobíječ trakční baterie s kabelem, pomocí kterého lze trakční baterii lokomotivy kdekoli za klidu dobít z veřejné sítě 3x 400 V / 50 Hz (v závislosti na dimenzování zásuvky lze omezit nabíjecí proud na 32 nebo 63 A). Také proces nabíjení je řízen trakčním pulsním měničem a probíhá plně automatizovaně. [4]

Lokomotiva se dočkala v provozu velmi pozitivních ohlasů a úkoly v rámci svého výrobního určení, tedy středně těžkého posunu, plnila takřka dokonale. Je až těžko uvěřitelné, že v rámci posunu byla i plnohodnotnou provozní náhradou „středně velkých“ lokomotiv řad 720, 730, 731, 740 a 742. Jedná se tak o jasný signál, že již s technologiemi 90. let minulého

století bylo možné zkonstruovat lokomotivu, která bude ekologicky, ale i ekonomicky v rámci určitých provozních aplikací plně nahrazovat lokomotivy s mohutnými spalovacími motory. Bohužel by se však dalo říci, že tehdejší železniční trh nebyl na takovýto pokrok připraven. Strach z určité nejistoty při stanovení dojezdu a další faktory vyplývající z odlišností bateriového pohonu oproti standardní koncepci pohonu spalovacím morem převládly nad racionálními a zkušebními provozem podloženými argumenty, a tak zůstala lokomotivní řada A219.0 zastoupená pouze jediným prototypem. [4]

## **3.2 Silniční vozidla**

### **3.2.1 Bagr CAT (PON) 320 Z-line**

Norská společnost Pon Equipment, která je součástí koncernu Caterpillar, představila v roce 2019 první bateriový bagr na světě pro použití v těžkém průmyslu. Vozidlo vzniklo přestavbou původního úspěšného modelu CAT 323 vybaveného motorem C7.1 ACERT vážícím 1 tunu. Ten byl nahrazen trojicí battery packů Tesla P100D (běžně používaných v automobilech Tesla Model S a Model X) o celkové hmotnosti 3,4 tuny. Ty jsou složeny z Li-ion článků typu 18650. [5] Celkem jsou baterie schopny dodat 300 kWh energie, což vozidlu vystačí na přibližně 5 až 8 hodin provozu dle typu práce a od toho se odvíjející energetické náročnosti. S přihlédnutím k obvyklé délce směny (8 hodin) je to naprosto dostačující. Výrobce navíc deklaruje, že při využití externí nabíječky CCS2 DC je vozidlo schopno provést nabíjecí cyklus z 10% na 80% za méně než hodinu a půl. Tato možnost tedy značně zvyšuje atraktivitu provozu tohoto vozidla, neboť i krátké připojení k nabíjecí stanici během zákonné přestávky na jídlo a oddech pracovníků umožní vozidlu prodloužit svoji disponibilitu k provozu o nezanedbatelný čas. Dobíječi integrovanému ve vozidle, který vyžaduje pouze připojení k běžné síti 3x 400 V / 50 Hz, pak plné nabití zabere 4 až 6 hodin. Při jeho použití výrobce pro názornost uvádí, že hodina nabíjení odpovídá hodině práce. [6]



Obr. 6: Bateriový bagr CAT 320 Z-line. Převzato z [7].

Za zmínku jistě stojí i technické řešení koncepce pojezdu vozidla. Původní pohon pásů pomocí hydromotorů, který je pro pracovní vozidla používaná ve stavebním průmyslu naprosto typický, byl inovován výměnou hydromotorů za synchronní elektromotory s permanentními magnety o výkonu 120 kW s nominálním krouticím momentem 750 Nm. [8]

### 3.2.2 Komunální vozidlo ENVIEL

V České republice je řada menších firem, které se zabývají produkcí drobných užitkových vozidel určených pro celoroční využití ke správě parků, údržbě zeleně, úklidu, pracím na staveništi nebo správě výrobních areálů. Mezi ně patří i zlínská firma ENVIEL Systems s.r.o., jejichž výrobní portfolio nabízí koncept jediného vozidla, který však díky stavebnicovému řešení nabízí multifunkční využití. [9]

Tabulka 5: Základní technické údaje komunálního vozidla ENVIEL [9]

Délka vozidla	4 650 mm
Uspořádání podvozku	4x4
Maximální rychlost	100 km/h
Hmotnost vozidla	3,5 t
Typ trakčního motoru	synchronní s permanentními magnety
Výkon trakčního motoru	72 kW
Regulace výkonu	frekvenční řízení SPMSM pulsním měničem
Jmenovité napětí trakčních akumulátorů	650 V
Kapacita trakčních akumulátorů	60 kWh
Typ trakčních akumulátorů	LiFePo

Vozidlo je schopno přepravit až 1,5 t nákladu a celkem 3 osoby v kabině řidiče. Synchronní motor v pojezdu je schopen krátkodobě pracovat se špičkovým výkonem 110 kW při vyvinutí krouticího momentu o velikosti 300 Nm. Motor je osazen redukční převodovkou pro snížení výstupních otáček a spojen se samostatnou 4x4 rozvodovkou s možností další redukce. Pro zajímavost je možné zmínit, že trakční baterie tvoří zátěž o hmotnosti 800 kg. [9]

## 4 Řešení koncepce pojezdu

### 4.1 Současná koncepce pojezdu vozidla MUV 75

Pojezd vozidla je tvořen dvěma hnacími nápravami, na kterých jsou nalisována celistvá kola o jmenovitém průměru 700 mm. Nápravy jsou prostřednictvím valivých ložisek uloženy do kyvných ramen. Kyvná ramena jsou do hlavního rámu vozidla uložena pomocí čepů. Vypružení kyvných ramen vůči hlavnímu rámu je provedeno pomocí vinutých pružin. Paralelně s pružinami jsou zapojeny hydraulické tlumiče kmitů. Podélné síly jsou přenášeny přes čepy v kyvných ramenech. [1]

Na koncích náprav jsou nasazeny brzdové kotouče s vnitřním chlazením. Na každé dvojkolí je asymetricky od osy vozidla pomocí valivých ložisek uložena jednostupňová nápravová převodovka s ozubeným převodem. Převodový poměr je 66:13. Samotný pohon vozidla zajišťují hydromotory, připojené k nápravovým převodovkám. [1]

Na skříni nápravové převodovky je navařeno oko na zavěšení převodovky do rámu vozidla pomocí čepu a pryžových podložek. Závěs pružně zachycuje klopný moment hydromotoru v obou směrech jízdy a současně přenáší část hmotnosti nápravové převodovky včetně hydromotoru. Reverzace směru jízdy je zajištěna reverzací směru průtoku oleje od hydrogenerátoru k hydromotoru. [1]

Zdrojem tlakové kapaliny je sestava dvou hydrogenerátorů, které jsou umístěny na společné výstupní hřídeli ze spalovacího motoru. Prvním z nich je hydrogenerátor pojezdu Parker. Jedná se o regulační axiální pístové čerpadlo s proporčním řízením tlaku. Tento hydrogenerátor je přes přírubu trvale spojen se vznětovým spalovacím motorem Caterpillar. Čerpadlo pohání regulační hydromotory pohonu náprav. Smysl otáčení je řízen přivedením napětí na příslušné cívky hydraulického rozváděče. Otáčky hydromotorů nejsou závislé na otáčkách spalovacího motoru. Druhý hydrogenerátor je dvojité axiální pístové čerpadlo Parker. Slouží k pohonu hydraulického nakládacího jeřábu, napájení aretace vypružení zadní nápravy a pro vyklápění přívěsných vozíků PVK. [1]

### 4.2 Návrh koncepce pojezdu pro bateriové vozidlo

Požadavky pro pojezd bateriového vozidla jsou jasně stanoveny v následujících bodech:

- umožnit použití stávající nápravové převodovky;
- zachovat maximální rychlost vozidla 75 km/h;
- umožnit dosažení rychlosti o 10% vyšší, než je rychlost maximální (kvůli technicko-bezpečnostní zkoušce);
- umožnit rekuperační brzdění a co neúčinnější získávání energie z něj.

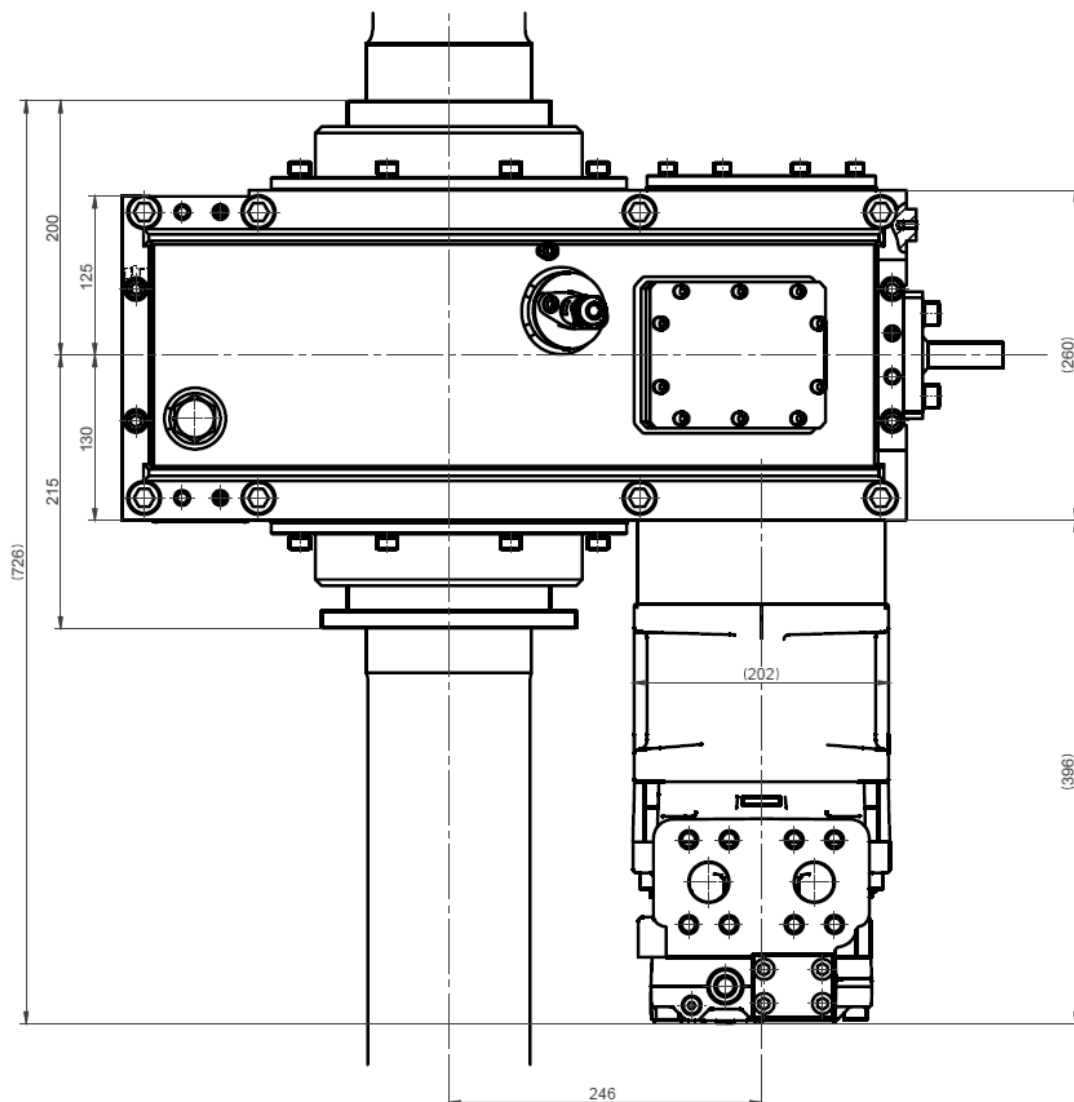
Uvedení posledního bodu se sice může zdát svým způsobem zavádějící, jasně se však vymezuje vůči variantě, která by byla konstrukčně nejjednodušší – tedy pouhému nahrazení spalovacího motoru elektromotorem při zachování hydrostatického přenosu výkonu.

Rychlostní požadavky musí pojezd nového vozidla splňovat jak při nových kolech, tak při kolech ojetých na maximální dovolenou mez. Z této skutečnosti společně s použitím totožné nápravové převodovky vyplývá požadavek na provozní rozsah otáček:

**Tabulka 6: Stanovení požadovaného rozsahu otáček trakčního motoru**

	<b>Dvojkolí</b>	
	<b>nové</b>	<b>opotřebené</b>
Průměr kola [mm]	700	660
Obvod kola [mm]	2 199	2 073
Maximální dovolená rychlost [km/h]		75
Zkušební rychlost při TBZ [km/h]		83
Otáčky kola při zkušební rychlosti [ $\text{min}^{-1}$ ]	625	663
Převodový poměr nápravové převodovky [-]		5,177
Otáčky trakčního motoru [ $\text{min}^{-1}$ ]	3 237	3 433

Požadavek na využití stávající nápravové převodovky rovněž znamená nutnost dodržení rozměrů původního zástavbového prostoru. Jak napovídá Obr. 7, znamená to výběr elektrického stroje o průměru nejvýše 360 mm a délky maximálně 785 mm. Při vyšší hmotnosti nového motoru pak bude potřeba ověřit pevnost konstrukce převodovky, aby bylo prokázáno, že může být motor stále umístěn jako přírubový přímo na převodovce.

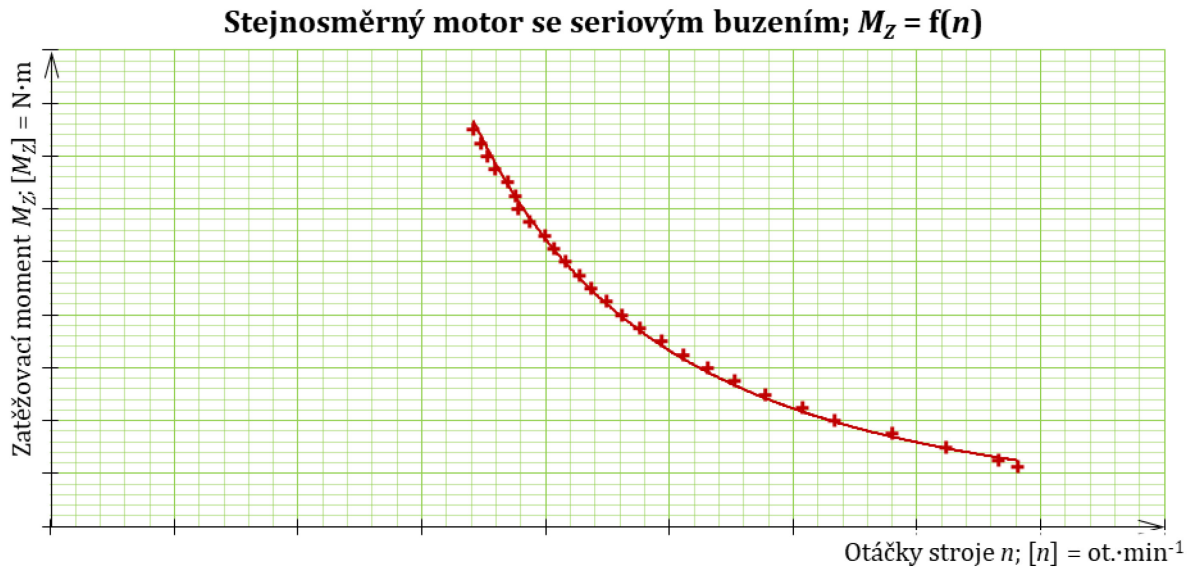


Obr. 7: Detail zástavby hydromotoru u nápravové převodovky. Převzato z [1]

#### 4.2.1 Využití stejnosměrných sériových motorů

Stejnosměrné motory se dříve v trakčních pohonech železničních vozidel hojně využívaly díky své jednoduché konstrukci a možnosti snadné (obvykle odporové) regulace bez nutnosti aplikace polovodičových prvků. Další přínosnou vlastností je tvar momentově-otáčkové charakteristiky těchto strojů, který je velmi blízký trakční hyperbole.





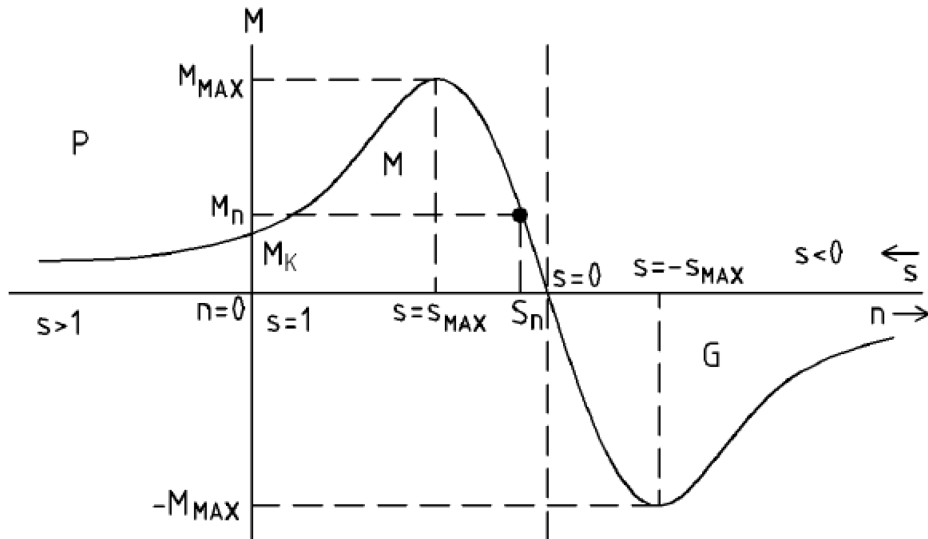
**Obr. 8: Momentová charakteristika stejnosměrného motoru se sériovým buzením. Převzato z [10]**

Stejnoseměrné sériové motory výrobci vozidel dodnes nabízejí jako levnou alternativu například pro vlečková vozidla, neboť pořizovací náklady jsou oproti ostatním typům elektrických točivých strojů výrazně nižší. To je však vykoupeno jejich vysokou náročností údržby, kterou vyžaduje zejména komutátor. Tento typ motoru je také charakterizován vysokou hmotností a větší délkou stroje. Vyžaduje navíc poměrně výkonné chlazení, které je nejčastěji řešeno proudem vzduchu dodávaným externími ventilátory. [10]

#### 4.2.2 Využití asynchronních motorů

V pohonech v rámci průmyslových aplikací jsou asynchronní motory díky své jednoduchosti a spolehlivosti nejrozšířenějšími stroji. Svou pozici v trakčních pohonech na železnici si ale kvůli poměrně složité otáčkové regulaci v tuzemských podmínkách začaly získávat až v závěru 20. století. Dnes však již naprosto drtivá většina moderních elektrických lokomotiv a jednotek, které opouštějí brány výrobních závodů, je vybavována těmito stroji.

V rámci průmyslových pohonů často motory nijak regulovány nejsou – například u pohonu okružní pily to ani není potřebné. Pro plynulejší rozběh se používá jednoduché změny zapojení statorového vinutí „hvězda/trojúhelník“. V trakčních aplikacích je však takový přístup nemyslitelný. K regulaci se tedy využívají frekvenční měniče, neboť otáčky stroje jsou v ustáleném stavu přímo úměrné napájecí frekvenci. Použití měničů umožňuje vhodně využívat části momentově-otáčkové charakteristiky tak, aby byla co nejvíce napodobena trakční hyperbola. Na stranu druhou znamená instalace měniče značné finanční vícenáklady a přináší s sebou i potřebu věnovat úsilí řešení otázky prostorového uspořádání v rámci zástavby.



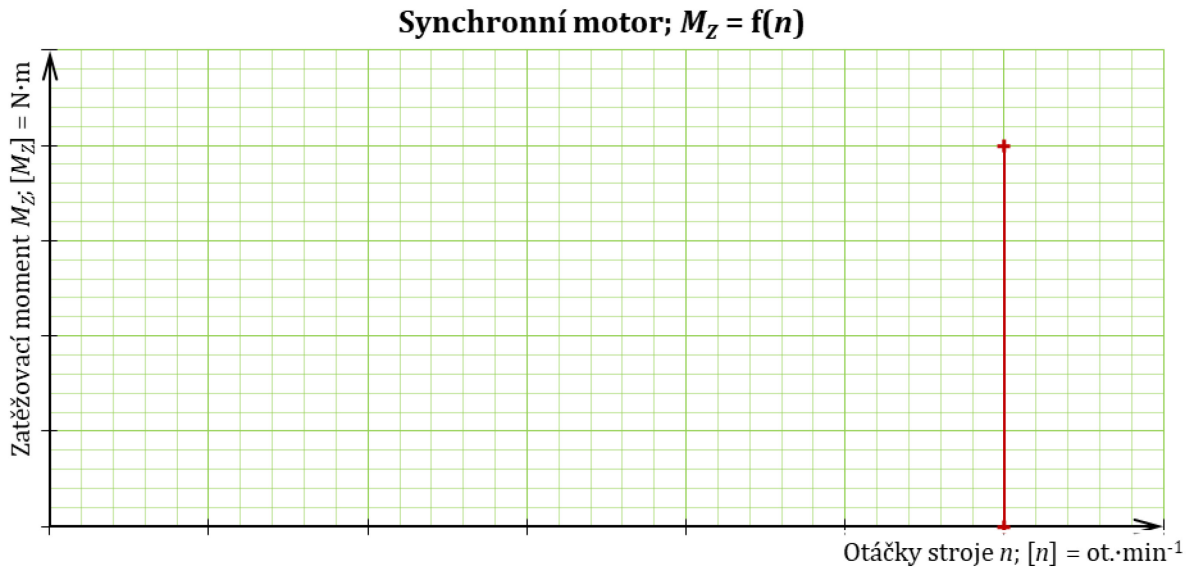
Obr. 9: Mechanická charakteristika asynchronního elektromotoru. Převzato z [11].

Chlazení motorů je řešeno vzduchem, většina strojů jej má ošetřeno pomocí ventilátoru umístěného na společné hřídeli rotoru. V náročnějších aplikacích se lze setkat s řešením, kde je ventilátor poháněn externě a jeho otáčky jsou tedy nezávislé na otáčkách rotoru – z pravidla je pak ventilátor řízen na základě signálu z teplotního čidla.

### 4.2.3 Využití synchronních motorů s permanentními magnety

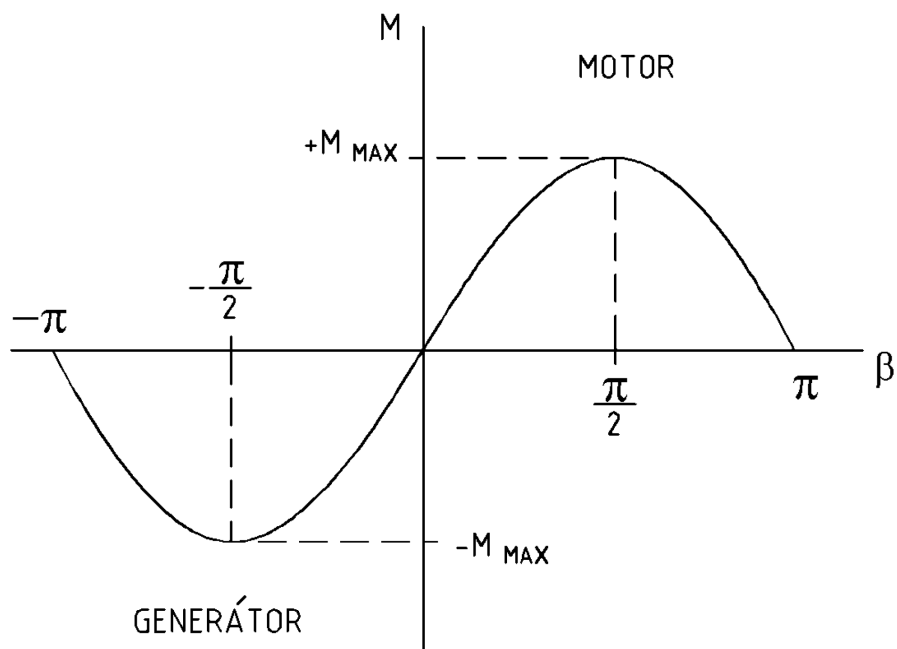
Synchronní motory jsou pro trakční pohony u železničních vozidel poměrně netradiční a na železniční síti České republiky bychom se dokonce se žádným vozidlem vybaveným těmito motory nesetkali. Opačným případem jsou však dráhy tramvajové, kde jsou synchronní stroje použity např. v trakčním pohonu pražské tramvaje Škoda 15T. Vcelku běžně pak používá tyto stroje i odvětví automotive, jak je patrné i z kapitoly 3.2.

Problematická je u těchto strojů zejména jejich otáčková regulace, což je pro aplikaci v trakčních pohonech značně nepraktická vlastnost. Otáčky stroje jsou pevně svázány s frekvencí napájecího napětí, proto musí být vždy napájeny z frekvenčního měniče. S výhodou se však synchronní stroje využívají jako generátory v aplikacích, kde je požadován výstup s konstantní frekvencí napětí – typicky je tedy najdeme v roli generátorů v elektrárnách. Pro drážní pohony je rovněž netypické jejich chlazení, které se často provádí kapalinově. To přináší oproti chlazení vzduchem řadu starostí. Nespornou výhodou je však v rámci uzavřeného kapalinového okruhu absence komplikací se zajištěním filtrace (čistoty) dodávaného chladicího média v případě chlazení vzduchem. Kapalinou chlazený motor má obvykle i menší objem. [11]



**Obr. 10: Momentová charakteristika synchronního motoru. Převzato z [10].**

Jak je patrné z Obr. 10, krouticí moment není závislý na otáčkách, neboť tyto jsou pro danou frekvenci napětí konstantní. Pro charakterizování synchronního motoru je tedy vhodné představit závislost krouticího momentu  $M$  na zátěžném úhlu  $\beta$ , který reprezentuje fázový posun mezi fázorem svorkového napětí statorového vinutí a fázorem indukovaného napětí. [11]



**Obr. 11: Závislost krouticího momentu na zátěžném úhlu synchronního stroje. Převzato z [11].**

Oproti asynchronním motorům mají motory synchronní dvakrát až čtyřikrát menší objem, menší hmotnost a moment setrvačnosti. Disponují rovněž předpoklady pro lepší dynamické vlastnosti, lze je tedy použít v rámci pomaluběžných bezpřevodkových pohonů.

Díky absenci Jouleových ztrát v rotoru má synchronní motor oproti asynchronnímu lehce vyšší účinnost (cca o 1% až 4%). [11]

Nevýhodou synchronních strojů je kromě již zmíněné náročné regulace jejich velmi vysoká cena. Ta se odráží zejména od vysoké ceny permanentních magnetů umístěných na statoru, jež jsou vyráběny ze speciálních slitin. V této oblasti je sice možno zvolit méně nákladnou variantu „běžnějších“ magnetů, tím však dojde k nezanedbatelnému zvýšení hmotnosti stroje.

#### 4.2.4 Vzájemné porovnání motorů

Pro možnost objektivnějšího vzájemného porovnání jednotlivých elektromotorů a původního hydromotoru uvedme ještě konkrétní zástupce daných typů a jejich charakteristiky:

Tabulka 7: Porovnání jednotlivých typů pohonných jednotek [10]

Typ [-]	HM	SSM	ASM	PMSM
Výrobce [-]	PARKER	ČKD	Alstom	Alstom
Označení [-]	V14-160	TE023 A01	4 LGA 1420	6 LMS 1052
Výkon [kW]	45	47	150	150
Objem [dm <sup>3</sup> ]	16,2	110	110	88,2
Hmotnost [kg]	68	287	435	330
Hmotnost/výkon [kg/kW]	1,5	6,1	2,9	2,2
Objem/výkon [dm <sup>3</sup> /kW]	0,36	2,34	0,73	0,59

Přestože se nepodařilo dohledat konkrétní motory tak, aby Tabulka 7 ukazovala stroje ze stejné výkonové kategorie, přehled v ní uvedený má vypovídající hodnotu zcela jasnou: a sice že stejnosměrné sériové motory (SSM) disponují při objemu stejném jako motory asynchronní (ASM) pouze přibližně třetinovým výkonem. Synchronní motor s permanentními magnety (PMSM) pak při stejném výkonu jako ASM zaujímá asi o pětinu méně prostoru a je o více než 100 kg lehčí. I přesto ani tento typ elektrického stroje nedosahuje tak příznivého poměru objem / výkon jako hydromotor (HM) instalovaný v původním vozidle MUV 75.

#### 4.2.5 Výběr vhodného elektromotoru

V žádném odvětví lidské činnosti neexistuje technické řešení, které by s sebou přinášelo pouze pozitiva. A tak i výběr vhodného typu elektromotoru pro naši aplikaci bude kompromisem.

Použití hydromotorů v původním pojezdu má svou nespornou výhodu, kterou názorně ukazuje Tabulka 7 – totiž podíl objemu těchto strojů vůči dodávanému výkonu je velmi nízký.

V tomto ohledu není žádný z elektromotorů schopen hydromotoru konkurovat. Je tedy třeba se smířit s tím, že při využití stávajícího prostoru okolo nápravové převodovky bude muset být na místo hydromotoru dosazen elektrický stroj s nižším výkonem.

V rámci snahy o co nejefektivnější využití prostoru se nabízí použití synchronního elektromotoru s permanentními magnety. Výroba těchto strojů je však velmi nákladná a většinou se provádí zakázkově. Proto využití PMSM nebude dále v této práci uvažováno.

Na opačném cenovém pólu stojí stejnosměrný sériový motor. Ten však zcela jasně nepřichází v úvahu kvůli vysokému poměru objem / výkon. Příznivé pořizovací náklady těchto strojů navíc převažují následné náklady na údržbu a nízká spolehlivost.

Logicky se tedy dostáváme k motoru asynchronnímu. Výrobci obecně nabízejí široké spektrum těchto motorů, a tak je možnost poměrně velkého výběru z veřejně dostupných katalogů, bez nutnosti poptávat malosériovou zakázkovou výrobu. [12]

Nejvýhodnější z běžně dostupných a veřejně nabízených asynchronních motorů je stroj Siemens 1LE15031EA63:

**Tabulka 8: Vlastnosti asynchronního stroje Siemens [12]**

Označení	Siemens 1LE15031EA63
Výkon při napájení 60 Hz	33,5 kW
Jmenovité otáčky při 60 Hz	3540 ot/min
Krouticí moment	97 Nm
Třída účinnosti	IE3
Účinnost při plné zátěži	93 %
Průměr stroje	356 mm
Délka stroje	698 mm
Objem stroje	70 dm <sup>3</sup>
Hmotnost	173 kg
Provedení	Zvýšený výkon, standardní provedení

O třídu výkonnější asynchronní motor, který by disponoval výkonem 45 kW a plnohodnotně tak odpovídal hydromotoru PARKER V14–160, bohužel není možné kvůli jeho rozměrům zastavět do stávajícího pojezdu.

***Je tak nutné záležitost uzavřít s tím, že bateriové vozidlo bude v celkovém úhrnu disponovat o 23 kW nižším trakčním výkonem (namísto 90 kW pouze 67 kW).***

Při splnění teplotních podmínek však lze motor krátkodobě přetížit až o 15% s ohledem na oteplení stroje. Vhodné by bylo také doplnění o cizí chlazení.

Pokud by bylo třeba instalovat elektrické stroje s vyšším výkonem, bylo by nutno poptávat zakázkovou výrobu PMSM, případně vypracovat návrh odlišeného koncepčního uspořádání pojezdu, zejména nápravové převodovky. Vybízí se například převzetí pojezdu z některých tramvajových vozidel, jež disponují obdobnými parametry.

## 5 Energetická bilance vozidla

Pro výběr trakční baterie, který popisuje kapitola 6, je nutné znát zejména její požadovanou kapacitu. Ta závisí na energetické bilanci vozidla, tedy množství energie, které odeberou spotřebiče umístěné na vozidle během provozu mezi nabíjecími cykly.

Analýza energetické bilance bude v práci provedena 2 způsoby: výpočty v rámci teoretického modelu s možným využitím simulačních programů a zpracováním dat o využití a spotřebě pohonných hmot z aktuálně provozovaných vozidel MUV 75 se spalovacím motorem.

### 5.1 Výpočet spotřeby energie z teoretického modelu

Cílem této části je provést výpočet energie, kterou by měl disponovat akumulátor v bateriovém vozidle, metodou sestavení teoretického modelu. Ten bude pracovat se znalostí příkonu jednotlivých spotřebičů umístěných na vozidle a s hodnotou energie potřebné pro vykonání trakční práce na určité trati.

#### 5.1.1 Stanovení statické spotřeby energie

Podstatnou část spotřeby elektrické energie navrhovaného bateriového vozidla tvoří spotřebiče instalované ve vozidle pracující prakticky bez ohledu na to, zda vozidlo stojí, či jede. Hovoříme zde například o vozidlové radiostanici, návěstních světlech či řídicím systému vozidla. Souhrnnou energetickou náročnost tohoto typu spotřebičů označme pracovní jako „statickou“ spotřebu elektrické energie.

#### Rozlišení provozních režimů

Statická spotřeba není v čase zcela neměnná – závisí na okolní teplotě, viditelnosti, ale také na konkrétní činnosti, kterou vozidlo aktuálně vykonává. Nabízí se tedy pracovat s modelem čtyř provozních režimů, které vozidlo v závislosti na druhu pracovního úkolu střídá:

- stání (**S**);
- jízda (**J**);
- práce za stání vozidla (**PS**);
- práce během popojíždění vozidla nízkou rychlostí (**PJ**).

Jak již bylo zmíněno, statická spotřeba bude záviset na okolních podmínkách (zejména teplotě a viditelnosti), a tak budeme navíc rozlišovat, zda činnost vykonávaná v rámci jednotlivých režimů bude probíhat:

- během zimního dne;
- během zimní noci;
- během letního dne;
- během letní noci.

## Výpočet spotřeby pro jednotlivé provozní režimy

Vstupním údajem pro výpočet je přehled spotřebičů umístěných ve vozidle a jejich příkon. Ten pak můžeme vynásobit koeficientem využití, který v sobě bude zohledňovat, kolik procent času z jedné modelové hodiny je daný spotřebič v činnosti a poměrné využití plného výkonu. Demonstrujeme pro názornost tento postup modelově na výpočtu spotřeby v rámci jednotlivých režimů během letního dne. Výpočty pro ostatní případy (letní noc atd.) byly realizovány analogicky a jsou uvedeny jako Příloha A.

**Tabulka 9: Kalkulace statické spotřeby pro letní den**

Spotřebič	Příkon [W]	Popis	Období provozu: LÉTO DEN			
			S	J	PS	PJ
Pracovní osvětlení	600	2 vpředu, 2 vzadu				
Návěstní světla	50	3 x B + 2 x Č (VLAK)	80%	100%		
	40	4 x B (POSUN)	10%		100%	100%
	20	2 x B (OBSAZ HV)	10%			
	120	3 x dálkové				
Osvětlení kabiny	50					
<b>CELKEM osvětlení [Wh]</b>			<b>46</b>	<b>50</b>	<b>40</b>	<b>40</b>
Klimatizace kabiny	2 500		40%	30%	40%	30%
Rozmrazovače oken	320	2 okna ve směru jízdy				
	640	4 okna (celá kabina)				
Teplotní battery management	500		50%	90%	50%	75%
Ohřev sušičky vzduchu	100					
<b>CELKEM teplotní regulace [Wh]</b>			<b>250</b>	<b>450</b>	<b>250</b>	<b>375</b>
Kompresor + sušička	4 000		25%	80%	25%	50%
Chladič oleje jeřábu	8 500				100%	100%
Hydraulická mechanizace	29 000				33%	33%
<b>CELKEM pomocné pohony, mechanizace [Wh]</b>			<b>1 000</b>	<b>3 200</b>	<b>19 070</b>	<b>20 070</b>
Radiostanice	250		100%	100%	100%	100%
Řídicí systém vozidla	220		100%	100%	100%	100%
Měnič 230 V AC	500		50%	100%		
Ostatní spotřeba	150		100%	100%	100%	100%
<b>CELKEM elektronika [Wh]</b>			<b>870</b>	<b>1 120</b>	<b>620</b>	<b>620</b>
<b>CELKEM energie za hodinu [kWh]</b>			<b>3,166</b>	<b>5,570</b>	<b>20,980</b>	<b>21,855</b>

Rozvedme tedy blíže údaje, které uvádí Tabulka 9, po jednotlivých oblastech spotřeby.

### Osvětlení

Za letního dne uvažujeme dobré počasí, bez snížené viditelnosti. Reflektory pracovního osvětlení tedy mohou zůstat po celou dobu zhasnuty, stejně jako dálkové reflektory doplňující návěstní světla. Osvětlení kabiny obsluhy rovněž nebude v provozu. Vozidlo však musí v souvislosti s nařízenými dopravními a návěstními předpisy mít rozsvícená návěstní světla a být vždy označeno patřičnou návěstí. V případě práce se bude jednat vždy o



4 bílá světla, během jízdy bude vozidlo označeno návěstmi začátek a konec vlaku, tedy 3 bílými světly tvořícími trojúhelník na čele a 2 červenými světly na konci (předpokládáme-li, že vozidlo pojede samo, bez připojených dalších vozidel). Během stání bude vozidlo přecházet z jednoho režimu osvětlení do druhého v závislosti na tom, jaká činnost prostoji předcházela a jaká bude následovat.

### **Teplotní regulace**

Započítávání spotřeby rozmrazovačů oken během letního dne zcela logicky odpadá. Obdobně není třeba řešit zamrzání kondenzátu v sušičce vzduchu, tedy ani její ohřev. Klimatizace kabiny však bude obsluze udržovat tepelnou pohodu po celou dobu provozu. Její aktuální příkon ale bude záviset na okolních podmínkách a intenzitě otevírání oken nebo dveří. Měření [13] ukazují, že je střízlivé odhadovat 30 % až 50 % z plného výkonu. Teplotní battery management bude pak s různou intenzitou zajišťovat chlazení baterií (odběr trakční energie z baterií, resp. rekuperace trakční energie zpět do baterií způsobuje jejich ohřívání). Pokud by bylo na vozidle použito pro vytápění tepelné čerpadlo, lze toto odpadní teplo použít pro vytápění kabiny, stejně jako teplo z chladiče hydraulického oleje. Znamená to sice vyšší pořizovací cenu, ale nižší provozní náklady (ušetří se část energie a zvýší dojezd).

### **Pomocné pohony, mechanizace**

Kompresor, který zajišťuje dodávání stlačeného vzduchu do jímek brzdy MUV a připojených tažených vozidel, během stání pouze vyrovná netěsnosti v tomto systému. Za jízdy (či během popojíždění pracovní rychlostí) je předpoklad spotřeby vzduchu mnohem větší (byť bateriové vozidlo bude především využívat brzdu rekuperační), proto se bude i kompresor spouštět častěji. Po dobu práce bude v činnosti hydraulická mechanizace (jeřáb, patkovací zařízení) a bude tak třeba chladit hydraulický olej v tomto okruhu. Podobně jako u klimatizace je u těchto spotřebičů velmi nepravděpodobné, že by po celou dobu byla spotřeba v hodnotě jmenovitého výkonu. Odběr energie je realizován zejména při pohybu ramene a tento pohyb neprobíhá nepřetržitě. [14]

### **Elektronika**

Podmínkou pro provozování hnacích vozidel na síti Správy železnic je vybavení hnacího vozidla radiostanicí, která umožňuje provoz daného základního rádiového spojení. Tato musí být v činnosti stále. Obdobně tak řídicí systém vozidla. Měnič na střídavé napětí 230 V slouží obsluze k připojení drobné elektroniky v kabině obsluhy (například nabíjení služebního tabletu či telefonu, přenosných vysílaček, svítlen, baterií do aku-nářadí, atd.). Uvažujme, že během práce budou mít všechna tato zařízení pracovníci u sebe a používat je, nicméně během stání a přeprav, kdy tato zařízení potřebovat nebudou, budou využívat možnosti jejich dobíjení přes měnič.

### 5.1.2 Stanovení spotřeby trakční energie

Pro stanovení spotřeby trakční energie byl využit simulační program Railcalc, který umožňuje provádět trakční výpočty definovaných vlakových souprav v definovaných traťových úsecích. Jízdu vlaku program modeluje jako pohyb tělesa o jednom stupni volnosti podél jízdní dráhy, řešení je tedy založeno na numerické integraci pohybové rovnice vlaku. [15]

Vzhledem k naprosto rozdílnému druhu přenosu výkonu lze očekávat, že nové bateriové vozidlo bude mít oproti původní MUV 75 trakční charakteristiku značně odlišnou. Tato nám však není známá, a tak byla pro účely výpočtu využita trakční charakteristika původního vozidla. Rovněž byly převzaty hodnoty jízdních odporů.

Program Railcalc umožňuje buď přesné zadání parametrů tratí (kilometrické polohy a poloměry oblouků, polohy tunelů, polohy a hodnoty sklonů tratě), nebo zadání zjednodušené, kdy jsou vstupem pouze nadmořské výšky stanic a zastávek. Program pak sám na základě svého algoritmu stanoví hodnoty sklonů jednotlivých traťových úseků. [15] Pro verifikaci metody zjednodušeného zadávání je možné provést jednoduchý pokus – a sice provést výpočet na trati se zadaným zjednodušeným profilem vypočteným z nadmořských výšek a výsledné hodnoty pak porovnat s výpočty provedenými na téže trati se zadaným podrobným profilem:

Tabulka 10: Rozdíly výsledků zjednodušeného a detailního výpočtu trakční energie

Souprava [-]	Zastavení [-]	Spotřeba při zjednodušeném výpočtu [kWh]	Spotřeba při detailním výpočtu [kWh]	Absolutní chyba [kWh]	Relativní chyba [-]	Průměrná rel. chyba [-]
MUV solo	nikde	74,32	80,63	-6,3	7,83%	8,97%
MUV solo	všude	101,03	106,27	-5,2	4,93%	
MUV + PVK	nikde	84,48	98,86	-14,4	14,55%	
MUV + PVK	všude	123,1	134,63	-11,5	8,56%	
MUV + 3xPVK	nikde	119,78	142,68	-22,9	16,05%	
MUV + 3xPVK	všude	173,51	191,99	-18,5	9,63%	

Výpočty, jejichž výsledky souhrnně uvádí Tabulka 10, byly provedeny pro jízdu po 116 km dlouhé trati Olomouc hl. n. – Opava východ. Jedná se o jednu z mála tratí v České republice, které by po právu náležel přívlastek „horská“. Vyskytuje se na ní velké množství oblouků, projíždí několika tunely a v jednotlivých mezistaničních úsecích dochází třeba i vícekrát ke změně sklonu, resp. přechodu ze stoupání do klesání. I přes všechny tyto skutečnosti je pro soupravy tvořené tak malým vozidlem, jako je MUV 75, průměrná relativní chyba ve výpočtu nižší než 10%. Detailní výpočet totiž navíc započítává odpor z oblouku (v zjednodušeném není zahrnut), ale v prezentovaném případě nezapočítává rekuperaci, kterou lze očekávat vyšší než 10%.

Pro úplnost dodejme, že řádky, v nichž je uvedeno „zastavení všude“ prezentují hodnoty výpočtů pro situaci, kdy vlak zastavil ve všech stanicích a zastávkách, přičemž ve

stanici jel navíc na vedlejší kolej. Při zastavování se tak více projeví spotřeba energie na rozjezd a méně se projeví energie potřebná pro jízdní odpory z oblouku. Chyba u výpočtů se zastavováním je nižší. Větší chyby lze také očekávat při větším počtu PVK, což se také prokázalo.

Všechny výpočty spotřebované trakční energie prováděné programem Railcalc, které jsou dále prezentovány v této práci, byly prováděny s následujícími vstupními parametry:

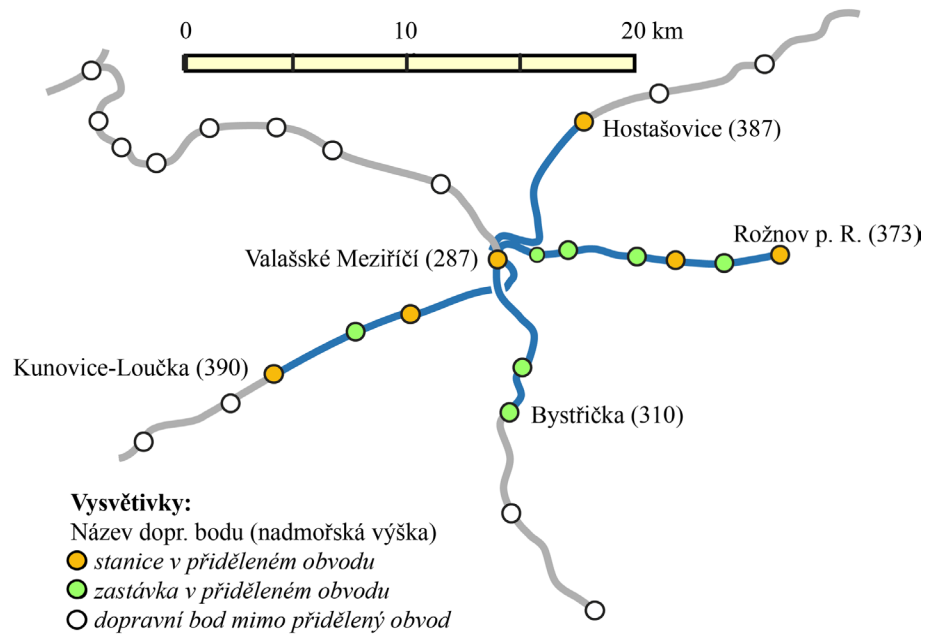
- souprava MUV 75 + 3x přípojný vozík PVK;
- celková hmotnost nákladu 35 t;
- účinnost pohonu 90 %;
- mez adheze 0,3;
- zpomalení na rovině  $0,45 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ ;
- bez jízd výběhem;
- variantně:
  - bez rekuperace,
  - s účinností rekuperace 75 %;
- ve všech stanicích realizováno zastavení a vjezd i odjezd odbočkou.

Zanedbáním rekuperace se vypočtené hodnoty dostávají poměrně silně na stranu bezpečnou, neboť tato dokáže v určitých situacích zajistit návrat až 40 % odevzdané trakční energie.

*Lze tedy konstatovat, že zjednodušená metoda výpočtu je pro případy, kdy není známý přesný profil tratě, funkční a lze ji použít.*

### 5.1.3 Modelové provozní dny

Pro provedení konkrétní kalkulace spotřebované energie bylo třeba sestavit 3 modelové provozní dny. Jedná se o různé varianty smyšleného harmonogramu osmihodinové pracovní směny vozidla vybaveného hydraulickým jeřábem, které je dislokováno v železniční stanici Valašské Meziříčí. V tomto místě je rovněž domovské depo vozidla, tedy zde začínají i končí všechny jeho pracovní směny. Vozidlu je přidělen údržbový obvod, který je znázorněn na Obr. 12. Je z něj patrné i to, že Valašské Meziříčí leží v údolí a všechny tratě z přiděleného obvodu ve směru z Valašského Meziříčí stoupají bez výrazných změn sklonů. Nejedná se o tratě obloukovité a nejsou na nich žádné tunely, použití zjednodušeného výpočtového modelu pro zjištění spotřebované trakční energie tedy bude znamenat ještě menší chybu, než jaká byla popsána v části 5.1.2 této práce.



**Obr. 12: Plánek přiděleného údržbového obvodu. Upraveno z [16].**

Umístění domovské stanice v údolí tak, aby první cesta vozidla po dobití směřovala vždy do stoupání nebo na rovinu, je z hlediska hospodaření s energií velmi strategické. Pokud by totiž vozidlo s čerstvě nabitými bateriemi nejprve vyrazilo na klesající trať, muselo by energii z brzdění přeměňovat v teplo třecí brzdou nebo brzdovým odporákem. Zjednodušeně formulováno – „nebylo by kam rekuperovat“.

Všechny modelové provozní dny začínají o hodinu dříve, než se očekává začátek pracovní směny posádky vozidla. Předpokládá se využití výhodné skutečnosti, že vozidlo je vždy přes noc (v čas odstavení) trvale připojeno na zdroj elektrické energie, ze kterého dobíjí své baterie. Výhoda tkví v tom, že vozidlo může ještě během dobíjení vytopit/vychladit prostory pro obsluhu a baterie, případně může samočinně spustit kompresor a vytvořit zásobu stlačeného vzduchu. Z akumulátorů tak nebude odebírána cenná energie a pracovníci obsluhy budou moci zahájit svou činnost prakticky ihned, bez zbytečných prodlev, navíc v příjemných teplotních podmínkách. Zda tyto úkony proběhnou v hodinovém předstihu či větším anebo menším, je věcí přístupu obsluhy a otázkou podporovaných funkcionalit instalované řídicí jednotky, která řídí systém nabíjení a topení (resp. chlazení) vozidla. Pro naše výpočty to však není směrodatné. Předtopení (předchlazení) sice snižuje energii potřebnou pro topení/chlazení kabiny v provozu, ale pro bezpečný odhad se nepočítá s nocováním v depu.

Prvním úkonem po příchodu posádky je vždy naložení potřebného materiálu ve výchozím bodě (depu). Dále se jednotlivé činnosti napříč modelovými provozními dny liší. V následujících odstavcích je prezentován jejich průběh pouze stručnou formou. Detailní rozpisy jednotlivých provozních dnů jsou uvedeny jako Příloha B až Příloha D. Součástí zjednodušeného rozboru provozních dnů je i tabulka uvádějící souhrnně, jak dlouho bylo vozidlo v kterém režimu provozováno a jaká tomu odpovídá vykonaná práce. Zvláště je pak

uvedena celková spotřeba trakční energie, neboť tato je v rámci všech období provozu neměnná. Je uvedena i spotřeba trakční energie pro případ, že by byla využívána rekuperace. Ta ale v dalších úvahách není pro bezpečnost dimenzování uvažována.

### Provozní den 1

V rámci modelového provozního dne číslo 1 koná vozidlo běžné údržbové práce na dvou místech v přiděleném obvodu. Z Valašského Meziříčí tedy vyrazí do nákladiště-zastávky Bystřička, kde 3 hodiny pracuje. Poté se přesune zpět do Valašského Meziříčí, kde pracuje přibližně další 2,5 hodiny. Na závěr směny přejezd v rámci valašskomeziříčské stanice do svého depa, v něm složí nepotřebný materiál. Tím směna končí.

Tabulka 11: Souhrnný přehled energie spotřebované během provozního dne 1

Období [-]	Režim [-]	Spotřeba za 1 h v režimu [kWh/h]	Výkon [h]	Spotřeba [kWh]	Celková spotřeba [kWh]
<b>ZIMA DEN</b>	S	<b>3,580</b>	3,33	11,93	79
	J	<b>6,016</b>	0,67	4,01	
	PS	<b>15,444</b>	2,67	41,18	
	PJ	<b>16,569</b>	1,33	22,09	
<b>ZIMA NOC</b>	S	<b>3,630</b>	3,33	12,10	82
	J	<b>6,136</b>	0,67	4,09	
	PS	<b>16,049</b>	2,67	42,80	
	PJ	<b>17,169</b>	1,33	22,89	
<b>LÉTO DEN</b>	S	<b>3,166</b>	3,33	10,55	99
	J	<b>5,570</b>	0,67	3,71	
	PS	<b>20,980</b>	2,67	55,95	
	PJ	<b>21,855</b>	1,33	29,14	
<b>LÉTO NOC</b>	S	<b>3,216</b>	3,33	10,72	99
	J	<b>5,690</b>	0,67	3,79	
	PS	<b>20,735</b>	2,67	55,29	
	PJ	<b>21,605</b>	1,33	28,81	
Trakce bez rekuperace				20,11	20
Trakce s rekuperací				13,85	

### Provozní den 2

V rámci modelového provozního dne číslo 2 koná vozidlo inspekční cestu do okrajových stanic přiděleného obvodu, ve kterých plní krátké pracovní úkoly. Z Valašského Meziříčí tedy nejprve přejezd do Rožnova pod Radhoštěm, kde stráví hodinu práci. Poté se přepraví do Kunovic-Loučky, kde bude rovněž hodinu pracovat. Následuje další přeprava, tentokrát do stanice Hostašovice. Odtud vozidlo po hodině práce odjede zpět do Valašského Meziříčí, kde na úplný závěr směny proběhne složení nepotřebného materiálu.

Tabulka 12: Souhrnný přehled energie spotřebované během provozního dne 2

Období [-]	Režim [-]	Spotřeba za 1 h v režimu [kWh/h]	Výkon [h]	Spotřeba [kWh]	Celková spotřeba [kWh]
<b>ZIMA DEN</b>	S	<b>3,580</b>	1,00	3,58	79
	J	<b>6,016</b>	3,50	21,06	
	PS	<b>15,444</b>	3,50	54,05	
	PJ	<b>16,569</b>	0,00	0,00	
<b>ZIMA NOC</b>	S	<b>3,630</b>	1,00	3,63	81
	J	<b>6,136</b>	3,50	21,48	
	PS	<b>16,049</b>	3,50	56,17	
	PJ	<b>17,169</b>	0,00	0,00	
<b>LÉTO DEN</b>	S	<b>3,166</b>	1,00	3,17	96
	J	<b>5,570</b>	3,50	19,50	
	PS	<b>20,980</b>	3,50	73,43	
	PJ	<b>21,855</b>	0,00	0,00	
<b>LÉTO NOC</b>	S	<b>3,216</b>	1,00	3,22	96
	J	<b>5,690</b>	3,50	19,92	
	PS	<b>20,735</b>	3,50	72,57	
	PJ	<b>21,605</b>	0,00	0,00	
Trakce bez rekuperace				95,56	96
Trakce s rekuperací				55,09	

### Provozní den 3

V rámci modelového provozního dne číslo 3 je pracovní náplní vozidla cesta do jedné ze stanic, kde probíhá rozsáhlá rekonstrukce, a práce v ní. Znamená to tedy konkrétně přepravu do Rožnova pod Radhoštěm, práci v této stanici o délce 5 hodin a cestu zpět do Valašského Meziříčí, kde na úplný závěr směny proběhne složení nepotřebného materiálu.

Tabulka 13: Souhrnný přehled energie spotřebované během provozního dne 3

Provozní den 3:	Období	Režim	Spotřeba za 1 h v režimu	Výkon	Spotřeba	Celková spotřeba
	[-]	[-]	[kWh/h]	[h]	[kWh]	[kWh]
ZIMA DEN	S		3,580	1,33	4,77	94
	J		6,016	1,67	10,03	
	PS		15,444	3,00	46,33	
	PJ		16,569	2,00	33,14	
ZIMA NOC	S		3,630	1,33	4,84	98
	J		6,136	1,67	10,23	
	PS		16,049	3,00	48,15	
	PJ		17,169	2,00	34,34	
LÉTO DEN	S		3,166	1,33	4,22	120
	J		5,570	1,67	9,28	
	PS		20,980	3,00	62,94	
	PJ		21,855	2,00	43,71	
LÉTO NOC	S		3,216	1,33	4,29	76
	J		5,690	1,67	9,48	
	PS		20,735	3,00	62,21	
	PJ		21,605	2,00	43,21	
Trakce bez rekuperace					34,07	34
Trakce s rekuperací					18,17	

## 5.2 Výpočet spotřeby energie z údajů o provozu MUV 75

Díky ochotě a vstřícnosti největšího provozovatele MUV 75 v České republice, Správě železnic, s. o., lze v této práci využít data z reálného nasazení těchto vozidel v obvodu oblastního ředitelství Ostrava. Jsou sice vybavena spalovacím motorem, lze však vycházet z předpokladu, že stejnou míru práce, kterou vykoná agregát původního vozidla díky exotermické reakci (hoření nafty) ve spalovacím prostoru válců, bude muset odevzdat i akumulátor na navrhovaném vozidle.

Tuto metodu v konkrétní aplikaci této práce však pro stanovení požadované kapacity baterie nelze považovat za jednoznačně určující, a to zejména z důvodu malého statistického vzorku dat. Nelze totiž předpokládat, že vozidlo obstarávající údržbu ostravského uzlu nebo přilehlých hlavních (koridorových) tratí bude vykazovat stejnou spotřebu energie, jako například vozidlo přidělené pro práci na sklonově náročných regionálních tratích v Jizerských horách. Pro objektivní vyhodnocení dat by tedy bylo nutné nejen obsáhnout různorodost podmínek provozu napříč celou republikou, ale také vliv okolních (povětrnostních) podmínek.

Data z reálného provozu vozidel obsahují informace o celkové spotřebě pohonných hmot čtyř vozidel typu MUV 75 za rok 2022 provozovaných v Moravskoslezském kraji. Všechna dotčená vozidla měla v té době za sebou již čtyři roky aktivní služby. Data jsou užitečná zejména pro závěrečné zhodnocení přínosnosti přestavby z ekonomického hlediska. Poskytují také ale důležitý obraz o celkové míře využití vozidel.

Tabulka 14: Spotřeba PHM a využití vozidel MUV 75 v obvodu OŘ Ostrava

Evidenční číslo vozidla	043	044	047	048
Provozní středisko	Český Těšín	Ostrava	Studénka	Bohumín
Ujetá vzdálenost [km/rok]	3 959	4 294	3 833	1 714
Spotřeba PHM [dm <sup>3</sup> /rok]	2 151	3 702	2 645	1 278
Motohodiny [h/rok]	800	1 056	770	558
Průměrná spotřeba [dm <sup>3</sup> /100 km]	54,32	86,22	69,01	74,54
Průměrná spotřeba [dm <sup>3</sup> /h]	2,69	3,50	3,44	2,29
Náklady za PHM (bez DPH) [Kč]	72 508	126 165	88 518	42 582

Bližší rozvedena jsou pak data z provozu vozidla s evidenčním číslem 44 – tedy vozidla, jehož úkolem jsou servisní zákroky v rámci ostravského uzlu a které je v rámci zmíněné čtveřice dle kilometrického proběhu i počtu motohodin nejvíce vytíženo. Data obsahují údaje z období od 4. října do 30. listopadu 2022 a jsou uvedena jako Příloha F. V rámci všech směn bylo vozidlo provozováno společně s jedním přívěsným vozíkem PVK.

Data ukazují, že průměrná délka směny (doby aktivního využití) za toto období byla 5,6 h. Vozidlo za směnu ujelo průměrně 24 km. Největší kilometrický proběh však mělo dne 1. 11. 2022, kdy v rámci přesunu do opravy za směnu urazilo 135,1 km. V tento den je také zaznamenána největší spotřeba nafty (38,3 dm<sup>3</sup>). Průměrná spotřeba za směnu přitom činí 16,8 dm<sup>3</sup> (viz Příloha F).

Pro výpočet požadavku na kapacitu baterie je rozhodující již zmíněný den s největší spotřebou pohonných hmot. Přesto je jistě zajímavé odvodit potřebnou kapacitu baterie pro všechny provozní dny.

Samotné odvození předpokládá, že spálení jednoho litru nafty znamená předání 9,78 kWh energie. Spalovací motor přitom za ideálních podmínek dokáže na mechanickou práci přeměnit pouze přibližně 40 % z této energie, zbytek se mění na teplo. Součinem těchto hodnot s hodnotou denní spotřeby pohonných hmot lze získat množství vykonané práce.

## 5.3 Požadavky na zdrojovou soustavu

### 5.3.1 Vyhodnocení vypočtených hodnot

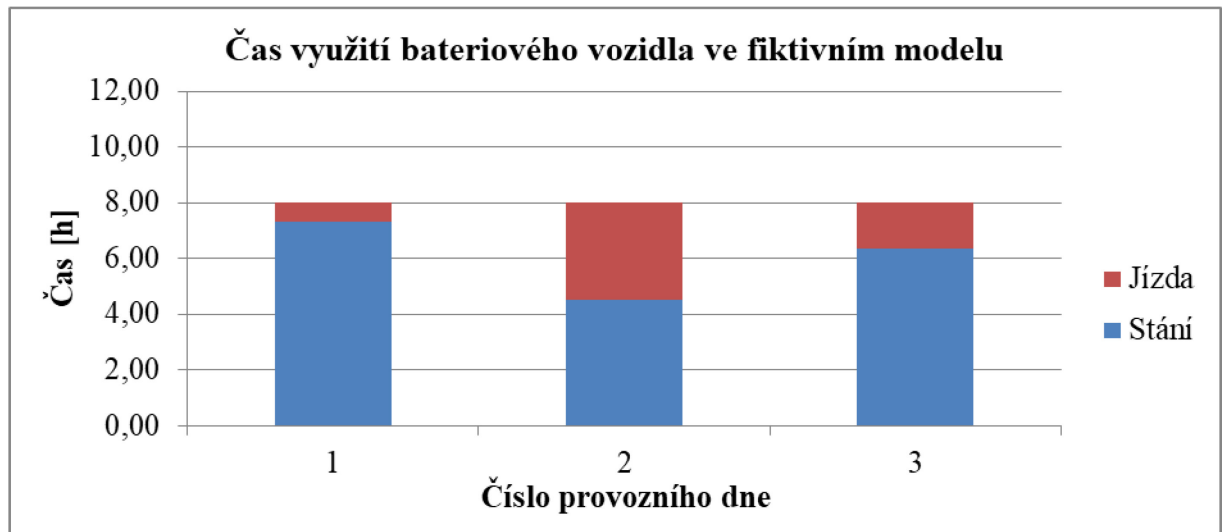
Z prezentovaných modelových provozních dnů je energeticky nejnáročnější provozní den 2 za předpokladu, že by jeho scénář proběhl během letního dne. V této situaci činí celková spotřeba (bez uvažování rekuperace) 192 kWh. Je to patrné jednak z údajů, které uvádí Tabulka 12, ale také Příloha E. Ta navíc nabízí grafické znázornění struktury spotřeby. Během vybíjení by neměl být článek vystaven většímu vybíjení, než pod 20 % své kapacity. Zároveň konec životnosti baterie je definován jako pokles kapacity o 20 %. Aby tedy



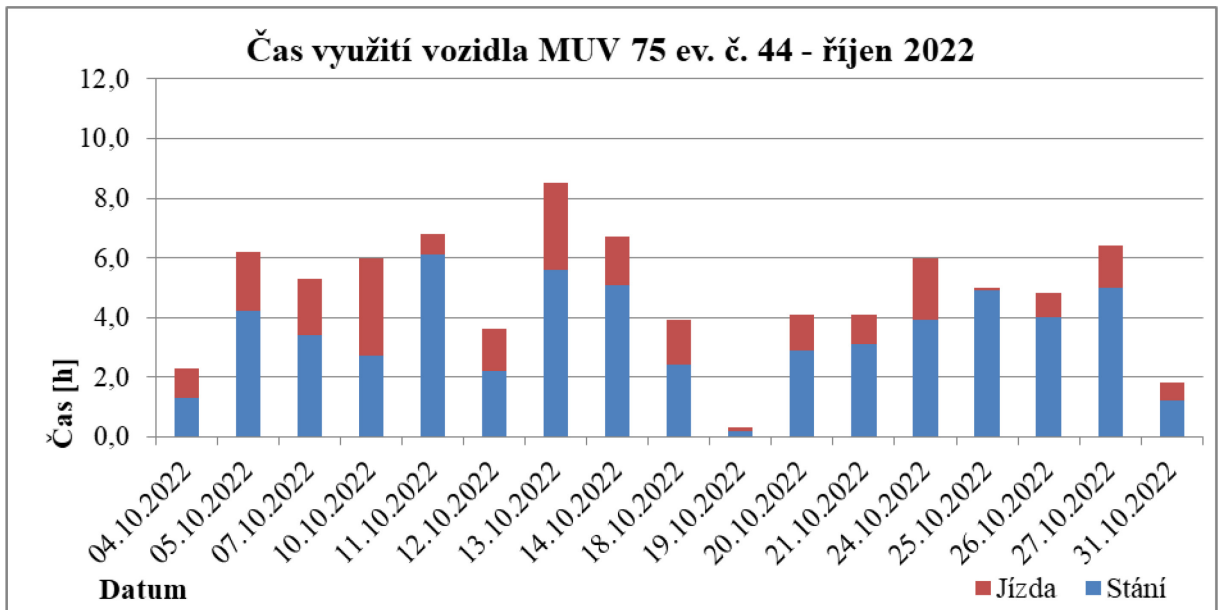
akumulátor během provozu nebyl vybíjen pod doporučenou mez a současně disponoval dostatečnou kapacitou i na konci své životnosti, je třeba v rámci dimenzování pracovat s požadavkem na uložení 300 kWh energie. [17]

Z rozboru a výpočtu dat z reálného provozu vyplývá, že v nejkritičtějších případech spalovací motor vozidla vykonal mechanickou práci 150 kWh. Pro dimenzování baterie to znamená, že by bylo třeba, aby na vozidle byl instalován akumulátor disponující energií 234 kWh.

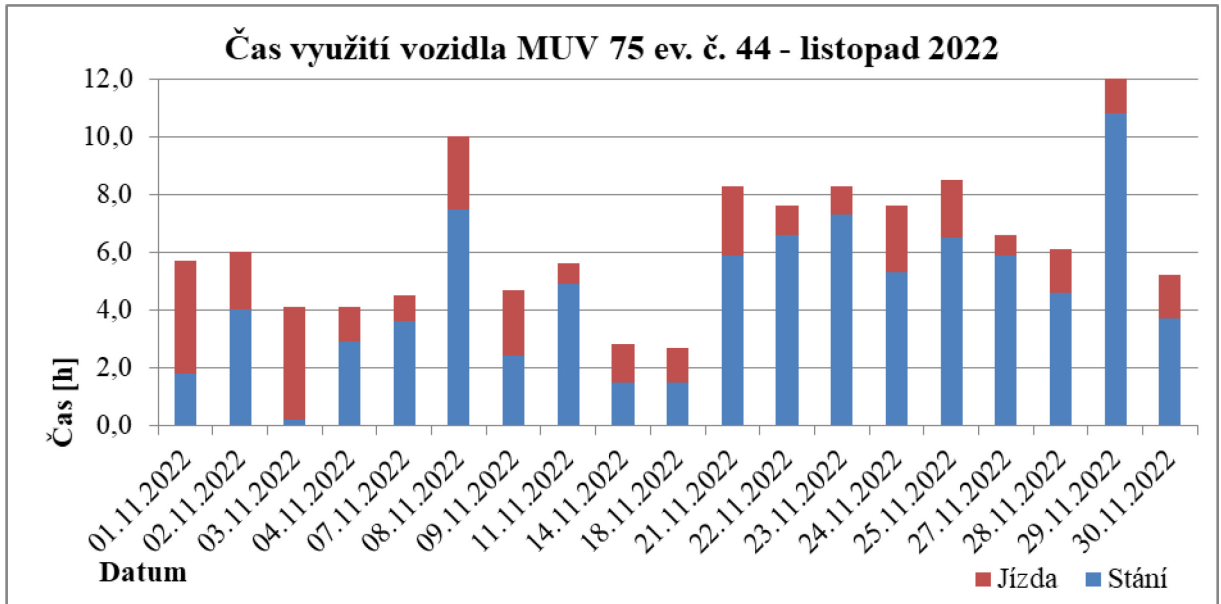
V rámci fiktivního modelu tráví vozidlo průměrně 76 % pracovního času stáním (při započítání režimů S, PS i PJ) a 24 % jízdou. Zpracováním reálných dat lze zjistit, že vozidlo ve sledovaném období průměrně strávilo z celkové doby aktivního využití přibližně 72 % stáním se zapnutým spalovacím motorem a 28 % času jízdou. Grafické znázornění poměru doby stání a jízdy obsahují Obr. 13 až Obr. 15.



Obr. 13: Struktura času využití bateriového vozidla v rámci fiktivního modelu



Obr. 14: Struktura času využití vozidla MUV 75 v reálném provozu (říjen 2022)



Obr. 15: Struktura času využití vozidla MUV 75 v reálném provozu (listopad 2022)

Na základě předchozího odstavce je možné konstatovat, že z hlediska rozdělení času mezi jednotlivé provozní režimy fiktivní pracovní harmonogramy poměrně věrně kopírují skutečné využití vozidla.

Hodnoty požadované energie, kterou by měla baterie disponovat, se mezi teoretickým modelem a výpočty z reálných dat liší o 42 kWh. Tento rozdíl je možné přisoudit několika faktorům. Lze poukázat na nepřesnost dat vstupujících do fiktivního modelu (zejména v oblasti statické spotřeby). Jistě lze ale také hovořit o rozdílných podmínkách provozu, které reprezentoval model (trati s výrazným sklonem, trvalý provoz se třemi plně loženými vozíky

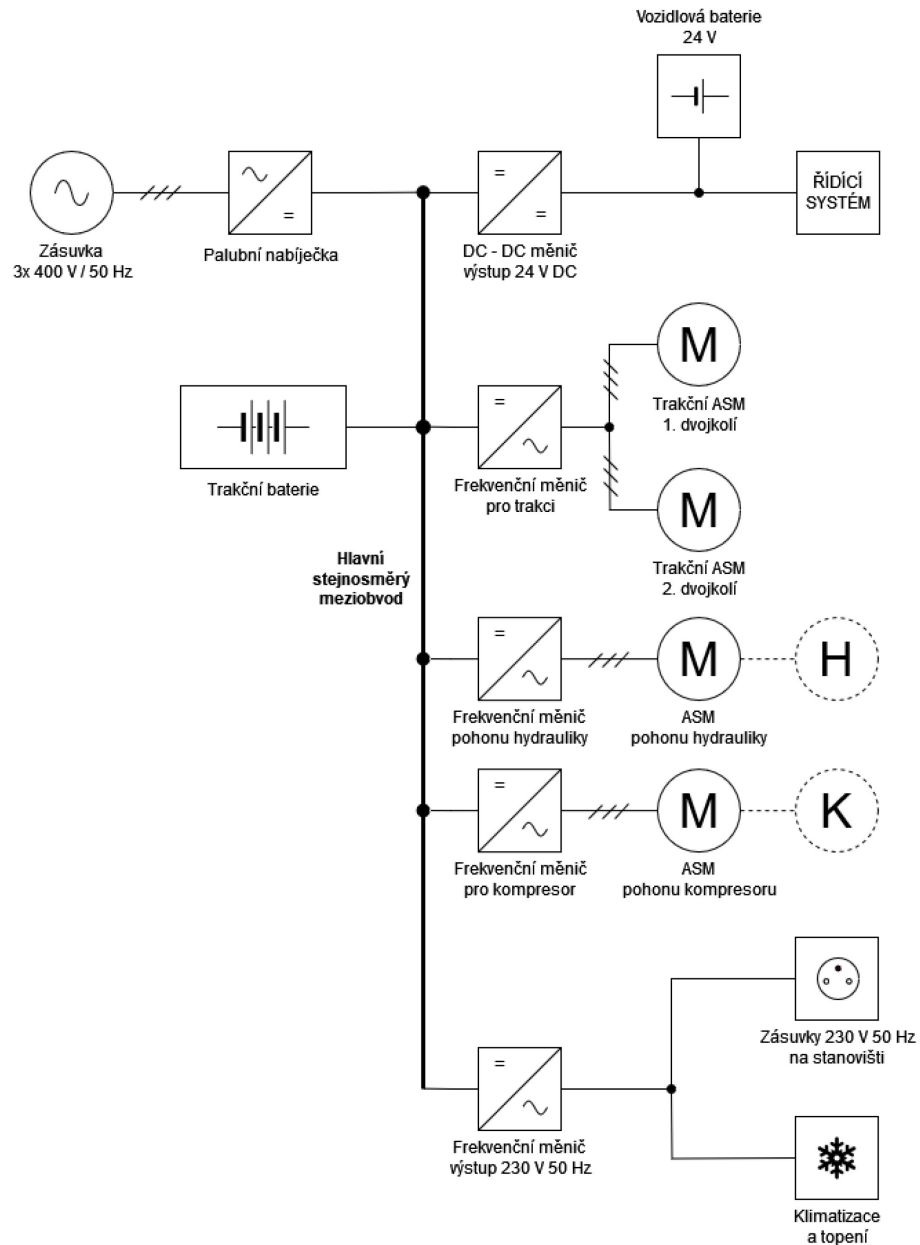
PVK, délka směn přesně 8 hodin) a skutečnost (provoz pouze v rozsáhlém obvodu stanice, proměnná zátěž, různá délka směn).

### 5.3.2 Vytýčení požadavků

V rámci bezpečnosti dimenzování uvažuje tato práce kritičtější případ, tedy že v nejnáročnějším případě bude třeba, aby baterie disponovala 300 kWh energie. Při definování požadavků na baterii je také třeba stanovit napěťovou hladinu celého bateriového systému, od které se bude odvíjet řazení článků, jejich počet a požadovaná kapacita v Ah.

Určující podmínkou pro stanovení napěťové hladiny systému jsou především parametry elektrických spotřebičů, které mají být k baterii připojeny. V rámci dalšího řešení této problematiky je vhodné provést rozbor blokového schématu elektrické výzbroje navrhovaného vozidla, který uvádí Obr. 16. Toto schéma je pouze přehledným popisem hlavních energetických větví a nemá náležitosti elektrotechnického výkresu popisujícího instalace na vozidle.

Trakční baterie je dobíjena z veřejné distribuční sítě 3x 400 V 50 Hz. Proud je ihned na vstupu do vozidla usměrněn a napětí zvýšeno na úroveň odpovídající napětí trakční baterie. Ta dodává energii do několika větví. V první z nich je přes DC-DC měnič napájena vozidlová baterie o napětí 24 V. Ta je zdrojem energie pro řídicí systém vozidla, návěstní osvětlení, radiostanici, vlakový zabezpečovač a další drobnou elektroniku. V druhé větvi energii odebírá dvojice asynchronních trakčních elektromotorů napájená přes společný frekvenční měnič, který realizuje jejich regulaci. Další dvě větve tvoří tok energie pro hydraulickou mechanizaci a pomocné pohony (kompresor). V obou aplikacích jsou využity opět asynchronní motory regulované frekvenčními měniči. Poslední větev je tvořena měničem s výstupem 230 V 50 Hz, který dodává energii pro klimatizaci a zásuvky pro dobíjení drobné elektroniky na stanovišti strojvedoucího.



Obr. 16: Blokové schéma elektrické výzbroje bateriového vozidla MUV 75

Pro volbu napěťové hladiny trakční baterie je klíčová horní hranice pracovního napětí asynchronních motorů. Jedná se o průmyslové motory, které je možno při frekvenci 60 Hz provozovat na napětí 460 V. [12] Motory však lze provozovat až na napětí o 10 % vyšší, [18] v našem případě tak hovoříme o napětí až 506 V – to je tedy nejvyšší hodnota, kterou bychom měli naměřit na svorkách motorů. Energie je na ně však dodávána přes frekvenční měniče, které zároveň obstarávají rozstřídání původně stejnosměrného proudu dodávaného trakční baterií. Aby dosahovalo výstupní (AC) napětí velikosti 506 V, musí do něj z DC části (trakční baterie) vstupovat napětí o velikosti 715 V.

***Volba hodnoty napětí trakční baterie 715 V tedy definuje požadavek na její kapacitu 420 Ah.***

## 6 Výběr trakční baterie

### 6.1 Přehled nepoužívanějších bateriových technologií

Druhů elektrochemických akumulátorů existuje opravdu velké množství. Dříve byly například v trakčních aplikacích velmi rozšířené baterie olověné. V posledních několika letech však všeobecně s rozvojem techniky došlo k výraznému rozšíření akumulátorů, jejichž základ tvoří lithium. Tyto jsou dnes považovány za nejmodernější elektrochemické zdroje energie. [17]

Obecnou vlastností lithiových akumulátorů je jejich striktně daný pracovní napěťový interval. Pokud by byl akumulátor provozován pod dolní mezní hodnotou, dojde k silnému narušení vnitřních struktur a tím k masivní ztrátě kapacity. V případě překročení horní napěťové hranice dochází k extrémnímu vývinu tepla, článek se nafukuje, plní se hořlavými plyny, přičemž celý proces je završen agresivní exotermní reakcí (tj. výbuchem). Z těchto důvodů je u lithiových článků zcela nepostradatelná instalace nadřazeného dozorčího systému BMS (battery management system), který hlídá právě uvedené provozní parametry a v případě překročení stanovených tolerancí aktivně zasáhne. [17]

Úkolem BMS je také hlídání teploty článku, neboť tato přímo ovlivňuje jeho pracovní možnosti. Jak uvádí [17]: „*Vybíjení lithiových článků může probíhat v rozmezí teplot  $-30^{\circ}\text{C}$  až  $60^{\circ}\text{C}$ , přičemž horní hranice podstatným dílem určuje životnost. Se zvyšující se pracovní teplotou článku životnost klesá. Teplotní rozsah pro nabíjení je podstatně nižší, nabíjecí cyklus lze zahájit jen tehdy, pokud teplota článku vzroste nad  $0^{\circ}\text{C}$ . V případě nabíjení pod touto hranicí dochází k silné degradaci vnitřních struktur. Aktivní hmota tvořená lithiem se začne rozkládat a usazovat v prostoru elektrolytu a separátoru. Tímto klesá kapacita a v extrémním případě může dojít k vnitřnímu zkratu článku. V případě paralelní kombinace několika článků jeden takto poškozený způsobí poškození i ostatních.*“

Akumulátory na bázi lithia mají několikero variací, které se mezi sebou liší například chemickým složením elektrolytu nebo materiály, ze kterých jsou vyrobeny elektrody. Od nich se odvíjí napěťové, proudové, kapacitní a bezpečnostní vlastnosti akumulátorů. Proto je na místě se v následujících několika odstavcích zmínit o těch konkrétních typech lithiových akumulátorů, které jsou nepoužívanější a mají nejlepší předpoklady pro využití v trakčních aplikacích. [17]

#### 6.1.1 Technologie LTO – Li-ion

Akumulátory technologie LTO – Li-ion patří mezi nejmodernější a v trakčních aplikacích nejrozšířenější. Vzhledem k tomu, že jejich vývoj byl zaměřen právě na využití v této oblasti, splňují náročné výkonové podmínky při nabíjení i vybíjení. Vykazují také velmi dobré vlastnosti i při práci pod bodem mrazu. Mezi jejich další přednosti patří rovněž možnost dlouhodobého skladování (při běžných teplotních podmínkách až deset let), aniž by docházelo k jejich výrazné degradaci. Co se životnosti týče, v počtech cyklů dosahuje až trojnásobných

hodnot oproti ostatním technologiím. Ta závisí samozřejmě na podmínkách provozu, v ideálním případě se však můžeme dostat klidně i ke dvěma desítkám tisíc cyklů. Za zmínku jistě stojí i skutečnost, že baterie tohoto typu prošly náročným homologačním procesem pro trakční využití v železniční dopravě. [17]

**Tabulka 15: Přehled výhod a nevýhod technologie LTO – Li-ion [17]**

Výhody	Nevýhody
Vysoké hodnoty nabíjecích proudů	Nízká objemová a hmotnostní hustota energie
Vysoké hodnoty vybíjecích proudů	Vysoká cena
Dlouhá životnost	
Silná bezpečnost	

### 6.1.2 Technologie LFP Li-ion

Hlavní předností akumulátorů technologie LFP Li-ion je jejich vysoký stupeň bezpečnosti. Články je možné díky jejich chemickému složení zatěžovat vysokými proudy bez výraznějších obav z vývinu interních plynů a možné exploze. Zároveň jsou poměrně levné, nicméně jejich použití v drážní dopravě by znamenalo poměrně nákladnou homologaci (ta je však nákladem fixním a pro sériové aplikace by se vyplatila). Životnost baterií je udávána v jednotkách tisíc cyklů (řádově 2 000 až 4 000 cyklů). [17]

**Tabulka 16: Přehled výhod a nevýhod technologie LFP Li-ion [17]**

Výhody	Nevýhody
Vysoké hodnoty nabíjecích proudů	Nutnost schvalovacího procesu
Vysoké hodnoty vybíjecích proudů	
Nízká cena	
Vysoký stupeň bezpečnosti	
Vysoká životnost	

### 6.1.3 Technologie NMC Li-ion

Akumulátory technologie NMC patří k velmi oblíbeným a využívaným, zejména v oblasti automotive. Setkat se s nimi můžeme ale také u bateriově poháněného ručního nářadí. Obecně by se pak dalo říci, že NMC články jsou malé a lehké, ale drahé. Jejich životnost je udávána v nízkých jednotkách tisíc cyklů (1 000 až 2 000 cyklů).

Tabulka 17: Přehled výhod a nevýhod technologie NMC Li-ion [17]

Výhody	Nevýhody
Vysoké hodnoty vybíjecích proudů	Vysoká cena
Dobrá bezpečnost	Nízké hodnoty nabíjecích proudů
Dobrá životnost (1000-2000 cyklů)	
Vysoká hustota energie	

## 6.2 Výběr vhodné baterie

Vozidlo MUV 75 je lehké pracovní vozidlo. Z této základní vlastnosti, na kterou je v rámci této práce poukazováno už poněkoli káté, jasně vyplývá i jeden z určujících požadavků pro výběr trakční baterie – a sice výběr takového typu akumulátoru, který bude poskytovat dostatečné množství energie při co nejmenší hmotnosti a objemu. V jiných aplikacích (např. akumulátorové posunovací lokomotivy) se dá naopak s výhodou využít hmotných akumulátorů, které přinesou zlepšení adhezních podmínek a umožní tak vozidlu přenášet vyšší tažnou sílu.

Výsledek energetické bilance přinesl požadavek na akumulátor o kapacitě 420 Ah při napětí 715 V. Z veřejně dostupné nabídky je možné dohledat, že baterie technologie LTO by v této konfiguraci vážila přes 5 t a zabírala prostor přibližně 2,5 m<sup>3</sup>. [19] Méně objemnou a hmotnou alternativou jsou baterie technologie LFP Li-ion, které nabízí výrobce Sinopoly.

Tabulka 18: Parametry jednoho LFP Li-ion článku SP-FA41255BM [20]

Označení	SP-FA41255BM
Jmenovitá kapacita	160 Ah
Horní hranice provozního napět'ového intervalu	3,7 V
Jmenovité napětí	3,2 V
Dolní hranice provozního napět'ového intervalu	2,7 V
Hmotnost	3,6 kg
Hmotnost/kapacita	0,022 kg/Ah
Šířka	255 mm
Tloušťka	41 mm
Výška	172 mm
Objem	1,8 dm <sup>3</sup>
Objem/kapacita	0,011 dm <sup>3</sup> /Ah
Životnost	≥ 4 000 cyklů
Maximální proud při nabíjení	160 A
Maximální proud při vybíjení	320 A
Provozní teplotní interval při nabíjení	0 ÷ 45 °C
Provozní teplotní interval při vybíjení	-20 ÷ 55 °C

Pro zajištění kapacity bude třeba na vozidlo instalovat 3 paralelní větve, z nichž každá bude obsahovat (kvůli dosažení potřebného napětí) 194 článků.

***Trakční baterie tedy bude složena celkem z 582 článků vážících dohromady 2 072 kg a zaujímajících prostor 1 046 dm<sup>3</sup>.***



## 7 Dobíjení bateriového vozidla

### 7.1 Dobíjení z veřejné distribuční sítě

Dobíjení trakčních akumulátorů z veřejné distribuční sítě 3x 400 V / 50 Hz je běžnou praxí jak u silničních, tak železničních vozidel. Pověšinou je řešeno tak, že je ze zdroje propojovacím kabelem dovedeno napětí přímo do vozidla, ve kterém je instalován dobíječ, který provádí transformaci, usměrnění a další potřebné úkony. Výjimkou jsou tzv. „rychlé“ nabíječky, kdy z nabíjecího stojanu teče do vozidla přes speciální konektor stejnosměrný proud a nabíjecí výkon je řízen na základě komunikace řídicího systému vozidla s nabíjecí stanicí.

Přestože dobíjení ze stacionárního zdroje během stání směřuje ke snížení pracovní efektivity vozidla, nemusí to být ve zde řešeném případě nikterak fatální. Předpokládá se, že běžně délky směn pracovníků obsluhujících vozidlo mají délku maximálně 8 až 12 hodin, po kterých následuje přibližně stejně dlouhá odstavka. A právě dobu odstavky, kdy vozidlo nekoná žádné pracovní úkony a prakticky stojí nevyužito, lze efektivně využít pro nabíjení. Síť 3x 400 V / 50 Hz je navíc běžně dostupná v blízkosti každého průmyslového objektu (případně její vybudování není nijak nákladné a nevyžaduje účast úzce specializovaných subjektů), a předpokládá se tedy její existence v místě, které bude domovským depem vozidla.

Zásuvky sítě 3x 400 V / 50 Hz jsou však k dispozici také na většině elektrických stojanů v kolejisti, které jsou běžným vybavením obrátových železničních stanic, kde slouží jako zdroj elektrické energie pro odstavená vozidla dopravců zejména během zimních měsíců, kdy tato využívají předehřevu. V současné době jsou těmito stojany vybavovány v rámci rekonstrukcí dopravní cesty i železniční stanice nácestné (např. Grešlové Mýto). Otevírá se tak možnost tyto využít k dobíjení během prostojů při přepravách vynucených dopravními důvody. Zejména na jednokolejných tratích tyto často znamenají i hodinový pobyt, což z hlediska nabíjení není zanedbatelné.

Budeme-li problematiku vztahovat na již zmiňovaného největšího tuzemského provozovatele vozidel MUV 75, tedy státní organizaci Správa železnic, znamená pro něj možnost dobíjení z libovolné zásuvky sítě 3x 400 V / 50 Hz v blízkosti kolejí zlepšení flexibility provozu vozidla hned v několika ohledech. Současný stav, kdy v naprosté většině dojíždějí s vozidly k tankovacím stojanům s naftou v depech, znamená nejen vyblokování potřebného času, který by logicky obsluha vozidla mohla věnovat jiným činnostem, ale většinou také náklady za poplatky za vjezd na vlečku a samozřejmě marži a jiné poplatky distributora pohonných hmot. V případě využití zásuvkových stojanů nebo zásuvky v domovském depu vozidla tyto starosti odpadají, neboť jejich vlastníkem je přímo Správa železnic.

***Nabíjení baterie z 20 % na 80 % kapacity zabere při využití 32 A zásuvky přibližně 14 hodin. V případě připojení k 64 A zásuvce klesne čas dobíjení přibližně na 7 hodin.***

## 7.2 Solární dobíjení

Nedostatek fosilních paliv a závazky vyplývající z klimatických dohod směřují snad všechna odvětví lidské činnosti k využívání obnovitelných zdrojů elektrické energie. Mezi ně patří i fotovoltaické elektrárny.

Nabízí se tedy zamyšlení nad zužitkováním sluneční energie a zvýšením ekologické šetrnosti i v souvislosti s provozem navrhované bateriové modifikace vozidla MUV 75. Nabízí se 2 varianty: zastavět solární panely přímo na vozidlo po vzoru experimentálního vozidla DFJP UPCE, o kterém bylo pojednááno v části 3.1.1 této práce, nebo vybudovat v domovském depu bateriového vozidla dobíjecí stanici, která by získávala energii ze solárních panelů.

### 7.2.1 Instalace solárních panelů přímo na vozidlo

Jediným v České republice provozovaným kolejovým vozidlem vybaveným solárními panely je experimentální vozidlo DFJP UPCE. Zhodnocení jeho zkušebního provozu a rozborová úvaha nad efektivitou solárního nabíjení v případě instalace na elektrickou jednotku provozovanou na konvenčních tratích byly publikovány v [3] a [21].

Díky měření na experimentálním vozidle, datům získaným od Českého hydrometeorologického ústavu a použití simulačního software byly v rámci rozboru úvahy instalace solárních panelů na střechu normálněrozchodné elektrické dvouvozňové jednotky zjištěno, že *„okamžitý výkon fotovoltaických panelů na střeše jednotky dosahuje hodnot 0 až 6 kW, absolutní energie vyrobená fotovoltaickými panely za jízdy vozidla kolísá v rozmezí 0 až 50 kWh a relativní pokrytí energetické spotřeby vozidla je rovno 0 až 6 %.“* [21] Jak [21] i přímo velmi výstižně uvádí, *„není to hodnota nikterak závratná – nepokryje zpravidla ani spotřebu pomocných pohonů a zařízení jednotky, na druhou stranu ji nelze považovat za hodnotu zanedbatelnou.“*

Jediný příhodný prostor pro zástavbu solárního panelu na vozidlo MUV se nachází na střeše jeho kabiny. Ta má rozměry přibližně 2 500 x 2 000 mm. Nabízí tak hrubou zástavbovou plochu 5 m<sup>2</sup>. Řeč je však skutečně o zástavbové ploše hrubé, neboť na střeše musí zůstat zachován prostor pro antény radiostanice a případně další vybavení vozidla. Budeme-li uvažovat běžně dostupný solární panel LR5-66HPH od výrobce Longi, má tento rozměry 2 094 x 1 134 mm. Zabírá tedy plochu 2,4 m<sup>2</sup>. Z hlediska zachování prostoru pro antény je tedy reálné uvažovat, že by na střechu vozidla MUV bylo možné instalovat jeden tento solární panel. Výrobce pro tento typ panelu uvádí relativní výkon 212,5 W·m<sup>-2</sup>. Znamenalo by to, že v nejlepším případě (špičkově) mohou solární panely být zdrojem elektrické energie o výkonu 510 W. [22]

Tato hodnota není zanedbatelná – převyšuje například hodnotu spotřeby plného osvětlení vozidla. Nesmíme však zapomínat na jisté zastínění panelů (např. právě anténami). Pokud toto zohledníme a budeme uvažovat možnost využití dvou třetin tohoto výkonu,

dostáváme se přibližně na hodnotu 340 W. Stále však není započtena účinnost dalšího hospodaření s takto získanou energií a není zohledněna nestálost přísunu množství energie z dopadajícího slunečního záření. Železniční provoz je navíc pevně spjatý s vysokou prašností, dá se tedy předpokládat, že by po čase provozu mohlo dojít k navrstvení prachu na solární panely a byl by pak nutný poměrně nepraktický údržbový zásah v podobě čištění panelů.

Ve výsledné fázi tedy spějeme k poznatku, že instalace solárního panelu o hmotnosti 26 kg [22] (bez započítání hmotnosti dalších nutných přístrojů) by znamenala zisk zdroje o výkonu v řádu jednotek až desítek wattů, který by ještě navíc byl zdrojem značně nespolehlivým. Jeho zahrnutí do energetické bilance provozu vozidla by tedy bylo značně problematické, výraznou pomocí v dobíjení trakční baterie a tím pádem ve zvýšení dojezdu vozidla by jistě nebyl. Lze však spekulovat o využití tohoto zdroje např. pro dobíjení vozidlové baterie, ze které je napájen řídicí systém vozidla, radiostanice, osvětlení a další spotřebiče. Dalším aspektem, který převažuje pomyslné mísky vah v neprospěch instalace solárních panelů přímo na vozidlo, je skutečnost, že konstrukce všech vozidel a jejich jednotlivých celků musí být pro provoz daného vozidla na konvenčních železničních tratích schválena drážním správním úřadem. Vzhledem k tomu, že v České republice žádné vozidlo s instalovanými solárními panely na střeše homologováno není, dá se očekávat poměrně velká časová, finanční a byrokratická náročnost tohoto celého procesu, která by jistě od této varianty konstrukčního řešení odradila nejednoho výrobce vozidel, ale i zákazníka (náročnost procesu schvalování by se zákonitě promítla v ceně vozidla).

## 7.2.2 Vybudování stacionární fotovoltaické dobíjecí stanice

Fotovoltaickou dobíjecí stanicí se nabízí vybudovat v depu daného bateriového vozidla za předpokladu, že toto se alespoň jedenkrát denně do tohoto místa vrátí a bude zde realizovat nabíjení. Pomocí online kalkulačky [23] lze zjistit hodnotu energie, kterou je schopna dodat malá fotovoltaická elektrárna s konkrétními parametry umístěná v konkrétní oblasti na území České republiky. Uvažujme tedy příklad elektrárny na střeše depa s následujícími parametry:

- lokalita: Zlínský kraj, město Valašské Meziříčí;
- umístění FVE na šikmé střeše průmyslového objektu;
- střecha sedlová se sklonem 30°;
- orientace střechy mírně jihozápadní (15°);
- využitelná plocha pro umístění fotovoltaických panelů 400 m<sup>2</sup>.

Za daných okolností je možno sestavit fotovoltaickou elektrárnu s výkonem 79,80 kWp, která bude sestavena ze 190 panelů (jeden o výkonu 420 Wp), a ročně vyprodukuje přibližně 80,8 MWh energie. Finanční náklady na stavbu tohoto zařízení přesahují částku jednoho a půl milionu korun českých. [23]

Solární panely fungují jako zdroj energie pouze ve dne, kdy se však předpokládá, že bude vozidlo plnit pracovní úkoly. Model, kdy by v reálném čase vozidlo ukládalo energii z fotovoltaických článků přímo do svých baterií tedy nelze uvažovat. Je potom potřeba se vypořádat s okamžitým odbytem této energie.

Nejjednodušší možností je směrování této energie do běžné distribuční sítě. Což je záležitost jistě prospěšná a nese s sebou nejmenší množství přídavných finančních nákladů. Postrádá však podstatu provázání tohoto ekologicky šetrného způsobu získávání energie přímo s provozem vozidla.

Nabízí se tedy pro vozidlo vybudovat stacionární dobíjecí stanici, jejíž součástí by bylo bateriové úložiště uchovávající vyrobenou energii během nepřítomnosti vozidla. Dodavatelé solárních elektráren mají tato úložiště společně s dalším potřebným vybavením v nabídce a distribuují je jako součást komplexních řešení. Tato řešení však samozřejmě znamenají i značné přídavné finanční náklady (jedno bateriové úložiště o kapacitě 22 kWh stojí přibližně 250 000 Kč). Zanedbatelná není ani problémovost se zástavbou bateriového úložiště, kdy tato ne vždy disponují dostatečnou úrovní elektrického krytí (IP55) pro umístění ve vnějším prostředí. Při ukládání energie do takového úložiště navíc vznikají ztráty (přibližně o velikosti 15%). Část získané energie se tak zmaří. [23]

Další možností by bylo provozovat sadu 2 akumulátorů, přičemž jeden z nich by byl vždy nabíjen v depu (nabíjen z FVE nebo distribuční sítě) a druhý by byl umístěn na vozidle, které by jej aktivně využívalo. Domovské depo by muselo být vybaveno speciálním manipulátorem, který by před začátkem směny vzájemně vyměnil tyto bateriové komplety. Bylo by tím zajištěno poměrně rychlé znovunabití vozidla (pouze čas potřebný k technickému provedení výměny, tedy v případě vhodného konstrukčního řešení jednotky minut). Tento koncept se prověřuje v odvětví automotive a mohl by v jistých ohledech přínosný i v případě aplikace v rámci železniční dopravy. Jednalo by se však o řešení technicky i finančně velmi náročné.

Současný trend navíc směřuje k provozování železničních vozidel velmi podobně, jako jsou provozovány automobily – tedy bez speciálně vyhrazeného prostoru pro odstavení vozidla, s využitím komplexní diagnostiky často s funkcionalitou vzdáleného přístupu, která umožňuje značně prodloužit intervaly prohlídek a servisních zásahů, které jsou pak často realizovány pomocí outsourcingu. Řadě dopravců je tedy na obtíž udržování objektů, jejichž hlavním účelem bylo poskytnout odstaveným vozidlům ochranu proti nepříznivým povětrnostním vlivům a údržbovému personálu prostor pro drobné servisní zásahy. Je to zcela logicky daný vývoj hnaný motivací minimalizace nákladů a zároveň umožněný technologickým pokrokem – například provozování hnacích vozidel bez „vodního“ chlazení zajištěného jiným médiem než nemrznoucím je dnes již vzácností. Odvětví traťového hospodářství v České republice si svou síť „garáží“ v určitém množství udržuje (což také přináší řadu výhod). S přihlédnutím k výše uvedeným argumentům je však otázkou, po jak dlouhou dobu tomu bude i nadále. Pověštinou se jedná o budovy staré několik desetiletí, do

kterých za dobu jejich života nebylo nijak znatelně investováno. Těžko tedy soudit, zda by bylo vybudování malých solárních elektráren na střeše těchto budov z ekonomického hlediska rozumné. Pokud však budeme hovořit o instalaci solárních panelů na střechu budov, které mají z jakéhokoliv pohledu perspektivní budoucnost (tedy např. novostavby), pak za prověření tato varianta jistě stojí.

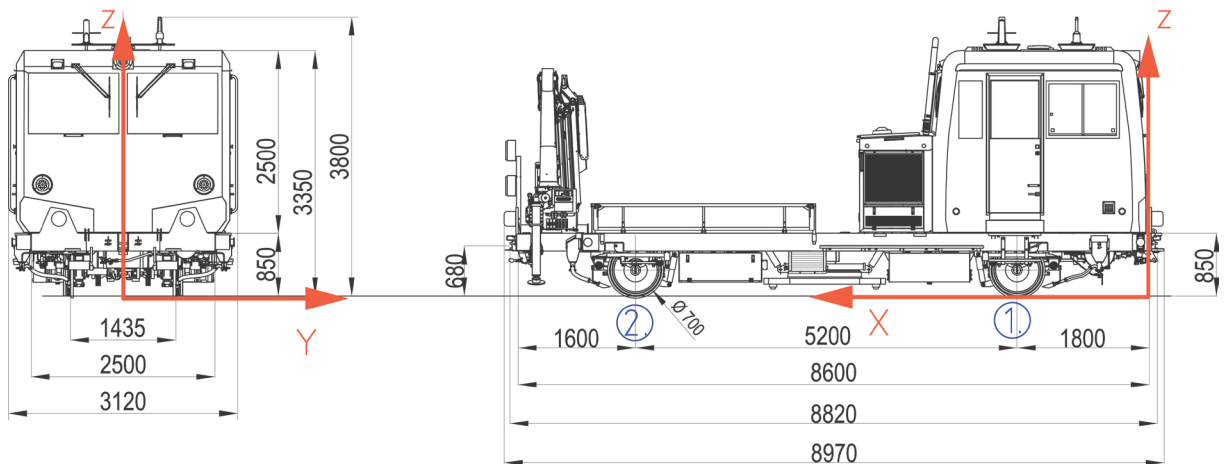
## 8 Koncepční uspořádání vozidla

V rámci návrhu koncepce bateriového vozidla zbývá vyřešit otázku prostorového uspořádání. Je rovněž důležité vyšetřit, jak se posune těžiště bateriového vozidla oproti vozidlu původnímu a zda rozdíl nápravových tlaků bude v rámci dovolené tolerance.

### 8.1 Definice souřadného systému

Pro další jednoznačný popis je třeba definovat souřadný systém, ve kterém bude popisována poloha jednotlivých komponent. Tento je naznačen na Obr. 17. Počátek je přitom pro jednotlivé osy konkrétně definován jako:

- začátek hlavního rámu na straně u kabiny obsluhy (osa X);
- osa koleje (osa Y);
- úroveň temene kolejnic (osa Z).



Obr. 17: Souřadný systém pro popis umístění komponent na vozidle. Upraveno z [1]

Číslování dvojkolí koresponduje s tím, že za přední čelo vozidla je považováno to, na kterém je umístěna kabina obsluhy. Pod ní tedy najdeme 1. dvojkolí, jako 2. je označeno dvojkolí pod ložnou plochou.

### 8.2 Určení těžiště původního vozidla

Podle údajů od výrobců jednotlivých komponent, údajů výrobce vozidla, či případně na základě odhadu je možno sestavit hmotnostní rozvahu, která bude zahrnovat údaje o hmotnosti dílčích celků a souřadnice jejich těžiště. Z těchto informací pak bude možno vypočítat celkové těžiště původního vozidla.

Jak je patrné už z dat, které představuje Tabulka 1, jmenovitá hmotnost vozidla MUV 75, tedy hmotnost ve stavu naplnění dvěma třetinami provozních hmot (nafta, olej, písek) a bez nákladu, je 13,5 t. V tomto stavu má vozidlo MUV 75 lehce rozdílné hodnoty hmotností spočívajících na přední (7 t) a zadní (6,5 t) nápravě. Znamená to logicky nejen to,

že je těžiště v ose X umístěno excentricky, ale zároveň znalost těchto údajů odkrývá druhý způsob, kterým je možno zjistit polohu těžiště.

**Tabulka 19: Výpočet těžiště a rozpis dílčích hmotností komponent původního vozidla MUV 75**

Dílčí části	Hmotnost [kg]	X těžiště [mm]	Y těžiště [mm]	Z těžiště [mm]
Hydraulický jeřáb	1 415	8 190	0	1 598
Bočnice ložné plochy	110	6 581	0	1 050
Kryt spalovacího motoru	270	3 455	0	1 513
Spalovací motor s hydraulickými čerpadly	1 055	3 455	483	1 292
Kompresor	25	3 455	145	1 181
Hydraulické čerpadlo mechanizace	50	3 455	-145	1 115
Nádrž pro olej hydrauliky (včetně oleje)	290	3 455	-100	1 115
Kabina	2 900	2 950	0	1 850
Zásobníky písku 1. dvojkolí (včetně 2/3 písku)	90	680	0	640
Zásobníky písku 2. dvojkolí (včetně 2/3 písku)	90	7 850	0	640
1. dvojkolí s nápravovou převodovkou	1 405	1 800	544	350
Hydromotor na 1. dvojkolí	68	1 800	346	350
Nádrž na naftu (prázdna)	135	2 995	-227	380
Nafta 200 l (2/3 nádrže)	168	2 995	-227	315
Blok pneumatické výstroje (včetně kontejneru)	150	5 845	-890	390
Vozidlová baterie	110	5 845	890	390
Kontejner vozidlové baterie	120	5 845	890	390
2. dvojkolí s nápravovou převodovkou	1 405	7 000	-544	350
Hydromotor na 2. dvojkolí	68	7 000	-346	350
<b>Těžiště dílčích</b>	<b>9 924</b>	<b>4 390</b>	<b>48</b>	<b>1 141</b>
Hlavní rám	3 576	4 064	0	610
<b>Těžiště MUV</b>	<b>13 500</b>	<b>4 304</b>	<b>36</b>	<b>1 000</b>
<b>Ložná hmotnost</b>	<b>5 000</b>	-	-	-

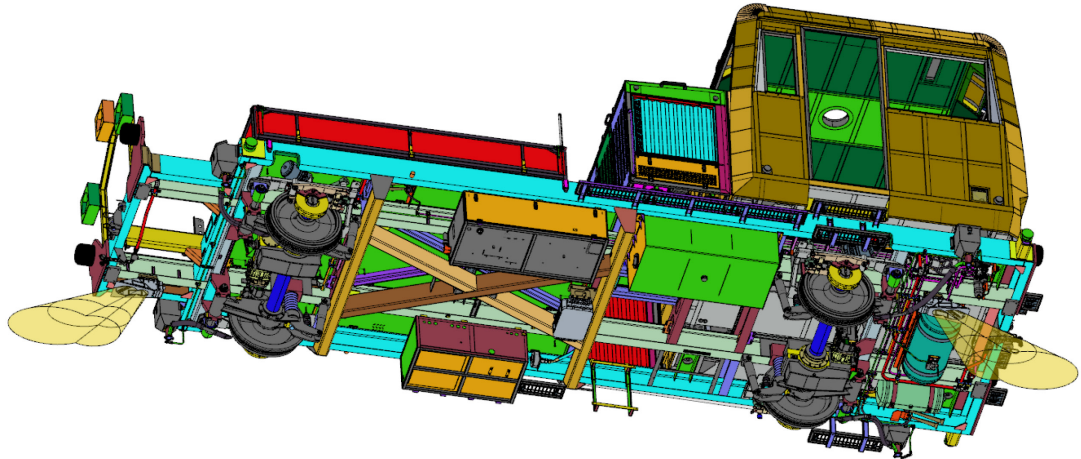
Konečný postup sestavení hmotnostní rozvahy proběhl kombinací obou výše popsaných metod. Dohledatelné, případně snadno odhadnutelné hodnoty byly stanoveny přímo; díky znalosti celkové hmotnosti a výsledného těžiště v ose X pak proběhlo dodatečně stanovení hmotnosti hlavního rámu, do níž jsou pro účely této práce zahrnuty i hmotnosti dalších drobných nespecifikovaných komponent (například spřáhlového a narážecího ústrojí).

### 8.3 Určení těžiště bateriového vozidla

Některé komponenty z původního vozidla zcela logicky v novém bateriovém vozidle nebudou zastavěny – jedná se například o spalovací motor společně s palivovou nádrží, nebo také o hydromotory na nápravách. Odebráním těchto dílčích částí bude vozidlo odlehčeno o 1 639 kg. Je to překvapivě nízká hodnota (12 % celkové hmotnosti) s přihlédnutím k tomu, že se jedná o prakticky kompletní trakční ústrojí. Potvrzuje se tím ale znovu skutečně nízká měrná hmotnost hydromotoru ve vztahu k dodávanému výkonu popisovaná již dříve v této práci. Zároveň je tím demonstrováno, že podobně jako hydromotory dokáží i moderní spalovací motory dosahovat vysokých výkonů při nízkém objemu a hmotnosti stroje.

Rozestavěné vozidlo připravené k zástavbě trakčních akumulátorů, elektromotorů a dalších spotřebičů nutných pro provozování bateriového vozidla tedy váží přibližně 11 900 kg. Pro další postup je však důležité rozhodnout o umístění těchto nových komponent.

Prostorová instalace trakčních elektromotorů je jasná – tyto budou připojeny pomocí příruby na nápravovou převodovku. Pro instalaci měničů a elektromotorů pomocných pohonů se nabízí využít přístavku původně určeného pro spalovací motor.

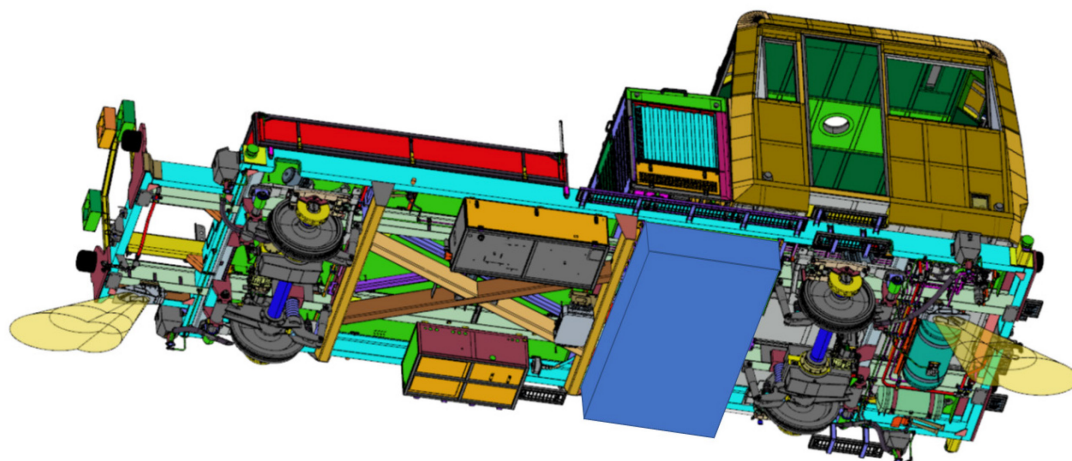


Obr. 18: Pohled na model spodní části vozidla MUV 75. Převzato z [1]

Jak je uvedeno v části 6.2, na vozidlo bude třeba umístit trakční baterii o hmotnosti 2 072 kg zaujímající prostor  $1\,046\text{ dm}^3$ . Z hlediska parametrů se jedná o podobný úkol jako zastavět do konvenčního vozidla palivovou nádrž. Vybízí se tedy setrvat v zaužívaných zvyklostech a trakční baterii umístit do příslušné skříň pod rám vozidla. Lze pro to využít prostor, který zabírala původní naftová nádrž (umístěna ihned za 1. dvojkolím). Ta však zabírala pouze přibližně třetinu šířky vozidla. Skříň pro baterie bude potřebovat prostoru více. Při zachování rozměrů nádrže v osách X a Z a využití plné šířky vozidla v ose Y lze získat skříň o celkovém objemu  $1\,065\text{ dm}^3$ . Pokud by tato nebyla z jakéhokoliv důvodu dostačující ( $1\,046\text{ dm}^3$  je pouze objem samotných bateriových článků, bez propojek, kabeláže a dalšího vybavení), vybízí se na kontejneru baterií vytvořit výstupek zasahující do prostoru původně určeného pro spalovací motor a část článků umístit do něj. [1]

Alternativou k tomuto řešení je umístění celé trakční baterie do přístavku původně určeného pro spalovací motor, který nabízí prostor o objemu přibližně  $3\,300\text{ dm}^3$ . Ten by měl poskytnout dostatek prostoru jak pro trakční baterii, tak případně pro další komponenty (např. ASM pomocných pohonů). Pro další prvky elektroinstalace, které by přístavek nebyl schopen pojmout (např. frekvenční měniče), by bylo nutné zřídit skříň zavěšenou pod vozidlem (analogicky s předchozím odstavcem).





Obr. 19: Vizualizace spodní části vozidla s trakční baterií umístěnou pod rámem. Upraveno z [1]

Pro účely výpočtu těžiště je uvažováno umístění celé baterie pod vozidlem.

Tabulka 20: Výpočet těžiště a rozpis dílčích hmotností komponent bateriového vozidla

Dílčí části	Hmotnost [kg]	X těžiště [mm]	Y těžiště [mm]	Z těžiště [mm]
Hydraulický jeřáb	1 415	8 190	0	1 598
Bočnice ložné plochy	110	6 581	0	1 050
Kryt spalovacího motoru	270	3 455	0	1 513
ASM pomocných pohonů	245	3 455	483	1 040
Kompresor	25	3 455	145	1 181
Hydraulické čerpadlo mechanizace	50	3 455	-145	1 115
Nádrž pro olej hydrauliky (včetně oleje)	145	3 455	-100	1 115
Kabina	2 900	2 950	0	1 850
Zásobníky písku 1. dvojkolí (včetně 2/3 písku)	90	680	0	640
Zásobníky písku 2. dvojkolí (včetně 2/3 písku)	90	7 850	0	640
1. dvojkolí s nápravovou převodovkou	1 405	1 800	544	350
ASM na 1. dvojkolí	173	1 800	195	350
Box na trakční baterie	400	2 995	-227	380
Trakční baterie	2 072	2 995	-227	380
Blok pneumatické výstroje (včetně kontejneru)	150	5 845	-890	390
Vozidlová baterie	110	5 845	890	390
Kontejner vozidlové baterie	120	5 845	890	390
2. dvojkolí s nápravovou převodovkou	1 405	7 000	-544	350
ASM na 2. dvojkolí	173	7 000	-195	350
Hlavní rám	3 576	4 278	0	610
<b>Těžiště MUV</b>	<b>14 924</b>	<b>4 220</b>	<b>-26</b>	<b>880</b>
<b>Ložná hmotnost</b>	<b>3 576</b>	-	-	-

Při porovnání a rozboru výpočtů hmotnosti a těžiště původního vozidla s vozidlem bateriovým lze konstatovat, že:

- bateriové vozidlo je o 1 424 kg těžší;
- při zachování horního limitu hmotnosti loženého vozidla na hodnotě 18 500 kg klesla ložná hmotnost vozidla o 28 % (z 5 000 kg na 3 576 kg);
- ve směru osy X se těžiště bateriového vozidla posunulo o 83 mm blíže k počátku;
- ve směru osy Y se těžiště nepatrně posunulo (o 62 mm);
- bateriové vozidlo má o 120 mm níže položené těžiště (ve směru osy Z).

U dvounápravových speciálních hnacích vozidel předepisuje legislativa [24] dovolený rozdíl hmotností na nápravy, který musí být menší než 20 % celkové hmotnosti vozidla. Bateriové vozidlo je na prvním dvojkolí zatíženo hmotností 8,0 t, na druhém pak 6,9 t. Odchylka tedy odpovídá pouze 7 % celkové hmotnosti.

V případě zatížení vozidla plnou hmotností ložení se rozdíl hmotností na nápravu zvýší na 10 % z celkové hmotnosti vozidla (přední dvojkolí 8,3 t, zadní dvojkolí 10,2 t). I tato hodnota však odpovídá dovolené odchylce. Těžiště se přitom v ose X posune přibližně o 450 mm (na hodnotu 4 677 mm), v ostatních osách pak dojde k posunu pouze nepatrnému.

## 9 Závěrečné zhodnocení

Tato práce popisuje možnosti využití baterií jako zdroje trakční energie pro lehké kolejové vozidlo. V tomto případě se jednalo o modifikaci vozidla se spalovacím motorem, ale v případě novostavby by bylo možné koncepci lépe optimalizovat.

Celkovým výsledkem této práce bylo sestavení návrhu koncepce vozidla pro údržbu tratí o hmotnosti 15 t s dvěma hnanými nápravami a maximální rychlostí 75 km/h. Navrhnutý koncept počítá s pohonem dvěma asynchronními motory o celkovém výkonu 67 kW, přičemž zdroj elektrické energie tvoří baterie typu LFP Li-ion o kapacitě 420 Ah. Vozidlo s těmito parametry vyhovuje dovolené toleranci rozdílu zatížení náprav a je možné jej provozovat na tratích s traťovou třídou A.

V částech této práce, kde byla navrhována jednotlivá koncepční řešení, bylo pracováno s veřejně dostupnými informacemi a běžnými komerčními nabídkami výrobců a dodavatelů. Z tohoto důvodu byly například pro trakční pohon vybrány asynchronní motory pro průmyslové aplikace s celkovým výkonem nižším, než poskytovaly původní trakční hydromotory. Lze však předpokládat, že při ostrém zpracování koncepce výrobcem by se naskytla možnost poptávat pro jednotlivé části zakázkovou výrobu a získat tak pro vozidlo komponenty optimalizované na míru.

Je neoddiskutovatelné, že pořizovací cena bateriového vozidla by byla oproti původnímu vozidlu MUV 75 vyšší. Přímé provozní náklady však jednoznačně hovoří ve prospěch využití baterií a elektrické energie. Ukazují to i data z reálného provozu vozidel MUV 75 prezentované v této práci. Zatímco za spotřebovanou naftu během roku 2022 zaplatil provozovatel u nejvíce vytiženého vozidla přes 126 000 Kč, při ceně 5,80 Kč za 1 kWh elektrické energie by náklady byly zhruba o třetinu nižší (přibližně 84 000 Kč). V případě nabíjení z FVE by se provozní náklady na energii snížily téměř na nulu, reálně toho však docílit nelze, protože vyrobenou energii nelze dlouhodobě skladovat a rozdíl výroby FVE v zimě a v létě je výrazně odlišný. Přebytky FVE je však v létě možné využít pro jinou spotřebu než na vozidle, případně prodat. V roční bilanci tak lze, dle parametrů FVE, opravdu dosáhnout nulové nebo dokonce záporné bilance nákladů. Provozování bateriového vozidla by ale také mělo pozitivní dopad na životní prostředí – a to nejen snížením produkce spalin, ale také výrazně tišším provozem. Oba tyto aspekty by jistě byly velmi vítány nejen v běžné železniční dopravě, ale také například u vozidel určených pro údržbu tratí metra.

Závěrem zbývá jen uvést, že jak samotná práce ukázala, při hledání náhrad za fosilní paliva v pohonech na železnici je využití baterií schůdnou cestou – a to i v oblasti lehkých pracovních vozidel.

## Literatura

- [1] *Technická dokumentace výrobce vozidla: Motorový univerzální vozík MUV 75*. Česká Třebová, 2018.
- [2] SŽDC převzala první sériová vozidla MUV 75 od CZ LOKO. In: *Railpage.net* [online]. Spišská Nová Ves: Railpage.net, 2018 [cit. 2023-03-30]. ISSN 1339-1690. Dostupné z: <https://www.railpage.net/szdc-prevzala-prvni-seriova-vozidla-muv-75-od-cz-loko/>
- [3] SÝKORA, Petr, Tomáš LELEK a Ondřej SADÍLEK. EXPERIMENTÁLNÍ KOLEJOVÉ VOZIDLO DOPRAVNÍ FAKULTY JANA PERNERA. In: *Současné problémy v kolejových vozidlech: mezinárodní konference : sborník přednášek ...* Pardubice: Univerzita Pardubice, 2021.
- [4] Řada A219.0. In: *Prototypy.cz: Stránky O lokomotivních unikátech a prototypech na kolejích České a Slovenské republiky* [online]. Kroměřížská dráha, z. s., 2001 [cit. 2023-03-08]. Dostupné z: <http://prototypy.cz/?rada=A219.0>
- [5] An inside look at Tesla's P100D battery pack: more cells, 102 kWh capacity, backwards compatibility in mind. In: *Teslarati* [online]. [cit. 2023-04-14]. Dostupné z: <https://www.teslarati.com/inside-look-tesla-p100d-battery-pack-teardown/>
- [6] FERRIS, Dacia J. World's first industrial electric excavator has a 300 kWh battery pack that triples Tesla's P100D. In: *Teslarati* [online]. [cit. 2023-04-14]. Dostupné z: <https://www.teslarati.com/pon-equip-electric-excavator-300-kwh-battery-pack-norway/>
- [7] Cat 320 Z-Line rorlegging. In: *Pon Equipment* [online]. Pon Equipment AS, 2023 [cit. 2023-05-03]. Dostupné z: [https://www.pon-cat.com/application/files/6916/3523/9156/Cat\\_320\\_Z-Line\\_rorlegging\\_2\\_LR.jpg](https://www.pon-cat.com/application/files/6916/3523/9156/Cat_320_Z-Line_rorlegging_2_LR.jpg)
- [8] *CAT® 320 FEATURES: The Cat 320 Z-line battery electric hydraulic excavator delivers maximum performance with zero emissions*. CAT Pon Equipment.
- [9] *ENVIEL: Enviromentální komunální vozidlo* [online]. Zlín: ENVIEL Systems s.r.o. [cit. 2023-04-17].
- [10] ŘIHÁK, Michal. *PŘEHLEDOVÁ STUDIE POHONNÝCH JEDNOTEK PRO TRAKČNÍ TECHNIKU*. Pardubice, 2019. ROČNÍKOVÝ PROJEKT. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera.

- [11] NOVÁK, Jaroslav. *Elektrické pohony: Studijní opora*. Pardubice: Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, 2011.
- [12] *Elektromotory.net - Elektromotory SIEMENS* [online]. Vlastimil Moravec, 2011 [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://www.elektromotory.net/>
- [13] MAŠEK, Zdeněk. *Zkušenosti se spotřebami elektromobilu v zimních podmínkách*. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, 2023.
- [14] TRUONG, Hoai Vu Anh, Hoang Vu DAO, Tri Cuong DO, Cong Minh HO, Xuan Dinh TO, Tri Dung DANG a Kyoung Kwan AHN. Mapping Fuzzy Energy Management Strategy for PEM Fuel Cell–Battery–Supercapacitor Hybrid Excavator. *Energies*. MDPI, 2020, **13**(3387), 16-17. Dostupné z: doi:10.3390
- [15] FIŠR, Zdeněk a Tomáš MICHÁLEK. *PROGRAM RAILCALC 2.0: TECHNICKÁ A UŽIVATELSKÁ DOKUMENTACE*. Česká Třebová: Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, 2021.
- [16] *European Railway Atlas: Czech Republic & Slovakia*. Version: 1st May 2019. M G Ball, 2019. ISBN 978-1-9161212-0-1.
- [17] SADÍLEK, Ondřej. *NÁVRH A OPTIMALIZACE BATERIOVÉHO SYSTÉMU PRO KOLEJOVÉ VOZIDLO*. Pardubice, 2017. Disertační práce. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera. Vedoucí práce Doc. Ing. Stanislav Gregora, Ph.D.
- [18] ČSN EN 50160: *Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejných distribučních sítí*. Ed. 3. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [19] 24V 70Ah Battery Module. In: *Altairnano: MORE THAN JUST POWER – POWERFUL SOLUTIONS* [online]. Themnific Themes, 2023 [cit. 2023-05-06]. Dostupné z: <https://altairnano.com/products/battery-module/>
- [20] *CELL TYPE SP FA41255AM 125Ah*. SINOPOLY BATTERY INTERNATIONAL LIMITED, 2023.

- [21] SÝKORA, Petr a Zdeněk MAŠEK. VÝSLEDKY MĚŘENÍ A SIMULACÍ FOTOVOLTAICKÉHO NAPÁJENÍ KOLEJOVÝCH VOZIDEL V PODMÍNKÁCH ČR. In: *Současné problémy v kolejových vozidlech: XXV. konference s mezinárodní účastí*. Univerzita Pardubice, 2021.
- [22] Solární panel Longi 510Wp. In: *Neosolar: Energie a úsporné technologie* [online]. Jihlava: Neosolar s. r. o., 2023 [cit. 2023-05-03]. Dostupné z: <https://eshop.neosolar.cz/solarni-panel-longi-510wp/>
- [23] *Silektro Energy* [online]. [cit. 2023-04-16]. Dostupné z: <https://www.silektro.cz/>
- [24] ČESKÁ REPUBLIKA. Vyhláška č. 173/1995 Sb.: Vyhláška Ministerstva dopravy, kterou se vydává dopravní řád drah. In: *Zákony pro lidi - sbírka zákonů*. Praha, 1995, 46/1995. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1995-173>

## Seznam obrázků

Obr. 1: Vozidlo MUV 75 společně s přívěsným vozíkem. Zde v konfiguraci s hydraulickou rukou a určením pro provoz na konvenčních drahách. Fotografie: autor práce .....	10
Obr. 2: Vozidlo MUV 69.1 z roku 1983 vyfotografováno v roce 2022 během odstavení mezi provozními výkony. Fotografie: autor práce .....	11
Obr. 3: Typový výkres vozidla MUV 75. Převzato z [1]. .....	12
Obr. 4: Experimentální kolejové vozidlo DFJP. Převzato z [3] .....	16
Obr. 5: Lokomotiva A219.001. Autor fotografie: Bc. Rostislav Kolmačka, DiS. ....	17
Obr. 6: Bateriový bagr CAT 320 Z-line. Převzato z [7]. .....	20
Obr. 7: Detail zástavby hydromotoru u nápravové převodovky. Převzato z [1] .....	24
Obr. 8: Momentová charakteristika stejnosměrného motoru se sériovým buzením. Převzato z [10].....	25
Obr. 9: Mechanická charakteristika asynchronního elektromotoru. Převzato z [11]. ....	26
Obr. 10: Momentová charakteristika synchronního motoru. Převzato z [10]. ....	27
Obr. 11: Závislost krouticího momentu na zátěžném úhlu synchronního stroje. Převzato z [11].....	27
Obr. 12: Plánek přiděleného údržbového obvodu. Upraveno z [16]. .....	36
Obr. 13: Struktura času využití bateriového vozidla v rámci fiktivního modelu .....	41
Obr. 14: Struktura času využití vozidla MUV 75 v reálném provozu (říjen 2022).....	42
Obr. 15: Struktura času využití vozidla MUV 75 v reálném provozu (listopad 2022).....	42
Obr. 16: Blokové schéma elektrické výzbroje bateriového vozidla MUV 75.....	44
Obr. 17: Souřadný systém pro popis umístění komponent na vozidle. Upraveno z [1] .....	54
Obr. 18: Pohled na model spodní části vozidla MUV 75. Převzato z [1].....	56
Obr. 19: Vizualizace spodní části vozidla s trakční baterií umístěnou pod rámem. Upraveno z [1].....	57

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Souhrnný přehled základních charakteristik vozidla MUV 75 [1].....	13
Tabulka 2: Základní technické údaje experimentálního vozidla DFJP [3].....	15
Tabulka 3: Parametry solárních panelů [3].....	16
Tabulka 4: Základní technické údaje lokomotivy řady A219.0 [4].....	18
Tabulka 5: Základní technické údaje komunálního vozidla ENVIEL [9].....	21
Tabulka 6: Stanovení požadovaného rozsahu otáček trakčního motoru.....	23
Tabulka 7: Porovnání jednotlivých typů pohonných jednotek [10].....	28
Tabulka 8: Vlastnosti asynchronního stroje Siemens [12].....	29
Tabulka 9: Kalkulace statické spotřeby pro letní den.....	32
Tabulka 10: Rozdíly výsledků zjednodušeného a detailního výpočtu trakční energie.....	34
Tabulka 11: Souhrnný přehled energie spotřebované během provozního dne 1.....	37
Tabulka 12: Souhrnný přehled energie spotřebované během provozního dne 2.....	38
Tabulka 13: Souhrnný přehled energie spotřebované během provozního dne 3.....	39
Tabulka 14: Spotřeba PHM a využití vozidel MUV 75 v obvodu OŘ Ostrava.....	40
Tabulka 15: Přehled výhod a nevýhod technologie LTO – Li-ion [17].....	46
Tabulka 16: Přehled výhod a nevýhod technologie LFP Li-ion [17].....	46
Tabulka 17: Přehled výhod a nevýhod technologie NMC Li-ion [17].....	47
Tabulka 18: Parametry jednoho LFP Li-ion článku SP-FA41255BM [20].....	48
Tabulka 19: Výpočet těžiště a rozpis dílčích hmotností komponent původního vozidla MUV 75.....	55
Tabulka 20: Výpočet těžiště a rozpis dílčích hmotností komponent bateriového vozidla.....	57



## Seznam příloh

Příloha A: Kalkulace statické spotřeby pro všechna období provozu .....	66
Příloha B: Rozpis pracovního harmonogramu vozidla v rámci provozního dne 1 .....	67
Příloha C: Rozpis pracovního harmonogramu vozidla v rámci provozního dne 2 .....	68
Příloha D: Rozpis pracovního harmonogramu vozidla v rámci provozního dne 3 .....	69
Příloha E: Struktura spotřeby energie napříč modelovými provozními dny .....	70
Příloha F: Data z reálného provozu vozidla MUV 75 ev. č. 44 .....	71

Příloha A: Kalkulace statické spotřeby pro všechna období provozu

Spotřebič	Příkon [W]	Popis	Období provozu: LÉTO DEN				Období provozu: LÉTO NOC				Období provozu: ZIMA DEN				Období provozu: ZIMA NOC				
			S	J	PS	PJ	S	J	PS	PJ	S	J	PS	PJ	S	J	PS	PJ	
			Pracovní osvětlení	600	2 vpředu, 2 vzadu							100%	100%						
Návěstní světla	50	3 x B + 2 x Č (VLAK)	80%	100%			80%	100%			80%	100%			80%	100%			
	40	4 x B (POSUN)	10%		100%	100%	10%		100%	100%	10%		100%	100%	10%		100%	100%	
	20	2 x B (OBSAZ HV)	10%				10%				10%				10%				
	120	3 x dálkové						100%									100%		
Osvětlení kabiny	50						100%		10%					100%			10%		
<b>CELKEM osvětlení [Wh]</b>			<b>46</b>	<b>50</b>	<b>40</b>	<b>40</b>	<b>96</b>	<b>170</b>	<b>45</b>	<b>40</b>	<b>46</b>	<b>50</b>	<b>40</b>	<b>40</b>	<b>96</b>	<b>170</b>	<b>45</b>	<b>40</b>	
Klimatizace kabiny	2 500		40%	30%	40%	30%	40%	30%	40%	30%	50%	40%	50%	50%	50%	40%	50%	50%	
Rozmrazovače oken	320	2 okna ve směru jízdy									20%	30%			20%	30%			
	640	4 okna (celá kabina)											10%	10%			10%	10%	
Teplotní battery management	500		50%	90%	50%	75%	50%	90%	50%	75%	50%	90%	50%	75%	50%	90%	50%	75%	
Ohřev sušičky vzduchu	100										100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
<b>CELKEM teplotní regulace [Wh]</b>			<b>250</b>	<b>450</b>	<b>250</b>	<b>375</b>	<b>250</b>	<b>450</b>	<b>250</b>	<b>375</b>	<b>414</b>	<b>646</b>	<b>414</b>	<b>539</b>	<b>414</b>	<b>646</b>	<b>414</b>	<b>539</b>	
Kompresor + sušička	4 000		25%	80%	25%	50%	25%	80%	25%	50%	25%	80%	25%	50%	25%	80%	25%	50%	
Chladič oleje jeřábu	8 500				100%	100%				90%	90%			30%	30%			30%	30%
Hydraulická mechanizace	29 000				33%	33%				33%	33%			33%	33%			33%	33%
<b>CELKEM pomocné pohony, mechanizace [Wh]</b>			<b>1 000</b>	<b>3 200</b>	<b>19 070</b>	<b>20 070</b>	<b>1 000</b>	<b>3 200</b>	<b>18 220</b>	<b>19 220</b>	<b>1 000</b>	<b>3 200</b>	<b>13 120</b>	<b>14 120</b>	<b>1 000</b>	<b>3 200</b>	<b>13 120</b>	<b>14 120</b>	
Radiostanice	250		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
Řídicí systém vozidla	220		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
Měníč 230 V AC	500		50%	100%			50%	100%			50%	100%			50%	100%			
Ostatní spotřeba	150		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
<b>CELKEM elektronika [Wh]</b>			<b>870</b>	<b>1 120</b>	<b>620</b>	<b>620</b>	<b>870</b>	<b>1 120</b>	<b>620</b>	<b>620</b>	<b>870</b>	<b>1 120</b>	<b>620</b>	<b>620</b>	<b>870</b>	<b>1 120</b>	<b>620</b>	<b>620</b>	
<b>CELKEM energie za hodinu [kWh]</b>			<b>3,166</b>	<b>5,570</b>	<b>20,980</b>	<b>21,855</b>	<b>3,216</b>	<b>5,690</b>	<b>20,735</b>	<b>21,605</b>	<b>3,580</b>	<b>6,016</b>	<b>15,444</b>	<b>16,569</b>	<b>3,630</b>	<b>6,136</b>	<b>16,049</b>	<b>17,169</b>	

Příloha B: Rozpis pracovního harmonogramu vozidla v rámci provozního dne 1

Činnost [-]	Režim [-]	Začátek [h:min]	Místo (odkud)	Místo (kam)	Výkon [h:min]	Konec [h:min]	Výkon [h]	Trakční E. [kWh]	T + <R> [kWh]	Poznámka
Předtápění	-	5:00	Val. Meziříčí	Val. Meziříčí	1:00	6:00	1,00	-	-	Aut. ohřev baterií a prostorů pro obsluhu
Nakládka	PS	6:00	Val. Meziříčí	Val. Meziříčí	0:30	6:30	0,50	-	-	Naložení potřebného materiálu ve výchozím bodě (depu)
Přeprava	J	6:30	Val. Meziříčí	Bystřička	0:20	6:50	0,33	13,85	11,02	Přeprava do místa práce (8 km)
Příprava	S	6:50	Bystřička	Bystřička	0:10	7:00	0,17	-	-	Příprava před zahájením prací
Práce	PS	7:00	Bystřička	Bystřička	1:00	8:00	1,00	-	-	
Prostoj	S	8:00	Bystřička	Bystřička	1:20	9:20	1,33	-	-	Práce bez využití vozidla
Práce	PJ	9:20	Bystřička	Bystřička	0:40	10:00	0,67	-	-	
Příprava	S	10:00	Bystřička	Bystřička	0:10	10:10	0,17	-	-	Příprava před opuštěním pracovního místa
Přeprava	J	10:10	Bystřička	Val. Meziříčí	0:20	10:30	0,33	6,26	2,83	Přeprava na další místo práce (8 km)
Příprava	S	10:30	Val. Meziříčí	Val. Meziříčí	0:10	10:40	0,17	-	-	Příprava před zahájením prací
Práce	PS	10:40	Val. Meziříčí	Val. Meziříčí	0:40	11:20	0,67	-	-	
Prostoj	S	11:20	Val. Meziříčí	Val. Meziříčí	1:20	12:40	1,33	-	-	Práce bez využití vozidla
Práce	PJ	12:40	Val. Meziříčí	Val. Meziříčí	0:40	13:20	0,67	-	-	
Příprava	S	13:20	Val. Meziříčí	Val. Meziříčí	0:10	13:30	0,17	-	-	Příprava před opuštěním pracovního místa
Vykládka	PS	13:30	Val. Meziříčí	Val. Meziříčí	0:30	14:00	0,50	-	-	Vyložení materiálu ve výchozím bodě (depu)
<b>CELKEM</b>	<b>S</b>	-	-	-	<b>3:20</b>	-	<b>3,33</b>			
<b>CELKEM</b>	<b>J</b>	-	-	-	<b>0:40</b>	-	<b>0,67</b>			
<b>CELKEM</b>	<b>PS</b>	-	-	-	<b>2:40</b>	-	<b>2,67</b>			
<b>CELKEM</b>	<b>PJ</b>	-	-	-	<b>1:20</b>	-	<b>1,33</b>			

Poznámka: sloupec „Trakční E.“ uvádí hodnotu spotřebované trakční energie v případě nečinné rekuperace. Hodnoty trakční energie, která by byla spotřebována v případě rekuperace s účinností 75 %, uvádí sloupec „T + <R>“.

Příloha C: Rozpis pracovního harmonogramu vozidla v rámci provozního dne 2

Činnost [-]	Režim [-]	Začátek [h:min]	Místo (odkud)	Místo (kam)	Výkon [h:min]	Konec [h:min]	Výkon [h]	Trakční E. [kWh]	T + <R> [kWh]	Poznámka
Předtápění	-	5:00	Val. Meziříčí	Val. Meziříčí	1:00	6:00	1,00	-	-	Aut. ohřev baterií a prostorů pro obsluhu
Nakládka	PS	6:00	Val. Meziříčí	Val. Meziříčí	0:30	6:30	0,50	-	-	Naložení potřebného materiálu ve výchozím bodě (depu)
Přeprava	J	6:30	Val. Meziříčí	Rožnov p. R.	0:45	7:15	0,75	27,32	21,83	Přeprava do místa práce (15 km)
Příprava	S	7:15	Rožnov p. R.	Rožnov p. R.	0:10	7:25	0,17	-	-	Příprava před zahájením prací
Práce	PS	7:25	Rožnov p. R.	Rožnov p. R.	0:50	8:15	0,83	-	-	
Příprava	S	8:15	Rožnov p. R.	Rožnov p. R.	0:10	8:25	0,17	-	-	Příprava před opuštěním pracovního místa
Přeprava	J	8:25	Rožnov p. R.	Val. Meziříčí	0:45	9:10	0,75	6,75	-3,66	Přeprava do dalšího místa práce (15 km)
Přeprava	J	9:10	Val. Meziříčí	Kunovice-L.	0:45	9:55	0,75	29,73	27,18	Přeprava do dalšího místa práce (12 km)
Příprava	S	9:55	Kunovice-L.	Kunovice-L.	0:10	10:05	0,17	-	-	Příprava před zahájením prací
Práce	PS	10:05	Kunovice-L.	Kunovice-L.	0:50	10:55	0,83	-	-	
Příprava	S	10:55	Kunovice-L.	Kunovice-L.	0:10	11:05	0,17	-	-	Příprava před opuštěním pracovního místa
Přeprava	J	11:05	Kunovice-L.	Val. Meziříčí	0:45	11:50	0,75	6,04	-5,19	Přeprava do dalšího místa práce (12 km)
Přeprava	J	11:50	Val. Meziříčí	Hostašovice	0:20	12:10	0,33	23,24	22,72	Přeprava do dalšího místa práce (9 km)
Příprava	S	12:10	Hostašovice	Hostašovice	0:10	12:20	0,17	-	-	Příprava před zahájením prací
Práce	PS	12:20	Hostašovice	Hostašovice	0:50	13:10	0,83	-	-	
Příprava	S	13:10	Hostašovice	Hostašovice	0:10	13:20	0,17	-	-	Příprava před opuštěním pracovního místa
Přeprava	J	13:20	Hostašovice	Val. Meziříčí	0:10	13:30	0,17	2,48	-7,79	Přeprava do domovské stanice (9 km)
Vykládka	PS	13:30	Val. Meziříčí	Val. Meziříčí	0:30	14:00	0,50	-	-	Vyložení materiálu ve výchozím bodě (depu)
<b>CELKEM</b>	<b>S</b>	-	-	-	<b>1:00</b>	-	<b>1,00</b>			
<b>CELKEM</b>	<b>J</b>	-	-	-	<b>3:30</b>	-	<b>3,50</b>			
<b>CELKEM</b>	<b>PS</b>	-	-	-	<b>3:30</b>	-	<b>3,50</b>			
<b>CELKEM</b>	<b>PJ</b>	-	-	-	<b>0:00</b>	-	<b>0,00</b>			

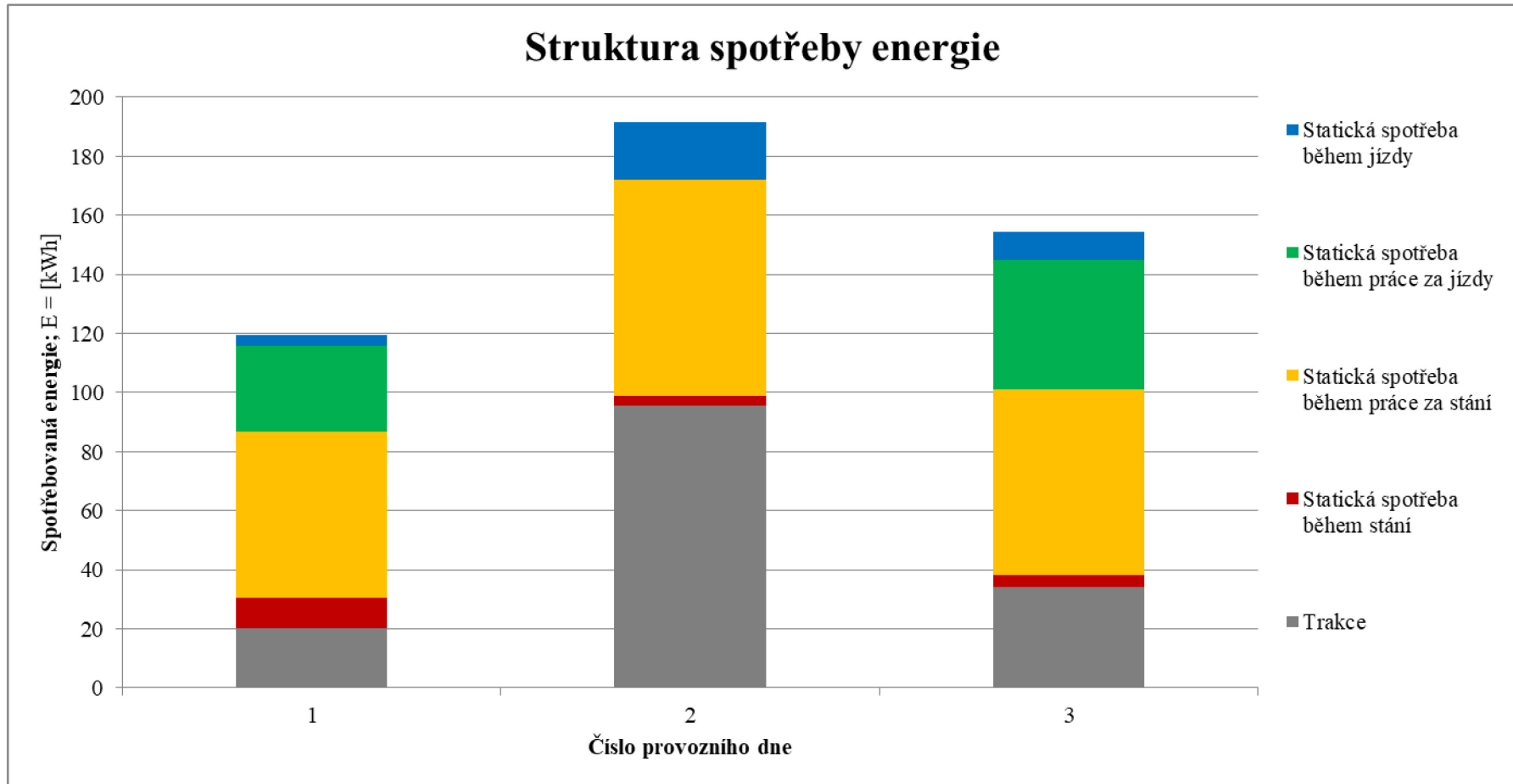
Poznámka: sloupec „Trakční E.“ uvádí hodnotu spotřebované trakční energie v případě nečinné rekuperace. Hodnoty trakční energie, která by byla spotřebována v případě rekuperace s účinností 75 %, uvádí sloupec „T + <R>“.

Příloha D: Rozpis pracovního harmonogramu vozidla v rámci provozního dne 3

Činnost [-]	Režim [-]	Začátek [h:min]	Místo (odkud)	Místo (kam)	Výkon [h:min]	Konec [h:min]	Výkon [h]	Trakční E. [kWh]	T + <R> [kWh]	Poznámka
Předtápění	-	5:00	Val. Meziříčí	Val. Meziříčí	1:00	6:00	1,00	-	-	Aut. ohřev baterií a prostorů pro obsluhu
Nakládka	PS	6:00	Val. Meziříčí	Val. Meziříčí	0:30	6:30	0,50	-	-	Naložení potřebného materiálu ve výchozím bodě (depu)
Přeprava	J	6:30	Val. Meziříčí	Rožnov p. R.	0:50	7:20	0,83	27,32	21,83	Přeprava do místa práce (15 km)
Příprava	S	7:20	Rožnov p. R.	Rožnov p. R.	0:10	7:30	0,17	-	-	Příprava před zahájením prací
Práce	PS	7:30	Rožnov p. R.	Rožnov p. R.	1:00	8:30	1,00	-	-	
Práce	PJ	8:30	Rožnov p. R.	Rožnov p. R.	1:00	9:30	1,00	-	-	
Práce	S	9:30	Rožnov p. R.	Rožnov p. R.	1:00	10:30	1,00	-	-	Práce bez využití vozidla
Práce	PS	10:30	Rožnov p. R.	Rožnov p. R.	1:00	11:30	1,00	-	-	
Práce	PJ	11:30	Rožnov p. R.	Rožnov p. R.	1:00	12:30	1,00	-	-	
Příprava	S	12:30	Rožnov p. R.	Rožnov p. R.	0:10	12:40	0,17	-	-	Příprava před opuštěním pracovního místa
Přeprava	J	12:40	Rožnov p. R.	Val. Meziříčí	0:50	13:30	0,83	6,75	-3,66	Přeprava do domovské stanice (15 km)
Vykládka	PS	13:30	Val. Meziříčí	Rožnov p. R.	0:30	14:00	0,50	-	-	Vyložení materiálu ve výchozím bodě (depu)
<b>CELKEM</b>	<b>S</b>	-	-	-	<b>1:20</b>	-	<b>1,33</b>			
<b>CELKEM</b>	<b>J</b>	-	-	-	<b>1:40</b>	-	<b>1,67</b>			
<b>CELKEM</b>	<b>PS</b>	-	-	-	<b>3:00</b>	-	<b>3,00</b>			
<b>CELKEM</b>	<b>PJ</b>	-	-	-	<b>2:00</b>	-	<b>2,00</b>			

Poznámka: sloupec „Trakční E.“ uvádí hodnotu spotřebované trakční energie v případě nečinné rekuperace. Hodnoty trakční energie, která by byla spotřebována v případě rekuperace s účinností 75 %, uvádí sloupec „T + <R>“.

Příloha E: Struktura spotřeby energie napříč modelovými provozními dny



Příloha F: Data z reálného provozu vozidla MUV 75 ev. č. 44

Den	Datum	Doba stání [h]	Doba jízdy [h]	Akt. využití [h]	Ujeto za směnu [km]	Spotřeba PHM [dm <sup>3</sup> ]	Práce [kWh]	Energie baterie [kWh]
②	04.10.2022	1,3	1,0	2,3	6,3	3,2	13	16
③	05.10.2022	4,2	2,0	6,2	25,6	22,3	87	109
⑤	07.10.2022	3,4	1,9	5,3	14,8	16,0	63	78
①	10.10.2022	2,7	3,3	6,0	109,5	35,2	138	172
②	11.10.2022	6,1	0,7	6,8	7,6	19,2	75	94
③	12.10.2022	2,2	1,4	3,6	14,4	9,6	38	47
④	13.10.2022	5,6	2,9	8,5	28,7	19,1	75	93
⑤	14.10.2022	5,1	1,6	6,7	19,5	19,1	75	93
②	18.10.2022	2,4	1,5	3,9	16,4	12,8	50	63
③	19.10.2022	0,2	0,1	0,3	0,1	3,2	13	16
④	20.10.2022	2,9	1,2	4,1	10,6	9,6	38	47
⑤	21.10.2022	3,1	1,0	4,1	9,8	19,2	75	94
①	24.10.2022	3,9	2,1	6,0	30,8	22,3	87	109
②	25.10.2022	4,9	0,1	5,0	0,6	9,6	38	47
③	26.10.2022	4,0	0,8	4,8	10,4	9,6	38	47
④	27.10.2022	5,0	1,4	6,4	18,0	16,0	63	78
①	31.10.2022	1,2	0,6	1,8	0,5	3,2	13	16
②	01.11.2022	1,8	3,9	5,7	135,1	38,3	150	187
③	02.11.2022	4,0	2,0	6,0	17,0	19,1	75	93
④	03.11.2022	0,2	3,9	4,1	123,4	28,8	113	141
⑤	04.11.2022	2,9	1,2	4,1	17,1	9,6	38	47
①	07.11.2022	3,6	0,9	4,5	12,9	9,6	38	47
②	08.11.2022	7,5	2,5	10,0	37,0	35,1	137	172
③	09.11.2022	2,4	2,3	4,7	17,1	16,0	63	78
⑤	11.11.2022	4,9	0,7	5,6	10,4	22,3	87	109
①	14.11.2022	1,5	1,3	2,8	8,5	9,6	38	47
⑤	18.11.2022	1,5	1,2	2,7	13,4	9,6	38	47
①	21.11.2022	5,9	2,4	8,3	20,7	19,2	75	94
②	22.11.2022	6,6	1,0	7,6	9,4	19,1	75	93
③	23.11.2022	7,3	1,0	8,3	14,1	19,1	75	93
④	24.11.2022	5,3	2,3	7,6	17,0	19,1	75	93
⑤	25.11.2022	6,5	2,0	8,5	21,9	16,0	63	78
⑦	27.11.2022	5,9	0,7	6,6	12,0	12,8	50	63
①	28.11.2022	4,6	1,5	6,1	22,1	19,1	75	93
②	29.11.2022	10,8	1,3	12,1	12,6	22,3	87	109
③	30.11.2022	3,7	1,5	5,2	18,4	15,9	62	78
<b>Průměr</b>		<b>4,0</b>	<b>1,6</b>	<b>5,6</b>	<b>24,0</b>	<b>16,9</b>	<b>66</b>	<b>83</b>
<b>Maximum</b>		<b>10,8</b>	<b>3,9</b>	<b>12,1</b>	<b>135,1</b>	<b>38,3</b>	<b>150</b>	<b>187</b>
<b>Poměr z akt. využití</b>		<b>72%</b>	<b>28%</b>	-	-	-	-	-

Poznámka: Ve sloupci den je prostřednictvím čísel ① až ⑦ uvedeno, o který den týdne se jedná (① = pondělí; ⑦ = neděle).