

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Optimalizace napájení vedlejších spotřebičů ve dvouzdrojové elektrické  
regionální jednotce

Bc. Jan Skala

Diplomová práce

2017

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan Skala**  
Osobní číslo: **D15455**  
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**  
Studijní obor: **Elektrotechnické a elektronické systémy v dopravě**  
Název tématu: **Optimalizace napájení vedlejších spotřebičů ve dvouzdrojové elektrické regionální jednotce**  
Zadávací katedra: **Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Systematika vedlejší spotřeby elektrické energie na železničních trakčních vozidlech pro přepravu osob
2. Dvouzdrojová elektrická trakční jednotka trolej - akumulátor
3. Struktura a kvantifikace vedlejších spotřebičů elektrické dvouzdrojové jednotky, provozní režimy a požadavky
4. Struktura a dimenzování zdrojů AC a DC palubní sítě
5. Struktura a dimenzování pomocných akumulátorů
6. Celkové uspořádání, schéma zapojení, prostorové uspořádání

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

Danzer, J.: Elektrická trakce I., skriptum ZČU v Plzni, FEL, Plzeň 2000, ISBN 80 - 7082 - 633 - 9

Danzer, J.: Elektrická trakce II., skriptum ZČU v Plzni, FEL, Plzeň 2001, ISBN 80 - 7082 - 814 - 5

Danzer, J.: Elektrická trakce III., skriptum ZČU v Plzni, FEL, Plzeň 2003, ISBN 80 - 7082 - 945 - 1

Danzer, J.: Elektrická trakce IV., skriptum ZČU v Plzni, FEL, Plzeň 2007, ISBN 978 - 80 - 7043 - 586 - 1


Vedoucí diplomové práce:

**prof. Ing. Jaroslav Novák, CSc.**


Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě

Datum zadání diplomové práce: **27. října 2016**

Termín odevzdání diplomové práce: **26. května 2017**

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

L.S.

  
Ing. Dušan Čermák, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 3. března 2017

Prohlašuji:

Tuto práci 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., autorský zákon, 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. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 26. 5. 2017

Bc. Jan Skála

## **Poděkování**

Velmi děkuji vedoucímu bakalářské práce panu Prof. Ing. Jaroslavu Novákovi CSc. za cenné rady, užitečné připomínky a věcné konzultace po celou dobu zpracování této práce. Dále bych poděkoval panu Ing. Jiřímu Pohlovi za odborné konzultace s praktickými připomínkami. Také děkuji Katedře elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě, Dopravní fakulty Jana Pernera za poskytnutí interních materiálů.

## **Anotace**

V první kapitole se tato práce zabývá obecným rozbohem vedlejších spotřeb na železničních vozidlech, se snahou o ucelení problematiky (možné spotřeby). Dále jsou popsány možnosti napájení a nutnost zálohování spotřebičů. Další kapitola popisuje dvouzdrojovou elektrickou trakční jednotku z hlediska výhod při zvolení plně elektrického pohonu a vysvětluje důvody zvolení uvažované konfigurace. V třetí kapitole jsou vypsány jednotlivé spotřebiče umístěné na jednotce. Následně jsou popsány jednotlivé provozní režimy. Ve čtvrté kapitole jsou navrženy různé konfigurace palubních sítí a jejich napájení. Následně je provedeno jejich porovnání. Dále jsou vypočítány parametry jednotlivých použitých měničů. Pátá kapitola se zabývá dimenzováním pomocné baterie z hlediska potřebné energie pro napájení zařízení po určený minimální čas. Poslední kapitola popisuje prostorové uspořádání vozidla, celkové elektrické zapojení a umístění elektrických spotřebičů na jednotce.

## **Klíčová slova**

Netrakční spotřeba, elektrická jednotka, akumulátor, palubní síť

## **Title**

Optimization power supply of auxiliary devices in a two-source electric regional unit

## **Annotation**

In the first chapter, this thesis deals with the general analysis of secondary consumption on railway vehicles with an effort to understand the issue (possible consumption). In addition, there are described the power options and the need to back up the devices. The next chapter describes a two-source electric traction unit from the aspect of the advantages of selecting a fully electric drive, and explains the reasons for choosing the configuration under consideration. The third chapter lists individual devices located on the unit. Further are described operating modes. The fourth chapter proposes different configurations of the onboard networks and their power supplies. They are compared below. In addition, the parameters of the used individual inverters are calculated. The fifth chapter deals with dimensioning of the auxiliary battery in terms of the necessary energy to power the device for a specified minimum time. The last chapter describes the layout of the vehicle, the general electrical connection and the location of the electrical devices on the unit.

## **Keywords**

Non-traction consumption, electric multiple unit, accumulator, onboard power line

# OBSAH

Úvod.....	- 9 -
1 Systematika vedlejší spotřeby elektrické energie.....	- 10 -
1.1 Systematika spotřebičů.....	- 10 -
1.1.1 Pomocné pohony.....	- 10 -
1.1.2 Topení .....	- 23 -
1.1.3 Osvětlení .....	- 24 -
1.1.4 Řízení.....	- 25 -
1.1.5 Akumulátorové baterie .....	- 27 -
1.2 Systematika zdrojů .....	- 28 -
1.2.1 Způsoby napájení.....	- 28 -
1.2.2 Zálohování .....	- 31 -
1.2.3 Napájení a redundance netrakčních spotřebičů .....	- 33 -
2 Dvouzdrojová elektrická trakční jednotka (trolej – akumulátor) .....	- 34 -
2.1 Důvody nasazování elektrických trakčních jednotek.....	- 34 -
2.2 Popis a parametry .....	- 35 -
2.3 Struktura a funkce .....	- 36 -
3 Struktura a kvantifikace vedlejších spotřebičů elektrické dvouzdrojové jednotky, provozní režimy a požadavky .....	- 38 -
3.1 Struktura vedlejších spotřebičů (kvantifikace).....	- 38 -
3.2 Provozní režimy .....	- 40 -
3.2.1 Předtápění (předchlazení) .....	- 40 -
3.2.2 Pohotovost .....	- 40 -
3.2.3 Jízda .....	- 41 -
3.2.4 Údržba a diagnostika .....	- 41 -
3.2.5 Aktivní odstavení.....	- 41 -
3.2.6 Porucha (ztráta napájení) .....	- 41 -
3.3 Aktivní spotřebiče v jednotlivých režimech .....	- 42 -
4 Struktura a dimenzování zdrojů palubních sítí .....	- 43 -
4.1 Napájení z trolejového vedení.....	- 44 -
4.1.1 Konfigurace palubních sítí – AC = 3x 400 V 50 Hz; DC = 110 V.....	- 44 -
4.1.2 Konfigurace palubních sítí – DC = 600V; 110V .....	- 48 -
4.2 Napájení z trakční baterie.....	- 52 -
4.2.1 Palubní síť – AC = 3x 400 V 50 Hz; DC = 110 V .....	- 52 -

4.2.2	Palubní síť – DC = 600 V; 110 V .....	55 -
4.3	Doporučené zapojení palubních sítí .....	59 -
4.3.1	Palubní síť 3x 400 V <sub>AC</sub> 50 Hz a 110 V <sub>DC</sub> (galvanicky oddělené od trakční baterie) - 59 -	
4.3.2	Palubní síť 3x 400 V <sub>AC</sub> 50 Hz a 110 V <sub>DC</sub> (bez galvanického oddělení střídavé palubní sítě) .....	60 -
4.3.3	Palubní síť 600 V <sub>DC</sub> a 110 V <sub>DC</sub> (galvanicky oddělené od trakční baterie) ...	61 -
4.3.4	Palubní síť 600 V <sub>DC</sub> a 110 V <sub>DC</sub> (bez galvanického oddělení palubní sítě 600 V <sub>DC</sub> ) - 62 -	
4.4	Porovnání konfigurací 3x 400 V <sub>AC</sub> a 600 V <sub>DC</sub> .....	63 -
4.5	Dimenzování zdrojů palubních sítí 600 V <sub>DC</sub> a 110 V <sub>DC</sub> .....	69 -
5	Struktura a dimenzování pomocných akumulátorů .....	72 -
5.1	Systémové požadavky .....	72 -
5.1.1	Požadavky na nabíjení .....	72 -
5.1.2	Požadavky na vybíjení .....	73 -
5.1.3	Požadavky na návrh kapacity baterie .....	74 -
5.1.4	Požadavky ochranné a bezpečnostní .....	75 -
5.1.5	Návrh mechanické konstrukce akumulátorových baterií .....	76 -
5.2	Olověné akumulátorové baterie .....	77 -
5.3	NiCd (nikl-kadmiové) akumulátorové baterie (vždy tekutý elektrolyt) .....	78 -
5.4	Dimenzování pomocné akumulátorové baterie .....	80 -
6	Celkové uspořádání, schéma zapojení a prostorové uspořádání .....	84 -
6.1	Celkové uspořádání .....	84 -
6.2	Schéma zapojení .....	85 -
6.3	Prostorové uspořádání .....	85 -
	Závěr .....	89 -
	Seznam použité literatury .....	91 -
	Seznam tabulek .....	92 -
	Seznam obrázků .....	93 -
	Seznam zkratk .....	95 -
	Seznam Příloh .....	96 -

## ÚVOD

Elektrická železniční vozidla pro svoji činnost potřebují čerpat energii. Ve většině případů slouží jako zdroj trolejový drát kopírující trať. Vlakovou soupravu si můžeme představit jako spotřebič, připojený na zdroj pomocí sběrače a železných dvojkolí tvořících zpětnou cestu. Elektrická energie odebíraná hnacími vozidly obou proudových sestav (stejnoseměrných i střídavých) se využívá nejen k trakčním účelům, ale i pro vedlejší spotřebu jako například topení, klimatizace, informační systémy, světla atd.

Trakční spotřeba je složka celkového příkonu, která se přímo podílí na trakci, tedy na vytváření tažné síly. Spotřebovanou energii můžeme rozdělit na ztráty v trakční výzbroji a výkon trakčních motorů. V trakčním transformátoru průchodem proudů vznikají ztráty způsobené odporem vinutí primární a sekundární cívky, které se maří v podobě tepla a dále ztráty v magnetickém obvodu transformátoru (magnetizační a vířivými proudy). Také můžeme uvést trakční měnič, který slouží k přeměně energie na vhodnou formu pro napájení trakčních motorů.

Zařízení vedlejší spotřeby můžeme rozdělit na dvě základní skupiny, nesouvisející a nepřímo související s trakcí. Do první skupiny se řadí převážně spotřebiče zajišťující komfort cestujících (klimatizace, topení, obrazovky, rozhlas, elektrické zásuvky atd.). Druhá skupina pomáhá zachovávat pracovní podmínky trakčních obvodů. Jedná se tedy o velmi významné zařízení a jejich činnost je často úzce spojena se správnou funkcí (spolehlivostí) vozidla.

Převážná většina těchto spotřebičů je napájena z palubních sítí, které slouží jako rozvod energie v rámci celého vlaku s vhodným napětím. V moderních vozidlech jsou obvykle dvě. První slouží převážně jako zdroj energie pro střídavé pohony připojené napřímo, spínané stykačem nebo přes měnič. Druhá je stejnosměrná sběrnice (obvykle o hodnotě nízkého napětí např. 110V), která také dobíjí pomocný akumulátor.

Tato práce by měla rozpracovat koncept dvouvozové elektrické jednotky z hlediska vedlejší spotřeby. Výstupem této práce bude určení veškerých zařízení včetně jejich odběru a výsledné elektrické schéma s návrhem použitých měničů (potřebné parametry). Jelikož u elektrické jednotky je nutné uvažovat i možnost ztráty napájení (z troleje či trakční baterie), bude nutné provést dimenzování pomocné baterie.

Na závěr práce bude uvedena prostorová koncepce vozidla s umístěním zařízení vedlejší spotřeby.

# 1 SYSTEMATIKA VEDLEJŠÍ SPOTŘEBY ELEKTRICKÉ ENERGIE

Jedná se o velmi rozmanité spotřebiče s výkony od jednotek wattů (relé, signální žárovky) po stovky kilowattů (topení vlaku). Také se velmi liší požadavky na napájecí zdroje. Použité prvky musí splňovat požadavky na kompatibilitu s již provozovanými typy. V tabulce níže jsou uvedeny nejběžnější zařízení včetně přibližného příkonu.

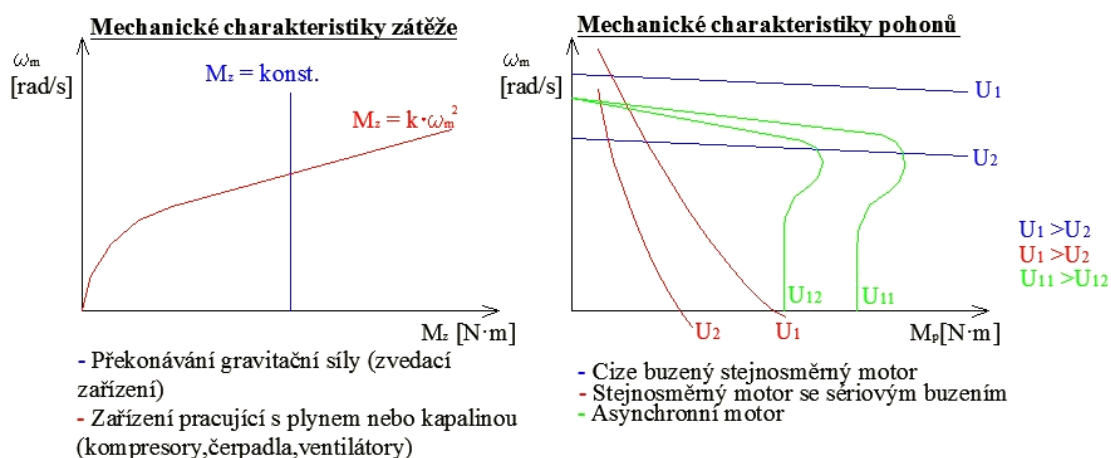
Zařízení	Příkon [kW]
Topení vlaku ev. jiná sběrnice pro zásobování soupravy energií	300 – 1000
Klimatizace vozu	20 – 40
Ventilátory	4 – 50
Kompresory	5 – 25
Topení (klimatizace) stanoviště	3 – 10
Nabíjení baterie	5 – 10
Čerpadla (oleje, chladicí kapaliny)	0,5 – 3
Pomocný kompresor	1 – 2
Rozmrazovač (polovina čelního okna)	0,5 – 2
Elektronická zařízení (řídící počítač, zabezpečovač ap., jednotlivě)	0,1 – 1

Tab. 1.1 – *Typická zařízení vedlejší spotřeby [1]*

## 1.1 Systematika spotřebičů

Ze zařízení vedlejší spotřeby se zvláště vyčleňují pomocné pohony, které jsou převážně těsně svázané s trakčními obvody. Jedná se o spotřebiče poměrně značného výkonu se speciálními požadavky na napájení a rozběh (rozběh, řízení otáček). Do této skupiny spadají pohony ventilátorů, kompresorů, čerpadel a dalších zařízení.

### 1.1.1 Pomocné pohony



Obr. 1.1 – *Mechanické charakteristiky základních motorů a zátěží [1]*

U starších stejnosměrných vozidel byly pomocné pohony napájené přímo z troleje, poté s přechodem na vyšší napětí (3kV) se motory začaly zapojovat do motorových skupin (stejně jako motory trakční). Spouštění probíhalo ve dvou stupních s ohledem na proudové a momentové rázy.

Stejná generace střídavých vozidel používala také stejnosměrné motory, napájené ze samostatného vinutí transformátoru přes diodový usměrňovač. Později byly diody nahrazeny tyristory, které umožňovaly plynulý rozběh a řízení otáček. Dalším řešením bylo využití asynchronních motorů, buď jednofázových (s kondenzátorovou fází) nebo třífázových.

Asynchronní motory mají nevýhodu závislosti velikosti momentu na velikosti napájecího napětí. To neplatí u stejnosměrných sériových motorů, ale zase vyžadují více údržby (sběrací ústrojí). Výhodou asynchronních pohonů je menší rozměr i hmotnost oproti stejnosměrným se stejným výkonem. Dále díky jednodušší výrobě mají nižší pořizovací cenu. Díky absenci kartáčů vykazují vyšší životnost, spolehlivost a menší nároky na údržbu. Výhodou stejnosměrných pohonů je možnost jednoduchého řízení (regulátor napětí) a možnost napájení přímo z baterie.

U moderních vozidel se asynchronní pohony používají tam, kde jsou potřeba vyšší výkony s ohledem na menší nutnost údržby a vyšší spolehlivost (např. hlavní kompresor). Oproti tomu pro nenáročné aplikace se využívají stejnosměrné pohony (např. výsuvné schody, pohony dveří).

## **Ventilátory**

Jsou to zařízení zajišťující chlazení pomocí nuceného proudění vzduchu. Využívají se především pro odvedení tepla od elektrických zařízení, trakčních motorů, měničů, odporníků, výměníků tepla (radiátory, chladiče) a jiných chladících médií (např. oleje transformátorů ve výměníku). Zásadně ovlivňují provozuschopnost a koncepci vozidla. Ventilátory se liší nejen ve velikosti výkonu, ale i počtem oběžných kol a použitými lopatkami včetně jejich natočení.

Na odporových stejnosměrných vozidlech bylo výhodné používat stejnosměrné motory převážně při chlazení odporníků, kdy napájení bylo provedeno pomocí vhodně navržené odbočky brzdového odporníku. Část brzdové energie pohání ventilátory a je závislá na výkonu mařeném v odporníku. Toto zapojení nevyžaduje žádné řídicí obvody. Od zavedení pulzní regulace se na stejnosměrných vozidlech používají stejnosměrné motory napájené,

spouštěné a řízené z pulzních měničů. Nad 20 kW jsou ventilátory obvykle se stejnosměrným pohonem.

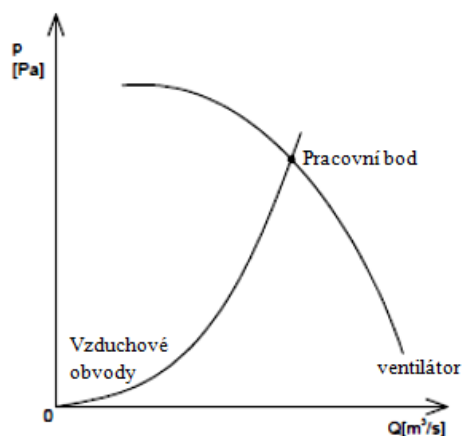
Na stejnosměrné trakci (3 kV) se používají snižovací (primární) měniče pro vytvoření palubní sítě, z které jsou napájeny asynchronní pomocné pohony přes střídače odpovídajících parametrů (ovšem nejsou galvanicky oddělené od troleje). Tím je umožněno snížení hmotnosti motorů, plynulý rozběh a řízení otáček. Díky menšímu objemu lze asynchronní motory snadno vestavět přímo do ventilátorů a díky nepatrné údržbě je výhodné použít větší počet malých motorů s minimem vzduchovodů, které lze napájet ze společného měniče. Ovládání je realizováno pomocí spínání stykačů. Střídač může být se standartním nebo proměnným výstupem (frekvence a napětí). Volíme podle požadavku na plynulou regulaci otáček. Střídače napájené ze stejnosměrné sítě musí mít dostatečnou velikost napětí, aby i v rámci kolísání bylo zajištěno jmenovité napětí na jeho výstupu. Pokud rozbíháme asynchronní pomocné pohony přímým připojením k palubní síti (např. stykačem), budou působit velké rozběhové proudy při poměrně malém záběrovém momentu (obecně se doporučuje takto rozbíhat motory do výkonu jednotek kW). U vyšších výkonů se používá řízený rozběh, při kterém se řídí napájecí napětí a frekvence tak, aby byl dodržen jejich poměr. Tím je zajištěn rozběh s konstantním momentem.

Řízení ventilátorů může být provedeno jako poloautomatické nebo automatické. Ovladač poloautomatického řízení má obvykle tři polohy. První slouží k trvalému vypnutí. Druhá poloha zajišťuje automatické řízení a třetí je trvalý chod umožňující zchladit přístroje před očekávaným přetížením nebo úplné vychlazení po něm. Automatické řízení může spínat ventilátory při najetí na odporové stupně, překročení nastaveného proudu nebo maximální přípustné teploty. Vypínání je provedeno s přiměřenou hysterezí. U zařízení řízených pomocí procesoru lze použít složitější algoritmy a korigovat hranice spínání podle více faktorů (teplota okolí, zpoždění rozběhu atd.). Pokud spotřebič má dostatečně dlouhou tepelnou konstantu, postačí dvouhodnotová regulace a tam kde lze nastavit dostatečně velký odstup mezi hranicemi spínání, aby nedocházelo ke stálému spínání.

#### **Základní parametry (při jmenovitých otáčkách):**

- Množství dodávaného vzduchu  $Q$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]
- Přetlak  $p$  [Pa]
- Příkon motoru  $P$  [kW]

Na straně vzduchu je dán výkon ventilátoru ( $P_V$ ) součinem tlaku (přetlaku) a množství dodávaného vzduchu. Poté je účinnost v daném bodě dána poměrem výkonu na straně vzduchu ku příkonu. V optimálním pracovním bodě obvykle nepřesahuje 60 %.



Obr. 1.2 – Charakteristika ventilátoru a zátěže [1]

**Charakteristika vzduchové zátěže** – Aerodynamický odpor závisí na kvadrátu rychlosti pro každý konkrétní tvar cesty vzduchu. Pokud se cesta skládá z více různých úseků, potom celkový odpor je dán sumou odporů jednotlivých úseků. Skutečné množství a tlak je určen pracovním bodem (průsečík charakteristik ventilátoru a zátěže). Platí, že množství vzduchu je úměrné otáčkám ventilátoru, přitom tlak je úměrný kvadrátu otáček a výkon na straně vzduchu roste s třetí mocninou otáček. Tedy změnou otáček řídíme přímo množství nasávaného vzduchu, ale jedná se o regulaci nevhodnou. Výsledná charakteristika ventilátoru také závisí na natočení jeho lopatek.

Odvod tepla pomocí vzduchu patří mezi nejčastější používané metody chlazení. Nejedná se o záležitost ryze elektrotechnickou, ale těsně související s provedením elektrických strojů a zařízení. Výsledná realizace ovlivňuje do značné míry uspořádání vozidel. V konečném efektu je potřeba, aby do vzduchu odešlo veškeré teplo vznikající ztrátami. Nevýhodou vzduchu je menší kapacita a chladivost oproti kapalinám. Z toho vyplývají nároky na vzduchovody. Vzduchový chladicí systém je nejčastěji otevřený (naopak kapalinový vždy uzavřený). Tedy je velmi důležité řešit odstraňování nečistot, prachu, vody, sněhu z nasávaného vzduchu a zároveň způsob výstupu z vozidla.

### Ztráty elektrických zařízení způsobují zahřívání a vznikají:

- Vedením proudu ve vodičích (úměrné kvadrátu proudu) a v polovodičích (např. spínací ztráty), také ztráty v odpornících (brzdové i topné)
- V magnetických obvodech, hysterezní a vířivými proudy (závislé na sycení a kmitočtu) – lze zde také zahrnout ztráty v konstrukčních částech, do nichž zasahují rozptylové toky
- Mechanické (např. v převodovce – ve výši od 2,5 % procházejícího výkonu)
- Dielektrické v kondenzátorech (relativně malé kolem 0,2...0,8 W/kVA průchozího střídavého výkonu)

### Další zdroje tepla na vozidle:

- Kompresorem vznikající kompresní teplo
- Sluneční energie (u nás v létě může představovat až 1 kW/m<sup>2</sup>) – uplatní se hlavně u vozidel v klidu a mimo provoz (řešením je pouze přiměřené přirozené chlazení)

Výkon, odvedený chlazením (v ustáleném stavu), závisí na tepelném spádu a tepelném odporu. U vzduchového chlazení je využitelný tepelný spád dán nejvyšší předpokládanou (předepsanou) teplotou okolí a nejvyšší teplotou chlazeného povrchu.

Zařízení	Minimální teplota [°C]	Maximální teplota [°C]
Laboratorní a spotřební elektronika	+5	+35
Displeje LCD (standartní)	-10	+50
Průmyslová elektronika a přístroje	-25	+70
Teplota okolí pro vozidla ČD	-30	+40
Teplota okolí pro vozidla v Rusku	-50	+50
Vojenské elektrické součásti a zařízení	-55	+125

Tab. 1.2 – Příklady typických rozsahů teplot pro některá zařízení [1]

Nejvyšší teploty chlazeného povrchu jsou dány požadavky chlazeného zařízení (např. třída izolace motorů, dovolená teplota polovodičů) nebo vlastnostmi chladiva (teploty varu – voda nebo rozkladu – olej). Pokud se nechladí přímo část, kde vzniká teplo (většinou), je nutno vzít v úvahu tepelný spád mezi touto částí a chlazeným povrchem a tepelný spád do chladiva. Pro jednorozměrný tok tepla lze při zjednodušení využít analogii s elektrickými obvody (tepelné náhradní schéma). Zdrojem nepřesností bývá nízká přesnost údajů o tepelných odporech. Jedná se o hojně využívanou metodu, kterou je nutné opřít o experimentální údaje. Kromě tepelných odporů se v přechodných stavech uplatní i tepelné kapacity (dané měrnou tepelnou kapacitou a hmotností příslušných částí). Od kondenzátoru

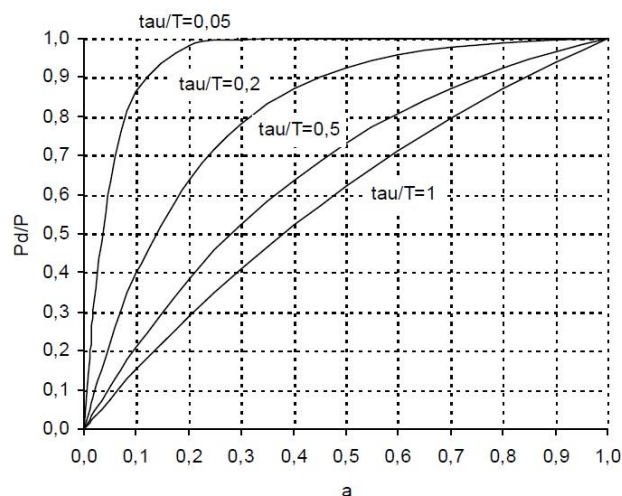
nebývá teplota příslušné části všude stejná, proto se počítá jen s částí skutečné hmotnosti (odvozené měřením na obdobných zařízeních).

Zda stačí zařízení dimenzovat na střední nebo spíše maximální výkon, určuje časový průběh zatížení (přetížení) v poměru k jejich tepelné časové konstantě (v provozu). Pokud uvažujeme ztráty úměrné kvadrátu proudu, pak oteplování probíhá podle exponenciály a při zatížení jmenovitým proudem je dosaženo maximální dovolené oteplení (to dopovídá oteplovací zkoušce motorů). Poté lze určit dobu, kdy bude dosaženo tohoto oteplení při vyšším proudu (než jmenovitém), je-li dána tepelná časová konstanta  $\tau$ . Použití tepelné časové konstanty představuje určité zjednodušení, při kterém se tepelná soustava převádí na soustavu 1. řádu.

V provozu je častějším případem opakované cyklické zatěžování. Pokud je zatížení cyklické s periodou  $T$ , doba zatížení v cyklu  $aT$  a ochlazovací i oteplovací konstanta  $\tau$  je stejná, je poměr skutečného výkonu při zatížení  $P$  k dimenzovanému výkonu  $P_d$  (trvalý výkon) dán vztahem:

$$\frac{P_d}{P} = \frac{1 - e^{-\frac{aT}{\tau}}}{1 - e^{-\frac{T}{\tau}}} \leq 1 \quad (1.1)$$

- $P_d$  – dimenzovaný (trvalý) výkon [W]
- $P$  – skutečný výkon při zatížení [W]
- $T$  – perioda zatěžování [s]
- $a$  – a-tý cyklus [-]
- $\tau$  – Oteplovací (ochlazovací) konstanta [s]



Obr. 1.3 – Závislost přetížitelnosti na časové konstantě a způsobu zatěžování [1]

Na vozidle mají zařízení velmi rozdílné tepelné konstanty, proto by měla být jednotlivá zařízení různě dimenzována (ve smyslu stanovení trvalého výkonu).

Zařízení	Tepelná časová konstanta [min]
Měnič s nuceným chlazením vzduchem	2
Dtto s olejovým chlazením	15
Trakční motor s cizím chlazením	20
Trakční transformátor	60

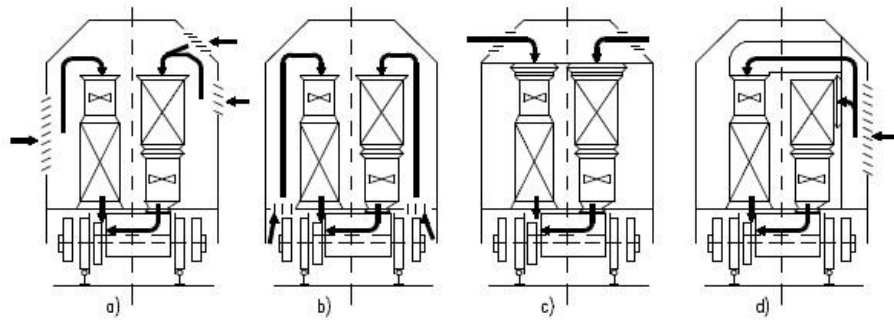
Tab. 1.3 – Příklady tepelných konstant typických zařízení [1]

Vzduchový obvod cizího chlazení představuje osu, která propojuje nejdůležitější (především elektrická) zařízení. Jedná se o chlazená zařízení i jejich pomocné pohony. Je nutné brát ohled na další požadavky (kromě chlazení) zařízení jako zálohování v trakčních obvodech (i při chlazení dodržet blokové uspořádání), možnosti sání a výfuku vzduchu, přístupnost všech zařízení, způsob jejich montáže a především omezený prostor pro umístění celého zařízení. Elektrické zařízení u vozidel osobní dopravy, je umístěno v kontejneru (těsné skříni) na střeše vozidla nebo pod podlahou a je chlazeno ventilátorem (především pro odvod tepla z měničů, tlumivek, odporníků atd.). Konstrukce je provedena jako maximálně ucelený blok, pro minimalizování vazeb na ostatní zařízení. Počet přívodů je tedy minimální.

Chladicí vzduch prochází obvykle středním vzduchovodem horizontálně kolem zařízení, která jsou umístěná po obou stranách a jsou přístupná z boků. To je provedeno z důvodu omezené stavební výšky přibližně 400...600 mm. Přívod vzduchu se směřuje zdola (více nečistot) nebo může být axiální (změna poměrů v závislosti na směru jízdy). Ohřátý vzduch je nejčastěji hnán pod vozidlo.

U lokomotiv a patrových vozidel je zařízení umístěno ve strojovně. Provedení je několik, co do sání, výfuku a uspořádání. Podle typu vstupu vzduchu a jeho rozvedech lze rozlišit dva typy:

- **Sání do strojovny** – Vstupující vzduch prochází bočnicemi skrz žaluzie a filtry nebo šikmou částí střechy do prostoru strojovny, odkud je nasáván ventilátory přímo nebo přes chlazené zařízení (Obr. 1.4 a). Dále se užívá nasávání podlahou (Obr. 1.4 b).
- **Sání přes nasávací skříň** – Vzduch se nasává přes žaluzie a filtry do uzavřeného prostoru pod střešou (Obr. 1.4 c) nebo do uzavřené uličky (Obr. 1.4 d) a odtud je odebírán pro chlazení jednotlivých zařízení.



Obr. 1.4 – *Uspořádání vzduchových obvodů ve strojovně [1]*

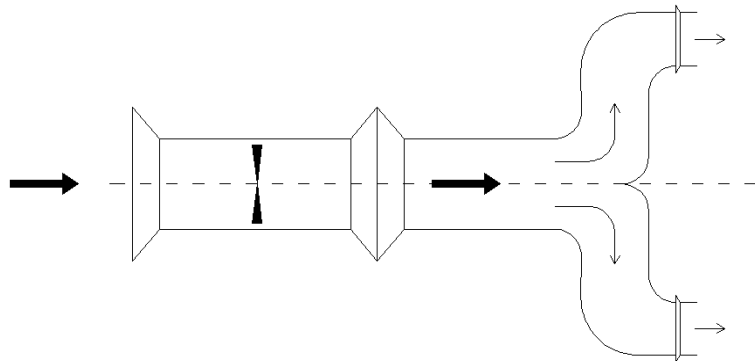
Odstranění nečistot a vody ze vzduchu se musí provést s minimální tlakovou ztrátou. To vede k určitému umístění a provedení nasávacího prostoru. Dále by plochy pro sání měly být dostatečně velké, filtry účinné a s minimálními požadavky na údržbu (to ovšem nelze splnit bez kompromisů). Ztráta rychlosti vzduchu při průchodu filtrem způsobí těsně za ním usazování zbylých nečistot. S tím se při návrhu musí počítat.

Sání do strojovny nabízí poměrně velkou plochu, ale jemnější zařízení musí být umístěné v těsných skříních (vyšší hmotnost a zajištění odvodu vzniklého tepla). Tlakový spád vzniklý průchodem vzduchu způsobí ve strojovně oproti okolí podtlak, ale na druhou stranu odpadá většina vzduchovodů. Lze použít většího počtu menších ventilátorů, protože vzduch je odebírán přímo z prostoru strojovny.

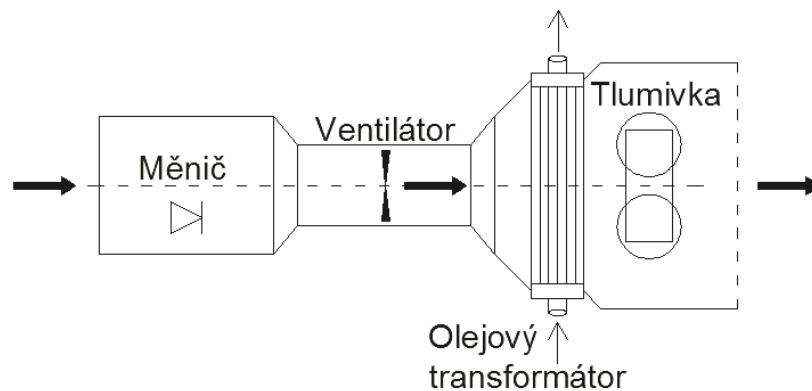
Sání (přes nasávací skříň) odděluje prostor nasávací skříně od prostředí strojovny. Sání do uličky poskytuje větší plochu pro sání. Obecně nasávací skříně pod střešou šetří prostor pro vzduchovody, ale snižují využitelnou výšku strojovny. Výfukem potřebného množství vzduchu vznikne ve strojovně mírný přetlak, který brání vnikání nečistot. Z hlediska chlazení i spolehlivosti by bylo ideální vybavit každé chlazené zařízení vlastním ventilátorem (případně i měničem). To vede k použití mnoha menších ventilátorů. Kvůli požadavkům na hospodárnost návrhu a prostorová omezení se tomuto ideálu lze pouze přiblížit.

Chlazená zařízení můžeme vzhledem k ventilátoru řadit paralelně nebo do série. Stejná zařízení (trakční motory) jsou vhodná řadit paralelně, protože u nich lze správně rozdělit vzduch (kritické při paralelním zapojení vzduchových obvodů). Sériové řazení chlazených zařízení (většinou různých) do vzduchového obvodu zajišťuje stejné množství vzduchu pro všechna zařízení, ale každé další zařízení je chlazené vzduchem, jehož teplota je vyšší než na sání a to o oteplení vzduchu způsobeného ztrátami předchozích zařízení (tím se zmenšuje

tepelný spád a účinnost chlazení dalších zařízení). Při tomto uspořádání je nutný vyšší příkon ventilátoru. V reálných zařízeních jsou tyto uspořádání kombinovány.



Obr. 1.5 – Paralelně chlazená zařízení [1]



Obr. 1.6 – Sériově chlazená zařízení [1]

Aby bylo zajištěno rovnoměrnější rozdělení vzduchu na vstupním otvoru, vkládají se některá zařízení do sání ventilátoru, ale nesmí způsobit zřetelné oteplení vzduchu, protože se jím zároveň chladí ventilátorový motor. Větší odporníky jsou uspořádány tak, aby proudění vzduchu bylo zdola nahoru. Prouděním horkého vzduchu, vzniklým zbytkovým teplem odporníku, se neohrozí ventilátor.

## Kompresory

### Vzduchu

Slouží k výrobě stlačeného vzduchu pomocí soustrojí s elektromotorem. Standardní tlak je 1 MPa (10 Bar). Výkon se udává v l/s (litr za sekundu) nebo m<sup>3</sup>/h (metr krychlový za hodinu).

Systemy poháněné stlačeným vzduchem se používají z důvodu vyvinutí větší přímočaré síly, při relativně malé rychlosti a/nebo dráze, oproti zařízením s elektrickým pohonem. Dnes se využívají především dva typy kompresorů, pístový a rotační.

Pro uvedení vozidla do provozu (ovládání sběrače, spínacích přístrojů a zejména hlavního vypínače) se používá pomocný kompresor s menším výkonem, který je poháněný sériovým motorem napájeným z pomocné akumulátorové baterie. Pro tento akumulátor představuje pomocný kompresor velkou zátěž v době, kdy není dobíjena, proto je vyžadována možnost i ručního nafoukání.

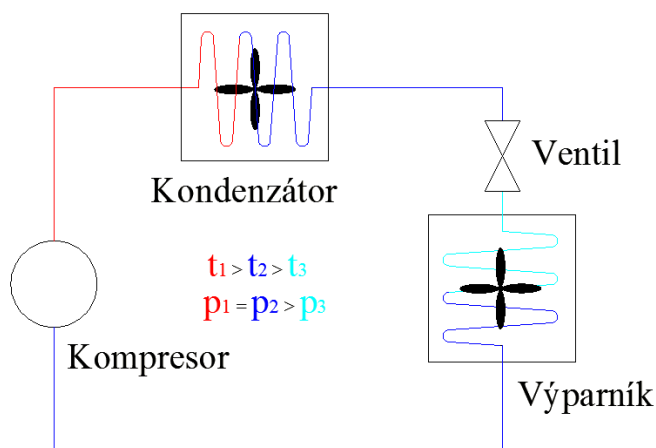
#### **Použití stlačeného vzduchu:**

- Ovládání mechanických brzd
- Ovládání elektrických přístrojů (sběrače, stykače, přepojovače atd.)
- Vzduchové vypružení
- Naklápění vozové skříně při průjezdu obloukem
- Napájení pneumatických zařízení na soupravě (ovládání dveří, vyklápění nákladních vozů)
- Drobné pohony a jiná zařízení (stěrače, houkačky, mazání okolků atd.)

#### **Chladicí kapaliny**

Takovéto systémy najdeme v klimatizacích či ledničkách. Chladicí médium je přiváděno do kompresoru, kde je následně stlačeno. Stlačením dojde k nárůstu tlaku a ohřátí. Poté v kondenzátoru dochází k ochlazení a zkapalnění (teplo je předáno do vnějšího prostředí). Vysokotlaké kapalně chladivo je přiváděno přes expanzní ventil do nízkotlakého obvodu klimatizace a následně do výparníku. Poklesem tlaku dojde k prudkému ochlazení kapaliny a nízká teplota je přes ventilátor přiváděna do vnitřních prostor, naopak výparník odebírá teplo z místnosti. Chladivo se přitom ohřívá a přechází v plynné skupenství. Dále je distribuováno zpět do kompresoru a celý proces se opakuje.

V případě klimatizace můžeme proces provádět i opačně. Odebírat vnější teplo a následně ho předávat do vnitřních prostor. V tomto procesu se stane z výparníku kondenzátor a z kondenzátoru zase výparník. Průběh procesu je stejný.



Obr. 1.7 – Princip čerpaní tepla (chladu)[1]

### Pístový kompresor

Rozběh kompresoru z klidu a při nízké teplotě (ztuhlé mazivo) musí být s vysokým výkonem, tedy jako vhodný se jeví sériový motor. Při pohonu s asynchronním motorem je nutné napájení z vlastního měniče s plynulým rozběhem změnou kmitočtu. Chod takovýchto sestav je významným zdrojem hluku a otřesů.

Napájení je provedeno většinou stejným způsobem jako u ventilátorů. Ovšem na stykačových stejnosměrných vozidlech nelze zapojit dva kompresorové motory do série. Důvodem je nutná nezávislost, protože druhý představuje zálohu prvního. Soustrojí jsou poháněny dvoupólovými motory s trvale předřazeným odporem.

#### Režimy:

- Trvalý chod – pro doplnění zásoby vzduchu před místem bez trolejového napětí a provedení zkoušky pojistného ventilu
- Automaticky – režim spínání s vhodnou hysterezí pomocí tlakového spínače
- Vypnuto

### Rotační kompresor

Začínají se používat teprve v poslední době. Otáčky bývají vyšší než u pístového typu a může se vyžadovat programovatelný průběh otáček (spouštění a zastavování), proto se využívá individuální regulační pohon. Ten se skládá ze samostatného střídače a někdy i speciálního asynchronního motoru. Je výhodný pro nepřetržitý provoz s plynulým nebo dvoustupňovým (volnoběh nebo plný výkon) řízením otáček z důvodu trvalého mazání tvarových těles a těsnění nezbytných vůlí (možný i režim start-stop).

## Čerpadla

### Oleje

Jako chladicí médium se u některých zařízení využívá kapalin (olej nebo v poslední době nehořlavé izolační kapaliny (estery)). Obvykle se to týká trakčních transformátorů a někdy i velkých tlumivek umístěných ve stejné nádobě s transformátorem. Oběh může být přirozený nebo nucený čerpadly (obvykle dvěma).

### Vody

Nově se rozšiřuje chlazení vodou, které je velmi účinné a ekologické. Bohužel vyřešení problémů s izolací a zajištění dokonalé čistoty vody s potřebnou izolací je v provozu poměrně náročné. Podnětem k rozšíření bylo osazování výkonových IGBT modulů s vlastní izolací. Výhodou takového typu chlazení spočívá v intenzitě chlazení, malých rozměrech a dlouhé tepelné časové konstanty. Konečný odvod tepla z kapaliny je pomocí vzduchu (přirozené proudění nebo ventilátorem).

Chladicí kapalina načerpá teplo v místě vzniku a dále putuje do výměníku, kde je ochlazována přirozeným prouděním vzduchu vzniklým jízdou vlaku (menší výkony) nebo nuceným ofukováním pomocí ventilátorů. Oběh zajišťují bezucpávková čerpadla s jednofázovými nebo třífázovými motory. U jednofázových motorů čerpadel transformátorového oleje se vyskytovaly problémy při rozběhu za nízkých teplot a nízkém napětí v troleji, kdy při poklesu záběhového momentu a zvýšeným odporem (ztuhlý olej) mohlo dojít k přehřátí. Tedy pokud nejsou čerpadla napájena ze střídače (řízený rozběh) musí být naddimenzována.

Většinou se jedná o malé výkony a v provozu jsou spuštěna trvale bez regulace. Výpadkem oběhového čerpadla, lze zatěžovat vodou (olejem) chlazený měnič jen po velmi krátkou dobu a malým výkonem.

## Ostatní – Zvedací plošiny, výsuvné schody (stupačky), pohon dveří a další

Zvedací plošina u osobní dopravy slouží k pohodlnému nástupu a výstupu invalidních lidí na vozíku. Elektrické vybavení se skládá z pohonu, který je ovládán a napájen z řídicí jednotky. Pohon ovládá vertikální (z vozu) a horizontální (na nástupiště) pohyb zdvihací plošiny. Je nutné zajistit, aby ztrátou napájení nedošlo k prudké změně polohy rampy. Jako motory se obvykle používají třífázové asynchronní.



Obr. 1.8 – Zvedací plošina pro vozičkáře [1]

Výsuvné schody (stupačky) slouží pro vyplnění mezery mezi nástupním prostorem vozidla a nástupištěm, tím je usnadněn nástup či výstup (zvýšení bezpečnosti). Nejedná se o náročný systém, proto se jako pohon používají malé stejnosměrné motory (obvykle 24V) nízkého napětí. Řídicí systém výsuvných schodů je výhodné provázat se systémem otevírání vnějších dveří.

Systém řízení vnitřních i vnějších dveří nahradil manuálně ovládané dveře. Pohon dveří může být pneumatický nebo elektrický. Výhodou pneumatického pohonu je převážně velká síla při otevírání i zavírání (při nízkých teplotách nehrozí zamrznutí dveří). Jako elektrický pohon se většinou používají stejnosměrné motory nízkého napětí.

Obecně můžeme říct, že na náročnější aplikace jsou použity střídavé asynchronní motory s napětím 3x 400 V (palubní síť u moderních vozidel). Na méně náročné aplikace vystačují stejnosměrné motory napájené ze stejnosměrné palubní sítě s případnou úpravou velikosti napětí.

### 1.1.2 Topení

Největší položkou spotřeby na soupravách určených pro osobní dopravu tvoří elektrické topení. Mezinárodní vozy osobní dopravy musí být schopny pracovat se všemi napájecími soustavami, pod kterými jsou provozovány. Přepínání na správný systém se provádí automaticky.

Soustava	Napětí troleje [kV]	Napájení topení
DC	3	3 kV – z troleje přes stykač
	1,5	1,5 kV
AC	25	3 kV 50 Hz – ze samostatného vinutí na trakčním transformátoru
		1,5 kV 50 Hz
	15	1 kV 16 $\frac{2}{3}$ Hz

Tab. 1.4 – *Napěťové systémy pro topení vlaku [1]*

Střídavé lokomotivy, provozované na systému 25 kV a 50 Hz, mají topení s možností napájení 3 kV nebo 1,5 kV s frekvencí 50 Hz. To je realizováno pomocí dvou vinutí (s napětím na svorkách 1 500V), které jsou spojovány podle potřeby do série nebo paralelně. Vlaky provozované na systému 15 kV (16  $\frac{2}{3}$ Hz) mají napětí 1 kV na vinutí topení (viz. Tab. 1.4).

V současnosti se vedení vlakového topení využívá také pro nabíjení baterie, napájení klimatizace a další drobnější spotřebu (přes galvanické oddělení). Zapojení je řešeno usměrňovačem (u všech systémů), následně střídačem se stabilizací a oddělovacím transformátorem. Následným usměrněním a filtrací vznikne stejnosměrná síť, z níž jsou napájeny střídače jednotlivých pomocných pohonů. Pokud jsou v soupravě vozidla jednoho typu, je situace jednodušší (tramvaje, metro, vysokorychlostní vlaky), protože lze pro daný případ optimálně zvolit způsob napájení, případně kombinaci více systémů.

**Sálavé** – Jedná se o způsob vytápění, kde topné spirály jsou umístěny v konstrukčně definovaných místech (např. pod sedadly). Teplo je přiváděno do prostoru cestujících přes žebrování přirozeným prouděním teplého vzduchu. V dnešní době je jen zřídka používán.

**Teplovzdušné** – Převážně pod vozidlem je umístěn centrální topný agregát, který pomocí vzduchovodů rozvádí teplý vzduch. Ve vzduchovodech jsou umístěny klapky (polohou klapky se reguluje průtok vzduchu z venku a od tepelného agregátu), které cestující mohou ovládat přes ovladače umístěné pod okny. Dále se také může využít opačného chodu

klimatizace (funkce tepelné čerpadlo), teplo je odebíráno z vnějšího prostředí a následně odevzdáno ve vnitřních prostorech.

### 1.1.3 Osvětlení

#### Vnitřní



Obr. 1.9 – Vnitřní osvětlení soupravy City Elephant [1]

- **Hlavní** – Jedná se o osvětlení interiéru během normálního provozu, které musí být dostatečně intenzivní a přitom rovnoměrně osvětlovat prostor bez oslnění cestujících či dopravních zaměstnanců. Použitý zdroj světla by měl mít co nejlepší schopnost podání barev (aspoň  $\geq 80$ ). U vysokorychlostních a konvenčních vlaků musí být zajištěno svícení po dobu 10 minut při ztrátě napájení. V prostoru strojvedoucího musí být světlo k dispozici ve všech normálních režimech (včetně „vypnuto“).
- **Tlumené** – Slouží pro úsporu energie nebo zvýšení pohodlí cestujících (v nočním provozu). V průchozích prostorech (např. nástupní prostory, schody, chodby) musí být osvětlení s intenzitou hlavních světel. Pokud je umožněno cestujícím zapínat hlavní osvětlení je nutné použít vypínače s vnitřním podsvícením.
- **Náhradní** – Nejedná se o povinné osvětlení. Pokud je použito, musí dosahovat minimálně 30 % intenzity hlavního osvětlení.
- **Nouzové** – Slouží pro svícení při vypnutí nebo poruše hlavního a náhradního osvětlení. Musí umožňovat setrvání nebo bezpečné opuštění vozidla (dostatečné osvětlení značení únikové cesty i při kouři). Napájení by mělo být provedeno z nezávislého zdroje energie (pomocný akumulátor) přes samostatný rozvod. Funkčnost nouzového osvětlení musí být pravidelně kontrolována.

Při návrhu vozidla se musí brát v úvahu stárnutí a zahořování systému. Výměna světelných zdrojů je možná pouze, pokud nové zdroje vykazují stejné vlastnosti.

#### Vnější

- **Čelní světlomety** – Slouží k poskytnutí vizuální výstrahy blížícímu se vlaku a/nebo osvětlování strany tratě. Nejméně dvě bílá světla musí být umístěna na čele vlaku ve stejné horizontální ose ve výšce 1,5 až 2 m od temena kolejnice a vzdálena od sebe minimálně 1 m (symetricky ke středové ose). V případě použití horních světel jsou tyto světla umístěna nad čelní okno co nejbližší ke středové ose.

- **Obrysová světla** – Tři bílá světelná návěstidla jsou umístěna na čele vlaku a určena pro označení výskytu vlaku (poskytnutí světelné výstrahy o blížícím se vlaku a/nebo osvětlení traťových ukazatelů). Mají stejné podmínky uspořádání jako čelní světlomety.
- **Koncová světla** – Jsou to dvě červená světelná návěstidla na zadním konci vlaku, určená pro označení výskytu vlaku a označení konce vlakové soupravy. Podmínky umístění jsou stejné jako u předchozích světel.



Obr. 1.10 – Vlevo koncová světla, vpravo čelní světlomety [1]

#### 1.1.4 Řízení

**Kontrolní a ochranné prvky** – Mezi tyto zařízení patří kontrolní prvky pro spínání nebo rozpínání elektrického spojení (stykače). Dále také ochranné prvky, které případně odpojují zařízení.

**Typy:**

- Relé
- Stykače
- Jističe
- Proudové chrániče
- Odpojovače
- Vypínače
- Přepojovače
- Zemniče

#### Elektrické systémy

Jednotlivé subsystémy na moderním vozidle vykonávají svoje funkce za dohledu nadřazeného systému řízení vozidla, který poskytuje funkce na úrovni vlakové soupravy nebo vozidla jako celku. Komunikace se subsystémy (nabízející služby řízení, monitorování, diagnostiky a servisu) probíhá pomocí vozidlové komunikační sběrnice (kroucená dvoulinka

nebo optický vodič). Obvykle je požadována možnost zálohování. Elektrické systémy jsou napájeny ze stejnosměrné palubní sítě (převážně se jedná o polovodičové logické prvky). Nejrozšířenějším typem napájení je  $24\text{ V}_{\text{DC}}$  (vzhledem k použití polovodičové logiky). Dále také je velmi rozšířené napájení  $110\text{ V}_{\text{DC}}$ .

### **Subsystémy:**

- **Řízení naklápění vozové skříně** – Subsystém řízení poskytující vyšší jízdní komfort. Naklopením se minimalizují účinky odstředivých sil vzniklých jízdou v oblouku. Vlaková souprava je také schopna projíždět vyšší rychlostí.
- **Protismykové ochrany** – Slouží k zamezení smyku při brzdění či rozjezdu (vznik plochých míst na kolech), to se provádí snížením brzdné nebo tažné síly.
- **Řízení pneumatického obvodu** – Pomocí systému elektropneumatických ventilů je řízena distribuce vysokotlakého vzduchu.
- **Řízení pomocných pohonů** – Ovládání čerpadel, kompresorů, klimatizace podle informací z příslušných čidel.
- **Vnitřní informační systémy určené cestujícím** – Tyto systémy můžeme dále dělit na optické (světelné tabule a obrazovky) a akustické (vnitřní rozhlas). Předává informace o jízdě cestujícím (další zastávka, konečná stanice, číslo vlaku apod.)
- **Vnější informační systémy** – Jedná se především o světelné tabule se základními informacemi o spoji.
- **Informační systémy určené strojvedoucímu** – Systémy poskytující informace strojvedoucímu pomocí obrazovek či zvukových znamení.
- **Sociální zařízení** – Systém zajišťující dohled nad vodohospodářstvím.
- **Zásuvky pro drobné spotřebiče** (obvyčně  $230\text{V}_{\text{AC}}$ ) – Slouží pro napájení drobných spotřebičů cestujících (mobil, notebook atd.) a zařízení údržby (např. vysavač).

- **Protipožární systém** – Základním prvkem je ústředna vyhodnocující informace z hlásičů. Systém slouží k okamžité detekci vzniku požáru včetně určení ohroženého prostoru.
- **Zabezpečovací zařízení** – Systém schopný zasahovat do ovládání rychlosti a brzdění. Kontroluje povolené a aktuální parametry jízdy.

### 1.1.5 Akumulátorové baterie

Akumulátorová baterie je klíčovým pomocným zdrojem pro všechna vozidla. Slouží k napájení zařízení pro uvedení vozidel do provozu. Na stavu baterie závisí provozuschopnost vozidel. Hlavní podmínkou správné funkce je vhodně zvolený způsob napájení, což je na vozidle poměrně komplikované. Baterie můžeme rozdělit podle napájených spotřebičů na trakční a pomocné. Trakční baterie slouží primárně jako zdroj energie pro trakční výzbroj, oproti tomu pomocná baterie slouží hlavně jako záložní zdroj při výpadku hlavních zdrojů napětí (napájení z troleje a z trakční baterie).

- **Olověné (Pb)** – vyšší napětí a menší vnitřní odpor
- **Nikl-kadmiové (Ni-Cd)** – snášejí hluboké vybití i po delší dobu

Po ekologické stránce jsou oba typy škodlivé a vyžadují speciální zacházení i likvidaci. Jmenovitá napětí baterie se pohybují nejčastěji v rozsahu nízkého napětí. Legislativa vyžaduje, aby napětí bloku pomocné baterie nepřesáhlo 120 V (to moderní vozidla splňují a obvyklá úroveň napětí je 110 V). To usnadňuje provedení kabeláže a připojených zařízení. Kapacita baterií se udává v Ah (Jedná se o hodnotu proudu, kterou je akumulátor schopný dodávat po dobu jedné hodiny.) a prudce klesá při vyšším odběru. Dále velký vliv na kapacitu akumulátoru mají teplota, způsob nabíjení (konstantním proudem se dobíjí na 90% kapacity a dále již konstantním napětím) a stáří baterie (životnost se udává v počtech cyklů nabití – vybití).

Kapacity akumulátorů se pohybují zhruba ve stovkách Ah v závislosti na napětí. Při výběru musíme uvažovat spotřebu a dobu, po kterou musí být schopna baterie dodávat energii. Zpravidla záporný pól bývá spojen s kostrou vozidla.

Všechna zpětná vedení jsou u moderních vozidel izolována a uzemněna v jediném bodě na zemní sběrnici s ohledem na rušení, zemní smyčky atd. Bateriové sítě jednotlivých vozidel v soupravě mohou být propojeny. Při poruše jedné baterie či nabíječe nedojde k výpadku napájení (propojením je možné provést dodávku energie z vedlejší sítě). Zkrat na některém

vozidle nesmí vyřadit celou soupravu. Prostřednictvím této sběrnice, která je uzemněná na každém vozidle, se vytváří paralelní cesta ke zpětnému trakčnímu proudu kolejnicemi a je nutné zamezit průchodu touto cestou (např. uzemnění přes malý odpor).

Vlivem vypínání induktivních spotřebičů (cívky stykačů, elektropneumatické ventily, relé) vznikají v bateriové síti přepětové špičky, proto se k takovýmto zařízením připojují ochranné obvody (odpory, RC členy, diody, Zenerovy diody, varistory) a citlivé vstupní obvody se chrání odpovídajícím způsobem.

Nabíječ je zařízení sloužící k nabíjení akumulátorové baterie na vozidle a zajišťující galvanické oddělení od ostatních elektrických obvodů (transformátorem se zesílenou izolací). Dříve se používalo pomocné dynamo, poháněné od jiného pomocného pohonu a u novějších vozidel se užívá střídač s transformátorem pracující na vysoké frekvenci (z důvodu snížení hmotnosti). Oddělení u střídavých vozidel nepředstavuje problém. Nabíječ reguluje výstupní napětí a nabíjecí proud. Při přiměřeně rychlém nabíjení nelze dodržet maximální kladnou toleranci napětí bateriové sítě určenou normou (120% jmenovitého napětí). Zvýšené napětí má za následek oteplení (cívky elektromagnetů), zkrácení životnosti (hlavně u žárovek), zvýšené nároky na stabilizátory elektrických zařízení atd.

#### **Možná řešení:**

- Předimenzování zařízení připojených na napětí baterie
- Snížení jmenovitého napětí baterie tak, aby maximální napětí při nabíjení nepřekračovalo dovolenou mez (za cenu snížení kapacity a hlubšího poklesu napětí při vybití než povoluje norma (-70 %))
- Akumulátor s nabíječem oddělit od sítě pomocí stabilizátoru napětí

Poslední možnost má dvě hlavní nevýhody. Při poklesu napětí baterie (vlivem vybití) obvykle stabilizátor nezvýší napětí sítě, ale naopak sníží o úbytek na svých polovodičových součástkách, takže nízké napětí sítě je ještě více sníženo. Dále poruchou stabilizátoru by došlo k odpojení baterie s nabíječem, proto je nutné stabilizátor zálohovat.

## **1.2 Systematika zdrojů**

### **1.2.1 Způsoby napájení**

- Přímě napájené z troleje – pro většinu spotřebičů nevhodné, funkce závisí na přítomnosti napětí v troleji (přiváděné na vozidlo přes sběrač)

- Napájení z troleje s následnou úpravou (transformátorem, měničem atd.) – téměř libovolné možné napětí, funkce závisí na napětí v troleji a správné funkci zařízení pro úpravu (s tím souvisí jejich spolehlivost)
- Napájení stlačeným vzduchem – omezené uchování energie (nemožné perfektní utěsnění), převážně pro systémy s nutností vyvinutí značných sil (mechanické brzdy)
- Napájení z akumulátorové baterie – nezávislé na napětí v troleji, použitím příslušných měničů vhodné pro většinu aplikací, uchování energie omezeno kapacitou

Nejvýhodnější způsob napájení je přímo z troleje (z vinutí transformátoru). Takto napájené spotřebiče jsou především zařízení velkých výkonů (topení vlaku). Ovšem pro většinu zařízení je tento způsob nevhodný, proto energii upravujeme na vhodnou formu. Každou přeměnou se zvyšují ztráty a tedy i celková účinnost klesá. Je nutné si uvědomit, že s rostoucím počtem zařízení pro úpravu energie klesá také výsledná spolehlivost.

Odstavené vozidlo je nutné nebo alespoň výhodné napájet z jiného zdroje (než trolej). Před uvedením do provozu je nutné vlakovou soupravu vytopit (vychladit). Využití napájení z troleje brání skutečnost, že při dlouhodobém odběru značného proudu v jednom místě by došlo k nedovolenému oteplení ve styku troleje a sběrací lišty. Energie pro předtápění se přivádí pomocí topné zásuvky umístěné na čele vlaku. Dále je nutné u déle odstavených souprav nabít akumulátor, aby bylo možno uvést vozidlo zpět do provozu. K tomu slouží napětí  $3 \times 400 \text{ V}$  (50 Hz), přivedené ze stojanů do zásuvky na trakčním vozidle.

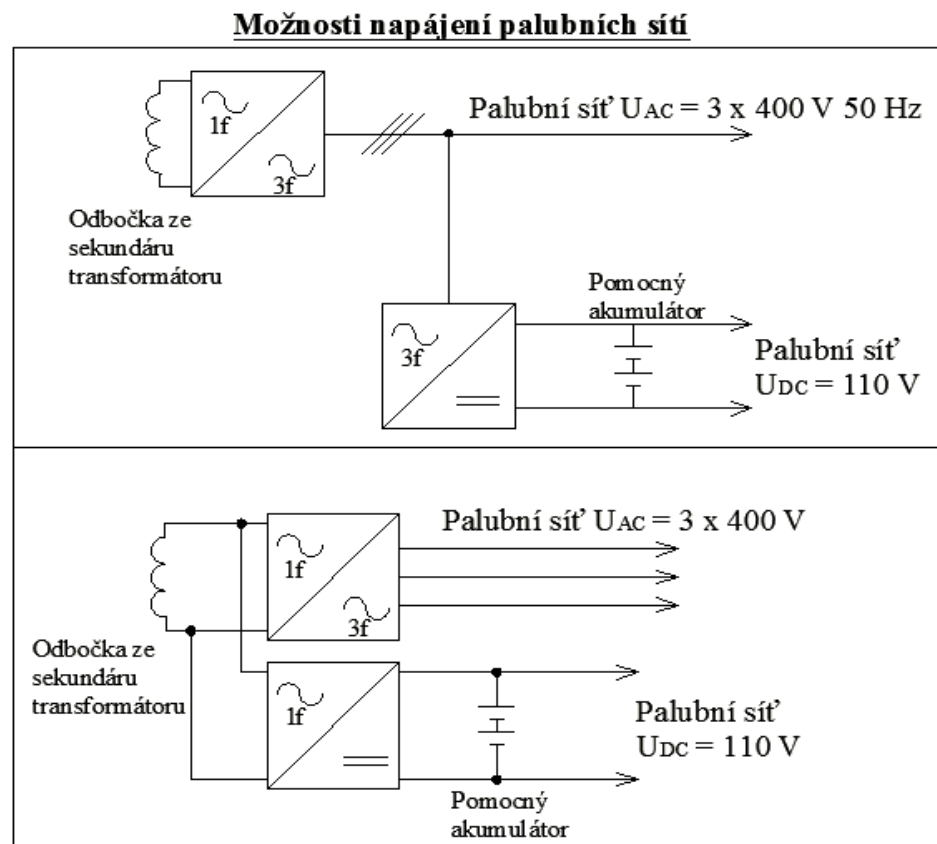
Obvykle na vozidlech jsou vytvořeny palubní sítě sloužící jako zdroj pro vedlejší spotřebu. Sběrnice, například  $110 \text{ V}_{\text{DC}}$  nebo  $3 \times 400 \text{ V}_{\text{AC}}$  (50 Hz), se využívá paralelně k napájení ostatní spotřeby a sama je napájena z trakčního vozidla vhodným měničem, u kterého uvažujeme velikost výkonu, typy spotřebičů a možnost použití standardních dílů.

Sběrnice stejnosměrného napětí obsahuje dva vodiče a spotřebiče (většinou přímo v provedení pro úroveň napětí sítě) se připojují přes dvounožové zásuvky. Vozidla jsou propojeny pomocí spojky (obvykle speciálního provedení). Motory jsou obvykle na sběrnici připojeny přes vlastní střídače, které umožňují individuální rozběh a případné řízení otáček. Oproti využití jednoho centrálního střídače je výhodou vyšší spolehlivost a vzájemná nezávislost každého pomocného pohonu.

Na střídavou sběrnici  $3 \times 400 \text{ V}_{\text{AC}}$  (50 Hz) se dají připojit standardní přístroje a zařízení. Motory a i další spotřeby jsou zapínány stykači. Na trakčním vozidle je instalován střídač sloužící jako primární zdroj pro tuto sběrnici, ale i napájí část vlastní spotřeby (čerpadla,

nabíjení) a dimenzuje se s ohledem na výkon, aby byl schopen zajistit rozběh největšího motoru při plném zatížení sítě. Předpokládá se, že řízení je provedeno postupným rozběhem jednotlivých motorů.

Na moderních vozidlech jsou obvykle dvě palubní sítě. První stejnosměrná sběrnice, většinou o nízkém napětí 110 V<sub>DC</sub>, je podepřena pomocným akumulátorem pro případ ztráty napětí. Připojují se k ní spotřebiče jako světla, různé řídicí systémy apod. Druhá třífázová střídavá sběrnice (400 V<sub>AC</sub> 50 Hz) nebo stejnosměrná 600 V<sub>DC</sub> slouží převážně pro napájení pomocných pohonů.



Obr. 1.11 – Možné zapojení palubních sítí u střídavé trakce [1]

### 1.2.2 Zálohování

Provozní schopnost vozidla je bezprostředně podmíněna (technicky nebo s ohledem na bezpečnostní předpisy) činností určitých zařízení vedlejší spotřeby. Zálohování zajistí jejich funkci i při poruše.

#### Zařízení

Nejčastější metodou bývá zdvojení zařízení a přitom jedno pro provoz stačí (např. kompresory). Toto řešení se používá tam, kde to je technicky možné, ekonomicky únosné a u přístrojů s vysokou poruchovostí. V provozu je důležitým kritériem doba, po kterou je vozidlo schopno činnosti při poruše uvažovaného zařízení. Pokud vozidlo má měniče vytvářející palubní síť či stejnosměrný meziobvod pro trakční motory, bývají tyto měniče zálohované.

#### **Příklady zařízení a jejich závislostí při poruše na činnost vozidla:**

- Poruchou hlavního vypínače, trakčního transformátoru, baterie atd. je tažné vozidlo vyřazeno ihned. Ztrátou chlazení odporníku dojde ihned k vyřazení odporové brzdy (pokud má cizí ventilaci).
- Poruchou chlazení u vzduchem chlazených měničů dojde k omezení činnosti (provoz jen několik málo minut se zatížením maximálně 10...20 %). Obdobně je to u kapalinového chlazení při poruše oběhového čerpadla.
- Poruchou kompresoru (pokud nemá zálohu) lze provozovat vozidlo po dobu několika minut. Tato doba závisí na těsnosti vzduchových obvodů a spotřebě vzduchu.
- Poruchou cizího chlazení trakčních motorů a vzduchových tlumivek je možná činnost se sníženým výkonem po dobu desítek minut.
- Při poruše nabíječe lze pokračovat v jízdě desítky minut. Hlavně pokud můžeme omezit postradatelnou spotřebu (úsporné nebo nouzové osvětlení).
- Poruchou oběhového čerpadla (nebo ventilátorů) transformátoru je provoz se sníženým výkonem povolen po relativně dlouhou dobu.

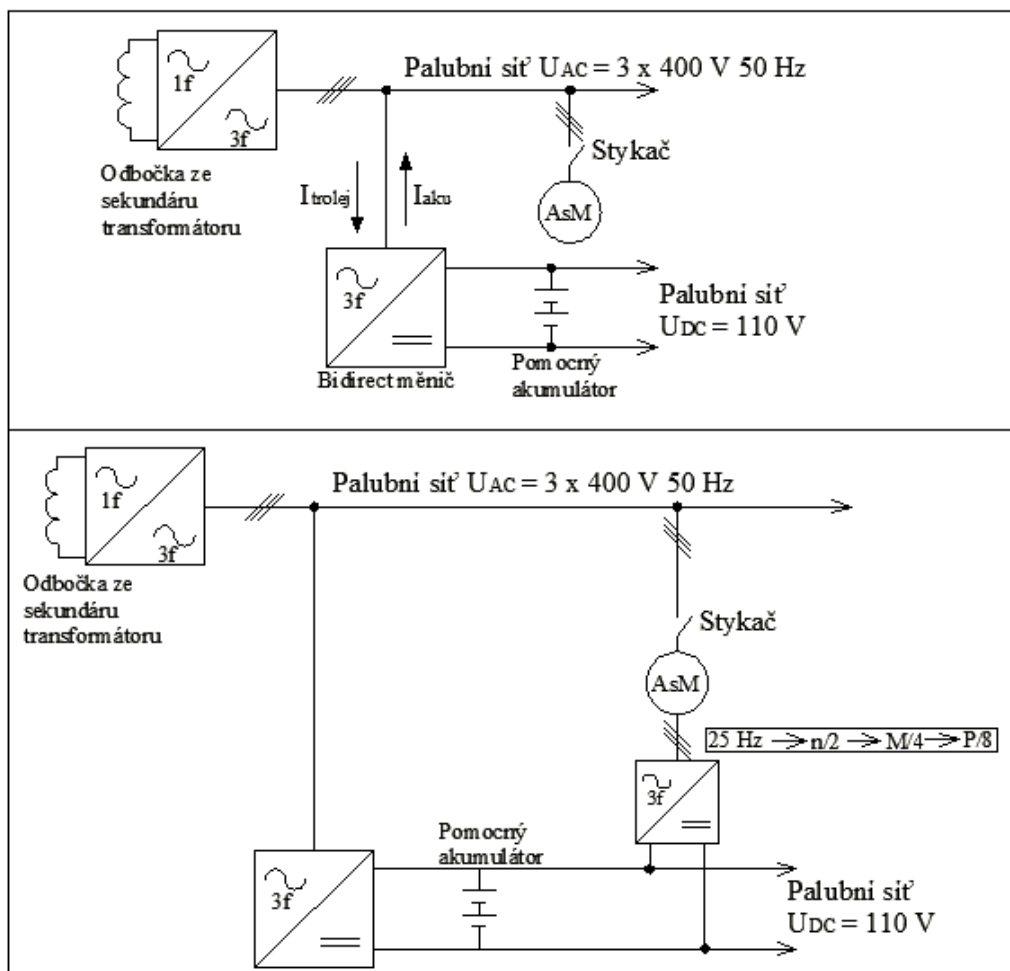
Pokud dojde k poruše chlazení, záleží na velikosti oteplovací časové konstanty a možnosti omezit vznik tepla (snížením výkonu). Podmínkou připuštění do provozu je například funkce houkačky (píšťaly), návěstního osvětlení, vlakového zabezpečovače, funkce dveří určených cestujícím atd.

Zálohování je vždy vyžadováno u systémů, jejichž poruchou by mohlo dojít k narušení bezpečnosti (např. systémy vlakového zabezpečovače).

## Napájení

Stejnoseměrná palubní síť obsahuje pomocnou akumulátorovou baterii, která slouží jako zdroj při ztrátě trolejového napětí nebo napětí trakčního akumulátoru. Spotřebiče napojené na třífázovou střídavou síť, jedná se především o pomocné pohony, nemají tuto síť podepřenou žádným alternativním zdrojem. Pokud je stejnosměrná síť vytvářena z palubní sítě střídavé, můžeme použít měnič schopný funkce střídače. Při výpadku prochází střídačem výkon z baterie do střídavé třífázové sběrnice.

Dalším řešením je připojení každého spotřebiče přes vlastní měnič, který vytváří třífázové střídavé napájení o nižší frekvenci (25 Hz). To je provedeno z důvodu šetření energie pomocné baterie. S poloviční frekvencí nám klesnou otáčky na polovinu, moment na čtvrtinu a přitom výkon na osminu. Například ventilátor pro odvětrávání prostoru pro cestující pracuje jen se čtvrtinovým momentem, ale to je stále dostatečné a přitom odebírá pouze osminový výkon.



Obr. 1.12 – Zálohování napájení pomocných pohonů [1]

### 1.2.3 Napájení a redundance netrakových spotřebičů

Přístroje		Napájení		Redundance	
		AC	DC	Zařízení	Napájení
Ventilátory	Trakčních motorů	×			
	Trakční výzbroje	×		×	
	Ventilace (pro cestující)	×		×	×
Kompresor vzduchu	Hlavní	×			
	Pomocný		×		
Kompresor chladicí kapaliny (Klimatizace)		×			
Čerpadlo oleje		×		×	
Čerpadlo vody		×		×	
Pohon zvedací plošiny		×			×
Pohon výsuvných schodů (stupaček)			×		×
Pohon dveří			×		×
Systém topení		×	×		
Vnitřní osvětlení	Hlavní, tlumené, náhradní		×		
	Nouzové		×		×
Vnější osvětlení			×		×
Nabíjení pomocné akumulátorová baterie			×		
Rozmrazovač čelního okna			×		
Řízení	Nadřazený systém řízení		×	×	×
	Naklápění vozové skříně		×		×
	Protismykové ochrany		×	×	×
	Řízení pneumatického obvodu		×		×
	Řízení pomocných pohonů		×	×	×
	Vnitřní informační systémy určené cestujícím		×		×
	Vnější informační systémy		×		×
	Informační systémy určené strojvedoucím		×		×
	Sociální zařízení		×		
	Zásuvky pro drobné spotřebiče	×			
	Protipožární systém		×	×	×
	Zabezpečovací zařízení		×	×	×

Obr. 1.13 – Provedení vedlejších spotřebičů u moderních vozidel [1]

## **2 DVOUZDROJOVÁ ELEKTRICKÁ TRAKČNÍ JEDNOTKA (TROLEJ – AKUMULÁTOR)**

Tato práce je zaměřena na specifikaci a strukturu pomocných spotřeb vozidla, jehož struktura, popis a parametry jsou uvedené v této kapitole. Jedná se o hypotetickou elektrickou dvouvozdovou jednotku.

### **2.1 Důvody nasazování elektrických trakčních jednotek**

Snahou posledních let je razantně snižovat produkci skleníkových plynů. Převážně se jedná o CO<sub>2</sub>, který doprava produkuje spalováním ropy. To nás prakticky vede k jinému zdroji energie. Přechod na bezemisní systém se zavádí v oblastech, kde jsou pro to dobré podmínky. Po technické stránce se takto jeví doprava kolejová a drážní.

#### **Protože:**

- Trakční napájecí infrastruktura v drážní dopravě je rozvinutá a již zajišťuje maximum výkonů elektrické trakce.
- Vozidla s mobilními zásobníky energie (elektrické akumulátory) mohou být nabíjena z této infrastruktury.
- Technologii drážního vozidla lze optimalizovat pro konkrétní provoz (pevné trasy v definovaném režimu).
- Efektivnější využití elektrického zdroje oproti jiným druhům dopravy (menší jízdní odpory).

Elektrické pohony, mimo snížení produkce CO<sub>2</sub> a dalších škodlivých látek, mají výhody:

- Snížení hlučnosti
- Efektivní využití energetických zdrojů (snížení energetické náročnosti)
- Možnost tvorby nových přepravních relací a eliminace přestupů
- Zkrácení cestovní doby
- Zvýšení cestovního komfortu (snížení hlučnosti a vibrací)

- Pořizování vozidel s dlouhodobou perspektivou jejich využití
- Snížení nákladů na energii a údržbu vozidel
- Zvýšení míry využití vozidel a zvýšení flexibility jejich efektivního provozního nasazení.

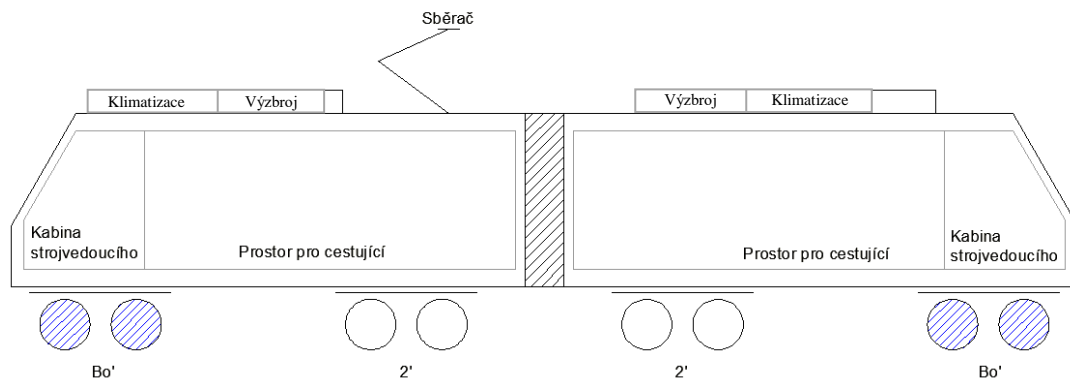
Míra těchto přínosů závisí na technickém řešení vozidla a pohonného řetězce, ale i na dalších faktorech jako například režim využívání vozidla. S maximalizací efektu je spojena také energetická hospodárnost.

## 2.2 Popis a parametry

Systémy napájení: AC (25 kV 50Hz) / DC (3 kV)
Uspořádání pojezdu: Bo'2'+2'Bo'
Počet vozů: 2
Provozní rychlost: 160 km/h
Hmotnost: 110 t [adhezních – 55 t]
Trakční výkon: 1 600 kW (pro napájení z troleje i z baterie)
Energie baterie: 750kWh
-nejnižší rychlost el. brzdění 5 km/h

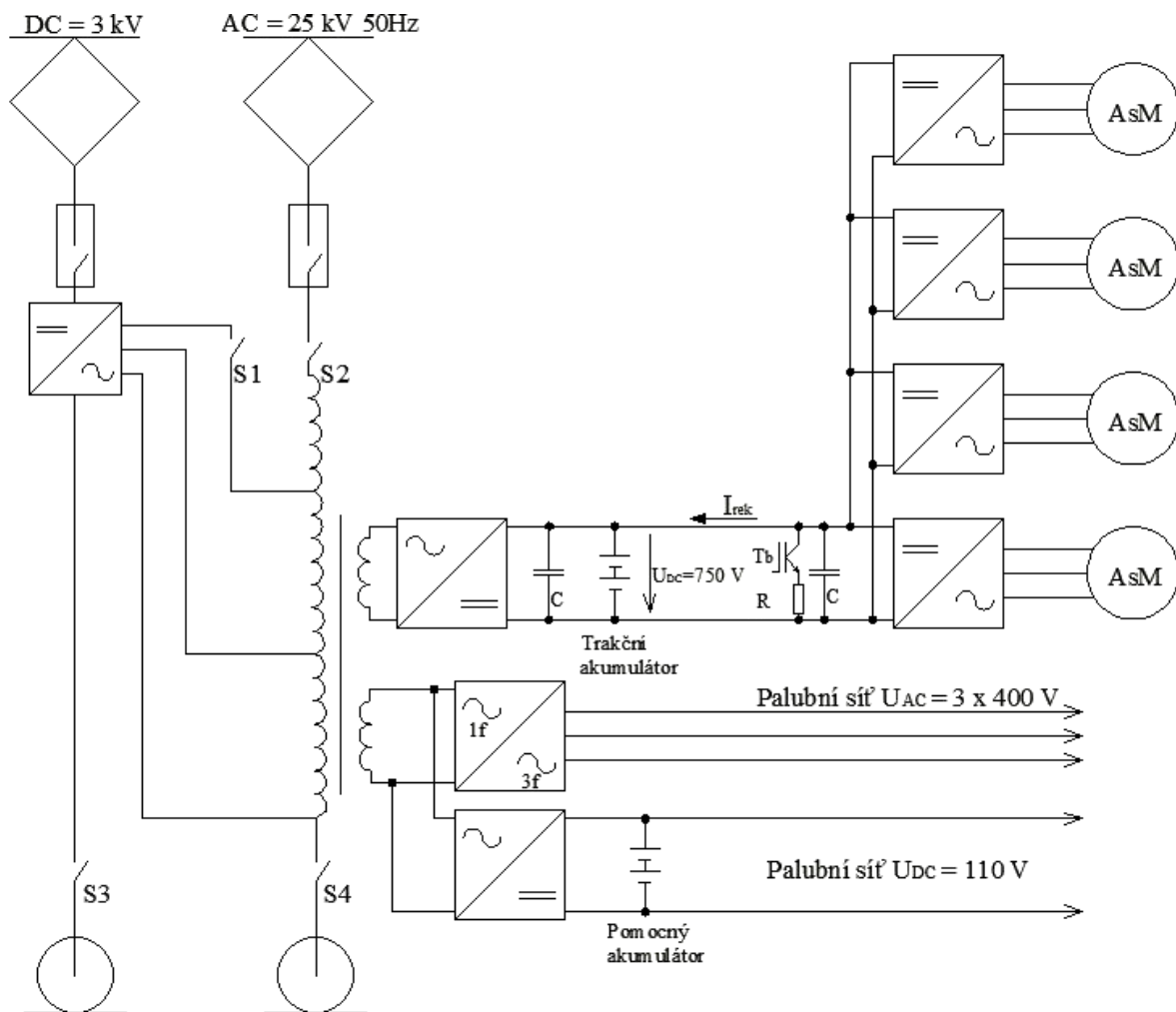
Tab. 2.1 – Parametry elektrické trakční jednotky [1]

Elektrická trakční jednotka pro regionální osobní dopravu je určena pro provoz na linkách, kde je část trasy elektrifikována a část bez elektrifikace. Trakční vedení představuje nejen zdroj pro pohon, ale také nabíjí akumulátory a napájí netrakční spotřeby na vozidle. Trakční výzbroj umožňuje provoz pod stejnosměrnou i střídavou národní napájecí soustavou. Jednotka se skládá z dvou vozů, z nichž každý má vnitřní prostor rozdělen na kabinu určenou strojvedoucímu a prostor pro cestující. Trakční výzbroj z důvodu maximalizace prostoru určeného pro cestující byla umístěna na střechu. Každé vozidlo má dvě hnací dvojkolí poháněná pomocí trakčních asynchronních motorů a dvě nepoháněné. Celková hmotnost vozidla je 110 t (z toho 55 t adhezní). Jednotka má trakční výkon pro napájení z troleje i z baterie 1 600 kW, aby to bylo možné, je na vozidle umístěna 750 kWh trakční akumulátorová baterie. O udržování teploty v prostoru pro cestující se stará dvojice klimatizací střešní konstrukce.



Obr. 2.1 – Prvotní koncepce elektrické dvouzdvojevé dvouvozové jednotky [1]

### 2.3 Struktura a funkce



Obr. 2.2 – Uvažované elektrické schéma trakční jednotky [1]

Jednotka je vybavena elektrickou výzbrojí pro provoz pod systémy stejnosměrné ( $3 \text{ kV}_{\text{DC}}$ ) i střídavé trakce ( $25 \text{ kV}_{\text{AC}} 50 \text{ Hz}$ ). K jízdě pod neelektrifikovanou částí tratě se využívá

energie uložená v akumulátorech. Zdroje i spotřebiče energie jsou paralelně připojeny na stejnosměrný meziobvod.

Z důvodu tlaku dopravců na maximální obsaditelnost vozidla cestujícími (tedy prostorová minimalizace pohonných a dalších technologií) nebyla uvažována varianta obsahující spalovací motor s generátorem, který by vzhledem k možnému provozu s trolejovým napájením způsoboval zbytečnou zátěž bez využití.

Stejnosemřný obvod je navržen na napětí 750 V. Oproti vysokonapětovému obvodu (nad 1 kV) nabízí následující výhody:

- Menší náklady a jednodušší provedení komponent při napětí do 1 kV<sub>DC</sub>
- Menší výkonové ztráty a lepší dynamické vlastnosti polovodičových součástek
- Přímé napojení baterie na meziobvod bez DC/DC měniče (vyšší účinnost a jednodušší struktura)

V důsledku vývoje a aktuálního sortimentu akumulátorů je výhodné uvažovat vyšší napětí. Dále v práci bude uvažováno napětí trakční baterie 1 000 V.

Při jízdě po elektrifikované trati (25 kV<sub>AC</sub> 50 Hz) je stejnosměrný obvod napájen přes trakční transformátor a pulsní usměrňovač. Vozidlo provozované na systému 3 kV převádí stejnosměrné trolejové napětí pomocí střídače na střídavé, které je poté přivedeno na primární odbočku trakčního transformátoru. Sekundární vinutí poté napájí vstup pulzního usměrňovače, jehož výstup dodává energii do stejnosměrného meziobvodu. Trakční transformátor zajišťuje galvanické oddělení trakční sítě od trakčního obvodu s akumulátorovou baterií. Z trakční sítě je odebírán výkon pokrývající nejen trakční a pomocné spotřeby, ale i dobíjení akumulátorové baterie. Pulsní usměrňovač umožňuje řízení velikosti procházejícího výkonu a tím i potřebný dobíjecí výkon pro akumulátor.

Dvouvozová jednotka má poháněnou polovinu z celkového počtu osmi dvojkolí (tedy čtyři poháněná dvojkolí). Každý trakční motor je napájen z trakčního střídače paralelně připojeného na stejnosměrný meziobvod. Pohon nepotřebuje brzdový odpor, protože brzdná energie je rekuperována do akumulátoru. Odpor a spínací tranzistor jsou ve schématu pro případ rychlého vybití kondenzátorů připojených paralelně na stejnosměrný meziobvod a proto jsou dimenzovány pouze na tento výkon.

### 3 STRUKTURA A KVANTIFIKACE VEDLEJŠÍCH SPOTŘEBIČŮ ELEKTRICKÉ DVOUZDROJOVÉ JEDNOTKY, PROVOZNÍ REŽIMY A POŽADAVKY

#### 3.1 Struktura vedlejších spotřebičů (kvantifikace)

- **Ventilátory** – Využívají se pro chlazení systémů, u kterých je nutné odvádět vzniklé odpadní teplo, z důvodu udržení pracovních teplot spotřebiče či jeho části. U elektrické dvouzdrojové jednotky jsou osazeny ventilátory pro odvod tepla od měničů napájející palubní síť, kdy přirozené proudění by nezajistilo dostatečné chlazení. Na každém voze je jeden kontejner s těmito měniči, z nichž každý má vlastní ventilátor o příkonu 3 kW. Další provádí odvod vydýchaného vzduchu z prostoru určeného pro cestující. Celkově jsou osazeny dva ventilátory na každém voze. Dále jeden ventilátor (2 kW) chladí prostor trakční akumulátorové baterie. Čtyři ventilátory na jednotce provádí konečný odvod tepla z výměníků pro chladicí okruhy vody a oleje (každý o příkonu 3 kW).
- **Kompresory stlačeného vzduchu (hlavní a pomocný)** – Pomocný kompresor slouží hlavně pro ovládání prvků pro připojení vozidla k troleji a na jednotce jsou umístěny dva o příkonu 1,5 kW. Hlavní kompresor dodává tlak do vzduchojemu a udržuje ho na nastavené hodnotě (obvykle 8 až 10 bar). Na jednotce se nachází jeden (20 kW) a o jeho chlazení se stará vlastní ventilátor (2 kW).
- **Klimatizace** – Slouží k vytápění či chlazení prostoru určeného pro cestující. Jedná se o největší položku netrakční spotřeby. Příkon takovýchto zařízení se pohybuje mezi 20 a 40 kW. Každé vozidlo je osazeno vlastní jednotkou. V kabině je samostatně oddělená klimatizace s příkonem kolem 3 kW. Klimatizace se skládá ze systému topení a chlazení.
- **Čerpadla (oleje a vody)** – Zařízení zaručující oběh chladicího média z důvodu odvodu tepla. Na každém voze se nachází okruh chlazení transformátoru (olej) a měničů (voda). Každý okruh obsahuje jedno čerpadlo. Přibližný příkon zařízení je 0,5 až 3 kW.
- **Nabíjení pomocné akumulátorové baterie** – Akumulátorová baterie slouží jako zdroj energie vedlejší spotřeby, pokud dojde k přerušení dodávky energie z troleje nebo

trakční akumulátorové baterie. Naopak, pokud je vozidlo napájeno, potom akumulátor uvažujeme jako spotřebič (nabíjení) s příkonem obvykle od 5 do 10 kW.

- **Výsuvné schody** – Slouží pro příjemný nástup cestujících. Systémy jsou osazeny pod vnějšími dveřmi, které jsou na každém voze čtyři (dvě po každé straně). Schody se vysouvají při zastavení vozidla a naopak při rozjezdu dojde k zasunutí. Příkon jednoho pohonu je do 0,5 kW.
- **Pohony dveří** – Každý vůz má čtyři vnější dveře. Každé dveře mají vlastní pohon včetně elektronického řízení. K otevření dveří je nutné obdržet povolení od strojvedoucího a povelu od cestujících (skrze tlačítko). Systém odebírá do 0,5 kW pro jedny dveře.
- **Osvětlení vnitřní** – Systém slouží pro osvětlení vnitřních prostor a zdrojem světla jsou LED diody. Celý systém odebírá příkon do 1 kW.
- **Osvětlení vnější** – Zajišťuje osvětlení cesty a vizuální znamení o poloze projíždějícím vozidlům. Osazena jsou diodová světla a celkový příkon systému je do 1 kW
- **Elektrické systémy**
  - Centrální systém řízení
  - Protismykové ochrany
  - Řízení pneumatického obvodu
  - Vnitřní informační systémy určené cestujícím
  - Vnější informační systémy
  - Informační systémy určené strojvedoucímu
  - Sociální zařízení (vodohospodářství a WC)
  - Termofor
  - Rozmrazování předních oken
  - Řízení HVAC (prostoru cestujících)

- Zásuvky pro drobné spotřebiče (230 V<sub>AC</sub> 50 Hz)
- Protipožární systém
- Zabezpečovací zařízení

Příkon jednotlivých systémů se pohybuje od 0,1 do 1 kW (Popis jednotlivých zařízení je v kapitole 1.1.4.).

## 3.2 Provozní režimy

### 3.2.1 Předtápění (předchlazení)

V tomto režimu je přes topnou zásuvku odebírán výkon ze stojanu na nástupišti. Také musí být vždy takto napájený vlak příslušně označen (znak ve tvaru blesku viz. Obr. 3.1). Hlavním účelem je zvýšení (popřípadě snížení) teploty na „příjemnou“ hodnotu v místech pro cestující či v kabině strojvedoucího. Dále kromě topného systému se dobíjí baterie, ze které je poté nutné napájet pomocný kompresor (nutný pro zvednutí sběrače) pro naplnění pomocného vzduchojemu. Tento vysokotlaký vzduch poté pohání sběrač, sloužící pro připojení k troleji a zapíná hlavní vypínač. Obecně by mělo být umožněno v tomto režimu i zapnutí světel. Trakční obvody neodebírají žádný výkon.



Obr. 3.1 – Předtápění příslušně označené vozu [1]

### 3.2.2 Pohotovost

Stav, kdy jednotka stojí ve stanici a je připravena k odjezdu. Při nevhodných klimatických podmínkách tomuto režimu předchází předtápění (či klimatizace). Jednotka neodebírá spotřebu pro trakční pohony. Pokud stanice je neelektrifikovaná, energie se čerpá z trakční akumulátorové baterie. Tento stav můžeme uvažovat i při čekání v zastávce.

### 3.2.3 Jízda

Trakční dvouzdrojová jednotka při jízdě je napájena přes sběrač z příslušného systému nebo z trakční akumulátorové baterie.

- **Rozjezd** – Trakční obvody odebírají několikanásobně větší výkon než netrakční (světla, topení, informační systémy atd.).
- **Jízda konstantní rychlostí** – Jednotka má konstantní trakční odběr a prakticky veškeré netrakční systémy mohou být v provozu.
- **Výběh** – Fáze jízdy, kdy trakční motory nevytváří tažnou sílu ani brzdou. Veškerá odebíraná energie je čerpána netrakčními spotřebiči.
- **Brzdění** – Jednotka snižuje rychlost pomocí mechanické nebo elektrodynamické brzdy. Použitím mechanických brzd se brzdná energie mění v teplo, oproti tomu elektrodynamická brzda ji převádí zpět na elektrickou (rekuperace).

### 3.2.4 Údržba a diagnostika

Jedná se o provozní režim, kdy vozidlo může být připojeno přes topnou zásuvku. Obsluha pomocí propojení s centrálním řídicím systémem postupně spouští jednotlivé subsystémy, které potřebuje zkontrolovat na funkci nebo vyčítá diagnostická data. Odběr závisí na spuštěném systému, proto tento režim není uveden v kapitole 3.3.

### 3.2.5 Aktivní odstavení

Jednotka má zvednutý sběrač, odebírá energii na netrakční spotřeby (temperování teploty atd.). Nad vlakem není stálý dohled, ale dopravní zaměstnanec by měl v tomto režimu periodicky provádět kontrolu nebo vozidlo může předávat informace o svém stavu na nejbližší dopravnu (dispečerské pracoviště). Při ztrátě napětí v troleji jsou systémy vozidla napájeny z trakčního akumulátoru. Pokud jde o dlouhodobý výpadek, vozidlo se po určitém časovém intervalu samo vypíná.

### 3.2.6 Porucha (ztráta napájení)

Jedná se o režim, ve kterém se vozidlo nachází při ztrátě napájení z troleje nebo trakční akumulátorové baterie. Trakční okruh je bez energie a zdrojem vedlejší spotřeby se stává pomocný akumulátor, který musí být schopen dodávat energii po požadovanou dobu. Počet aktivních spotřebičů je omezen na minimum s ohledem na bezpečnost.

### 3.3 Aktivní spotřebiče v jednotlivých režimech

Spotřebič	Režim				
	Předtápění (předchlazení)	Pohotovost	Jízda	Aktivní odstavení	Porucha
Ventilátory kontejneru měničů (vytvářející palubní síť)		×	×	×	
Chlazení prostoru skříně baterií	×	×	×	×	×
Ventilace (prostoru pro cestující)		×	×		×
Hlavní kompresor		×	×		
Chlazení hlavního kompresoru		×	×		
Chlazení – prostoru pro cestující	×	×	×	×	
Topení – prostoru pro cestující	×	×	×	×	
HVAC (Stanoviště strojvedoucího)	×	×	×	×	
Čerpadla oleje		×	×	×	
Chlazení výměníku oleje		×	×		
Čerpadla vody		×	×	×	
Chlazení výměníku vody		×	×		
Pomocný kompresor	×				
Nabíjení pomocné baterie	×	×	×	×	
Výsuvné schody		×			×
Vnější dveře		×			×
Osvětlení vnitřní	×	×	×	×	×
Osvětlení vnější	×	×	×	×	×
Centrální systém řízení	×	×	×	×	×
Termofoch		×	×	×	
Řízení HVAC(prostoru pro cestující)	×	×	×	×	×
Protismykové ochrany		×	×		×
Řízení pneumatického obvodu		×	×		
Řízení pomocných pohonů	×	×	×	×	
Vnitřní informační systémy (pro cestující)		×	×		×
Vnější informační systémy		×	×		
Kamerový systém	×	×	×	×	×
Informační systémy (pro strojvedoucího)	×	×	×	×	×
Rozmrazování předního okna	×	×			
Sociální zařízení		×	×		×
Zásuvky pro drobné spotřebiče		×	×		
Protipožární systém	×	×	×	×	×
Zabezpečovací zařízení	×	×	×	×	×

Tab. 3.1 – Spotřebiče v chodu pro jednotlivé pracovní režimy

## 4 STRUKTURA A DIMENZOVÁNÍ ZDROJŮ PALUBNÍCH SÍTÍ

V následující kapitole jsou znázorněna možná provedení napájení palubních sítí, včetně popisu a zhodnocení jednotlivých zapojení. První uvažovaná konfigurace se skládá ze střídavé třífázové sítě 400 V 50 Hz (sloužící jako zdroj pro pomocné pohony) a stejnosměrné sítě 110 V (pro dobíjení baterie a napájení ostatní vedlejší spotřeby). Další možnost uspořádání palubních sítí je první stejnosměrná 600 V (určená pro pohony) a druhá stejnosměrná 110 V. Výsledkem kapitoly je vytipování nejlepší možné varianty pro obě konfigurace, z kterých bude vybrána ta nejpříznivější.

Nejvhodnější varianta by měla obsahovat co nejméně konverzí energie (co nejmenší počet měničů), protože každá přeměna znamená energetickou ztrátu, která ve výsledku prodražuje provoz a v případě napájení z trakční baterie snižuje i celkovou dobu provozu. Dále je nutné uvažovat ke každému řízenému měniči i systém řízení (další spotřeba navíc). Také s narůstajícím počtem použitých prvků klesá výsledná spolehlivost systému a narůstá pořizovací cena.

Obecně můžeme říct, že cena měničů roste s jejich povoleným maximálním výstupním proudem (výkonem). Při návrhu se zaměřujeme, aby ve větvi s vyšším výkonovým zatížením bylo minimum měničů (sít'  $3 \times 400 \text{ V}_{AC}$  nebo  $600 \text{ V}_{DC}$  – zapříčiněno napájením náročných aplikací jako klimatizace, hlavní kompresor atd.).

V rámci ochrany jsou v obvodech umístěny oddělovací transformátory zaručující galvanické oddělení. Uvažované varianty počítají s transformátory na 50 Hz a 400 Hz. Použitím vyšší frekvence se sníží objem a hmotnost oddělovacího transformátoru. To je výhodné, protože při návrhu moderních vozidel je snaha o co nejmenší a nejlehčí konstrukci elektrické výzbroje. Bohužel u některých zapojení nás to vede na další měnič navíc, upravující frekvenci zpět na 50 Hz.

Jelikož se vyžaduje spolehlivost napájení, je na vozidle zdrojová soustava dvakrát (v rámci redundance) a proto se vyplatí důkladně promyslet použitou variantu.

## 4.1 Napájení z trolejového vedení

### 4.1.1 Konfigurace palubních sítí – AC = 3x 400 V 50 Hz; DC = 110 V

#### Oddělovací transformátor zapojen do větve AC – 50 Hz

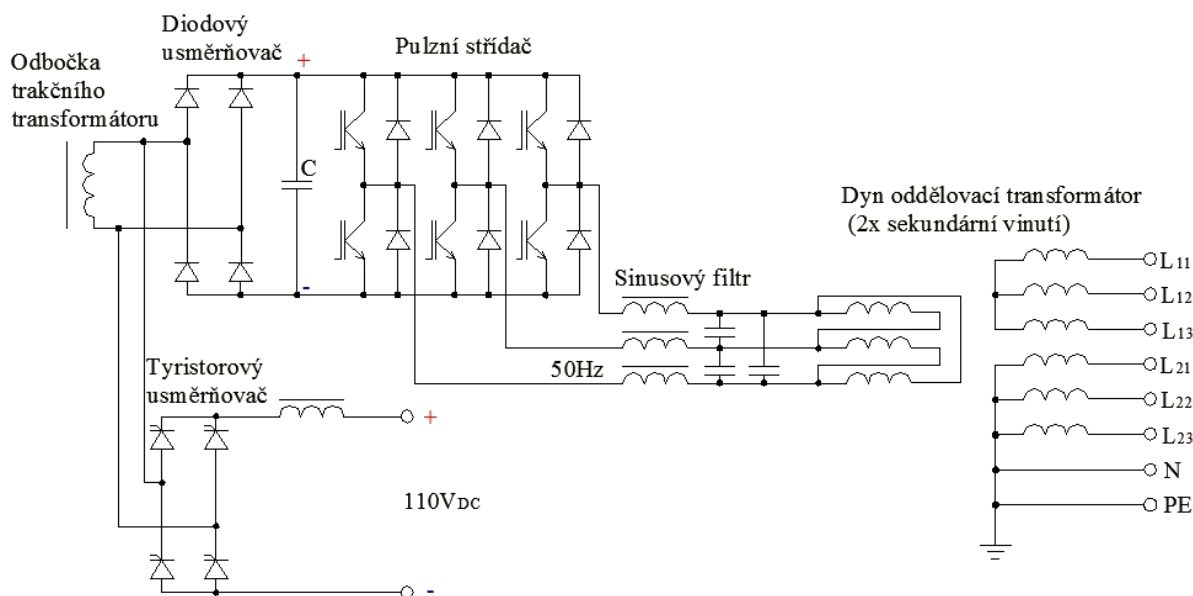
Energie přicházející přes odbočku trakčního transformátoru se rozdělí na dvě složky. První je usměrněna tyristorovým měničem s vyhlazovací tlumivkou na výstupu, který napájí stejnosměrnou palubní síť o napětí 110 V a také slouží jako nabíječ pomocné akumulátorové baterie připojené na tuto síť.

Druhá složka prochází přes diodový usměrňovač a poté pulzní střídač. Výstupem je průběh pulzů napětí o frekvenci 1. harmonické složky 50 Hz. Sinusový filtr upraví průběh na téměř dokonalou sinusovku napětí i proudu. Aby byla dodržena bezpečnost, jsou napájecí obvody od palubní sítě odděleny pomocí transformátoru s dvěma sekundárními vinutími. První sloužící pro vytvoření izolované sítě 3x 400 V 50 Hz. Druhé sekundární vinutí je zapojené do hvězdy s vyvedeným středem, abychom získali fázové napětí 230 V 50 Hz sloužící pro napájení drobných spotřebičů. Síť 230 V je koncipována jako TNS, tedy ochranný vodič (PE) a střední pracovní vodič (N) jsou vedeny odděleně.

Výhodou takového zapojení je jediná konverze energie, kterou čerpá stejnosměrná palubní síť 110 V. Naopak nevýhodou je oddělovací transformátor na 50 Hz a nutnost dimenzovat měniče v horní větvi nejen na odběr sítě 3x 400 V, ale i sítě 230 V.

Počet konverzí energie (od odbočky trakčního transformátoru):

- síť 3x 400 V<sub>AC</sub> – 3 (včetně konverze napětí na transformátoru)
- síť 110 V<sub>DC</sub> – 1



Obr. 4.1 – Napájení vedlejší spotřeby s oddělovacím transformátorem (50 Hz) ve větvi palubní sítě 3x 400 V

### Oddělovací transformátor zapojen do větve AC – 400 Hz

Palubní síť 110 V je provedena obdobně jako u výše uvedené varianty (Obr. 4.1). Pulzní střídač (první v horní větvi) vystřídá stejnosměrné napětí na třífázové sinusové napětí s frekvencí 400 Hz (z důvodu zmenšení oddělovacího transformátoru). Sekundární vinutí transformátoru následně napájí diodový usměrňovač, jehož výstupní napětí je vyhlazeno filtračním kondenzátorem.

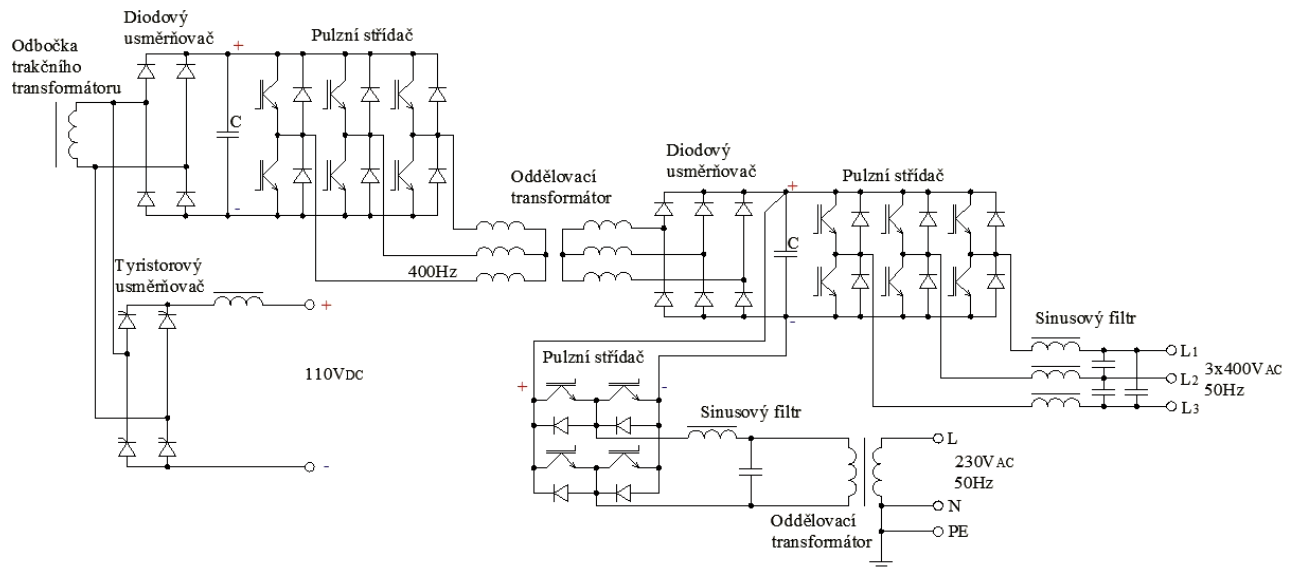
Z tohoto stejnosměrného meziobvodu je vyvedena odbočka napájející pulzní střídač vytvářející sinusové napětí 230 V 50 Hz s následnou filtrací a oddělením. Přes tuto odbočku je vytvářena střídavá síť 230 V 50 Hz v konfiguraci TNS.

Na stejnosměrný meziobvod je připojen i pulzní střídač (druhý v horní větvi) vytvářející třífázovou střídavou síť (3x 400V 50 Hz), jejíž průběh je vyhlazen sinusovým filtrem.

Obdobně jako u předchozí varianty je výhodou pouze jediný měnič ve větvi pro napájení sítě 110 V a dále také použití oddělovacího transformátoru na 400 Hz. Nevýhodou je velký počet konverzí pro síť 3x 400 V 50 Hz a 230 V 50 Hz.

Počet konverzí energie (od odbočky trakčního transformátoru):

- palubní síť 3x 400 V<sub>AC</sub> – 5 (včetně konverze napětí na transformátoru)
- palubní síť 110 V<sub>DC</sub> – 1



Obr. 4.2 – Napájení vedlejší spotřeby s oddělovacím transformátorem (400 Hz) ve větvi palubní sítě 3x 400 V

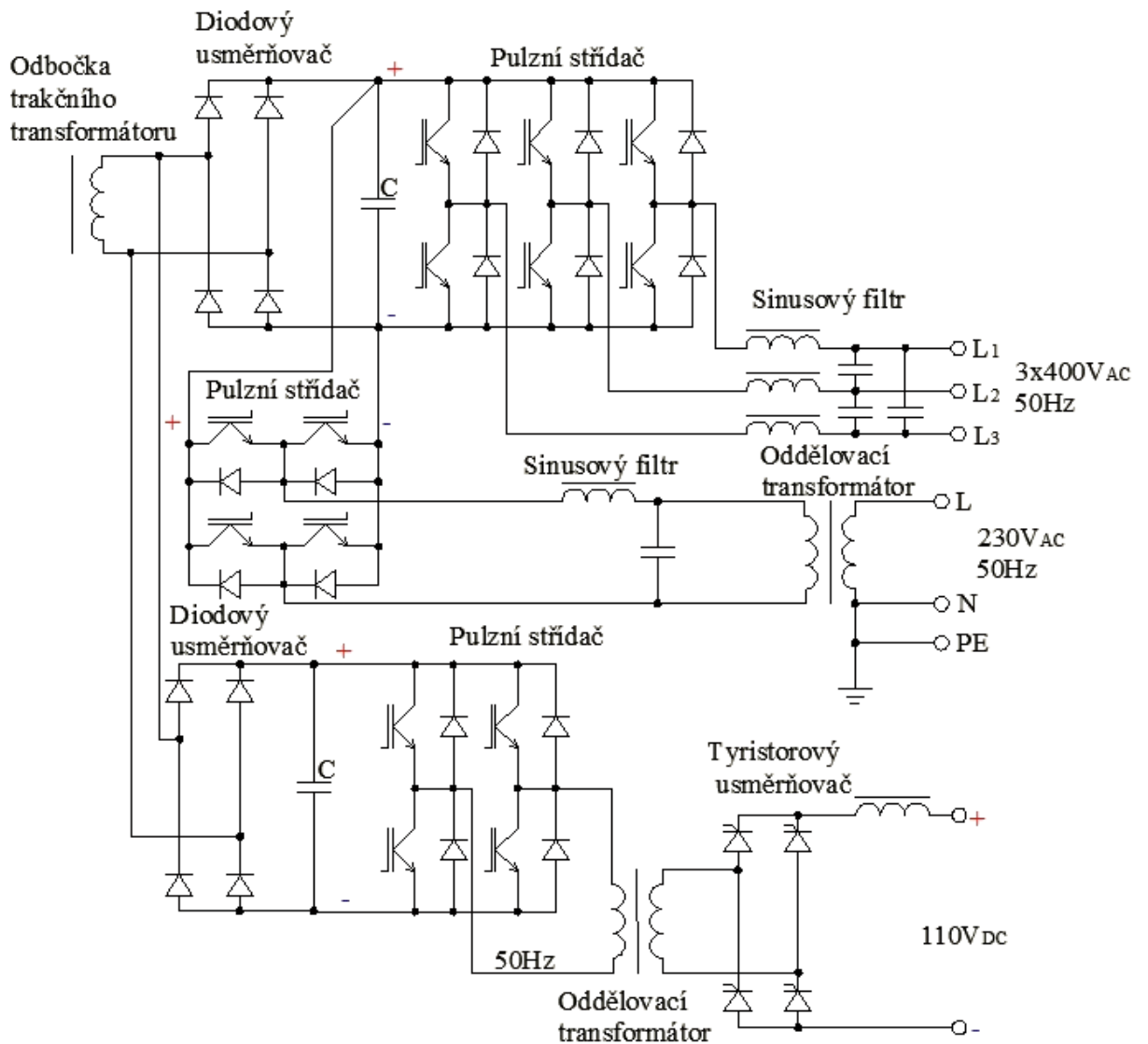
### Oddělovací transformátor zapojen do větve DC – 50 Hz

Jedna část energie z odbočky trakčního transformátoru prochází přes diodový usměrňovač (v dolní větvi). Výstupní napětí je vyhlazeno kondenzátorem a poté upraveno pulzním střídačem na střídavý průběh o frekvenci 50 Hz. Dále tato energie prochází přes oddělovací transformátor a tyristorový usměrňovač. Druhá část energie prochází přes diodový usměrňovač, jehož výstupní usměrněné napětí je vyhlazeno kondenzátorem v stejnosměrném meziobvodu. Z tohoto obvodu je vyvedena odbočka, z které je vytvářena střídavá síť 230 V 50 Hz stejně jako u varianty výše (Obr. 4.2). Třífázový pulzní střídač (v horní větvi) připojený na meziobvod vytváří střídavé napětí 3x 400 V 50 Hz, které je vyhlazeno sinusovým filtrem.

Pulzní střídače jsou ovládány přímo podle potřeb příslušné sítě. Nevýhodou tohoto zapojení je použití oddělovacího transformátoru na 50 Hz a také, že energie vždy prochází minimálně dvěma konverzemi (s tím souvisejí vyšší ztráty).

Počet konverzí energie (od odbočky trakčního transformátoru):

- palubní síť 3x 400 V<sub>AC</sub> – 2
- palubní síť 110 V<sub>DC</sub> – 4 (včetně konverze napětí na transformátoru)



Obr. 4.3 – Napájení vedlejší spotřeby s oddělovacím transformátorem (50 Hz) ve větvi palubní sítě 110 V

### Oddělovací transformátor zapojen do větve DC – 400 Hz

Zapojení je stejné jako u varianty uvedené výše (Obr. 4.3), kromě jediného rozdílu. Pulzní střídač (ve spodní větvi) vytváří střídavé napětí o frekvenci 400 Hz z důvodu použití menšího a lehčího oddělovacího transformátoru, který je výhodou tohoto zapojení.

Počet konverzí energie (od odbočky trakčního transformátoru):

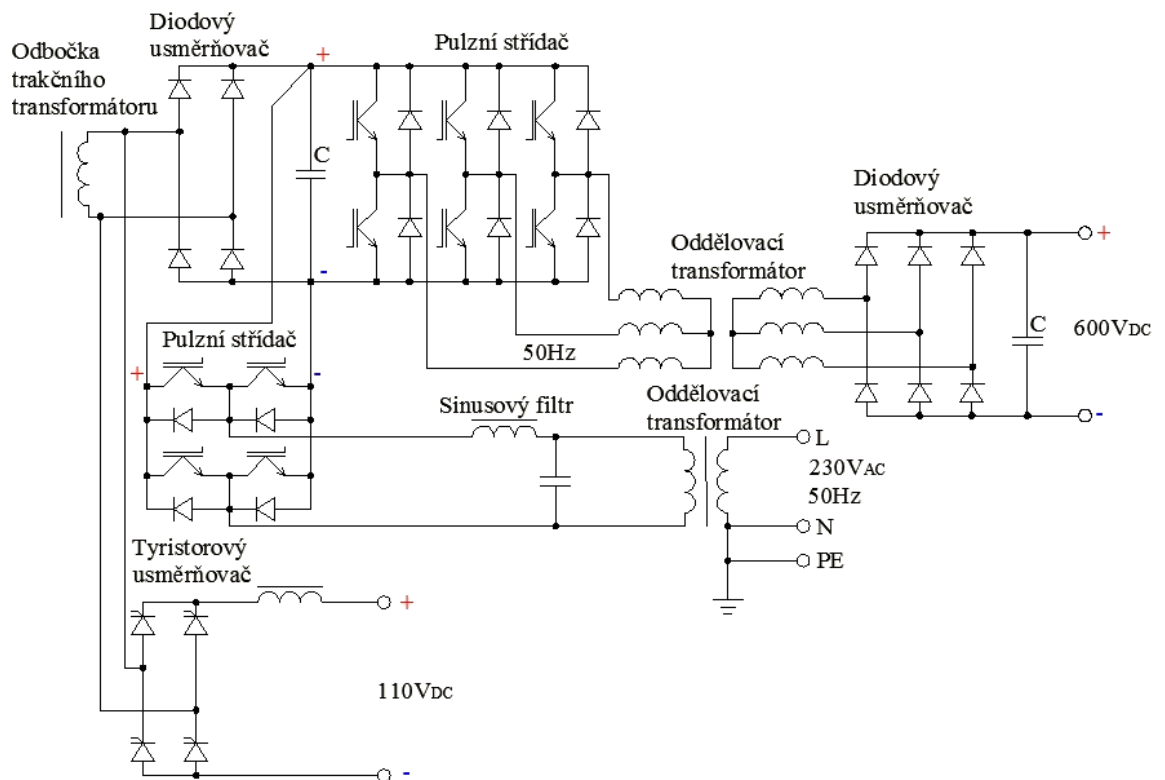
- palubní síť 3x 400 V<sub>AC</sub> – 2
- palubní síť 110 V<sub>DC</sub> – 4 (včetně konverze napětí na transformátoru)



Výhodou tohoto zapojení je pouze jeden měnič ve větvi napájení palubní sítě 110 V. Naopak nevýhodou je použití oddělovacího transformátoru na 50 Hz a počet konverzí pro síť 600 V.

Počet konverzí energie (od odbočky trakčního transformátoru):

- palubní síť 600 V<sub>DC</sub> – 4 (včetně konverze napětí na transformátoru)
- palubní síť 110 V<sub>DC</sub> – 1



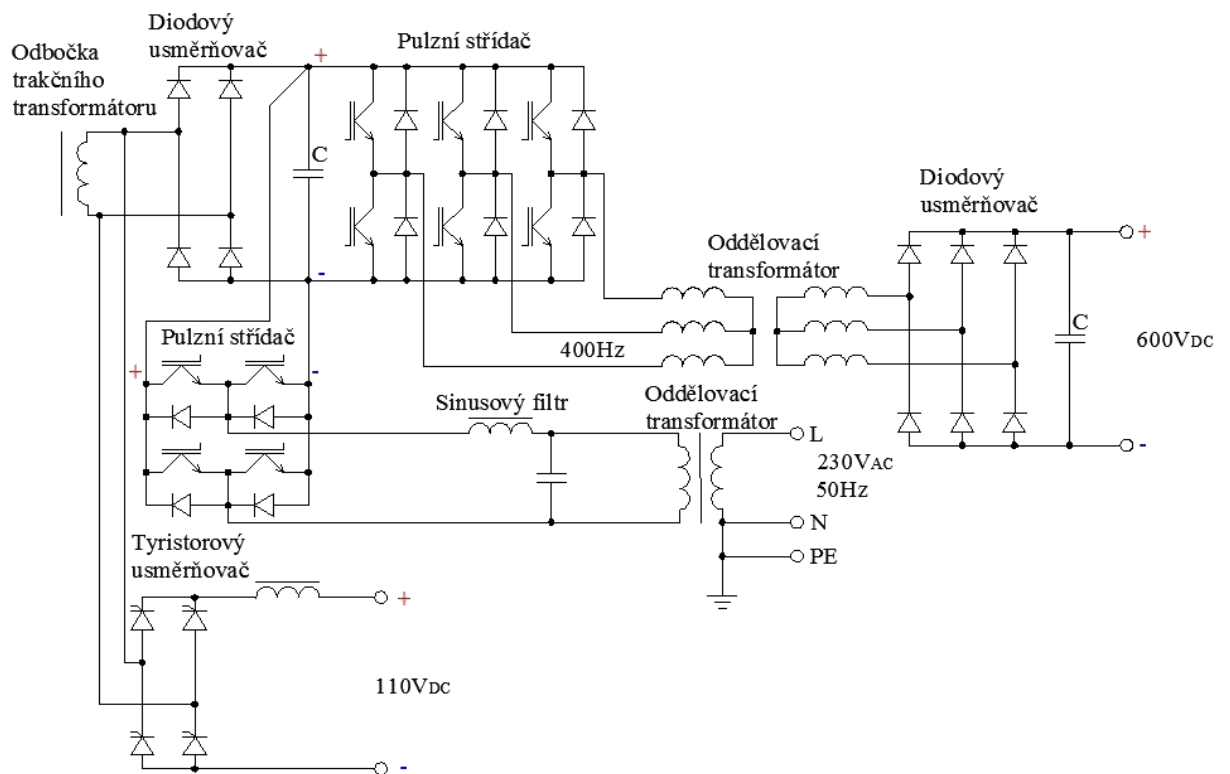
Obr. 4.5 – Napájení vedlejší spotřeby s oddělovacím transformátorem (50 Hz) ve větvi palubní sítě 600 V

### Oddělovací transformátor zapojen do větve DC = 600 V – 400 Hz

Zapojení je stejné jako u varianty uvedené výše (Obr. 4.5), kromě jednoho rozdílu. Pulzní střídač (v horní větvi) vytváří střídavé třífázové napětí o frekvenci 400 Hz. Z toho plynou výhody a nevýhody zapojení, které jsou podobné jako u varianty s oddělovacím transformátorem na 50 Hz.

Počet konverzí energie (od odbočky trakčního transformátoru):

- palubní síť 600 V<sub>DC</sub> – 4 (včetně konverze napětí na transformátoru)
- palubní síť 110 V<sub>DC</sub> – 1



Obr. 4.6 – Napájení vedlejší spotřeby s oddělovacím transformátorem (400 Hz) ve větvi palubní sítě 600 V

#### Oddělovací transformátor zapojen do větve DC = 110 V – 50 Hz

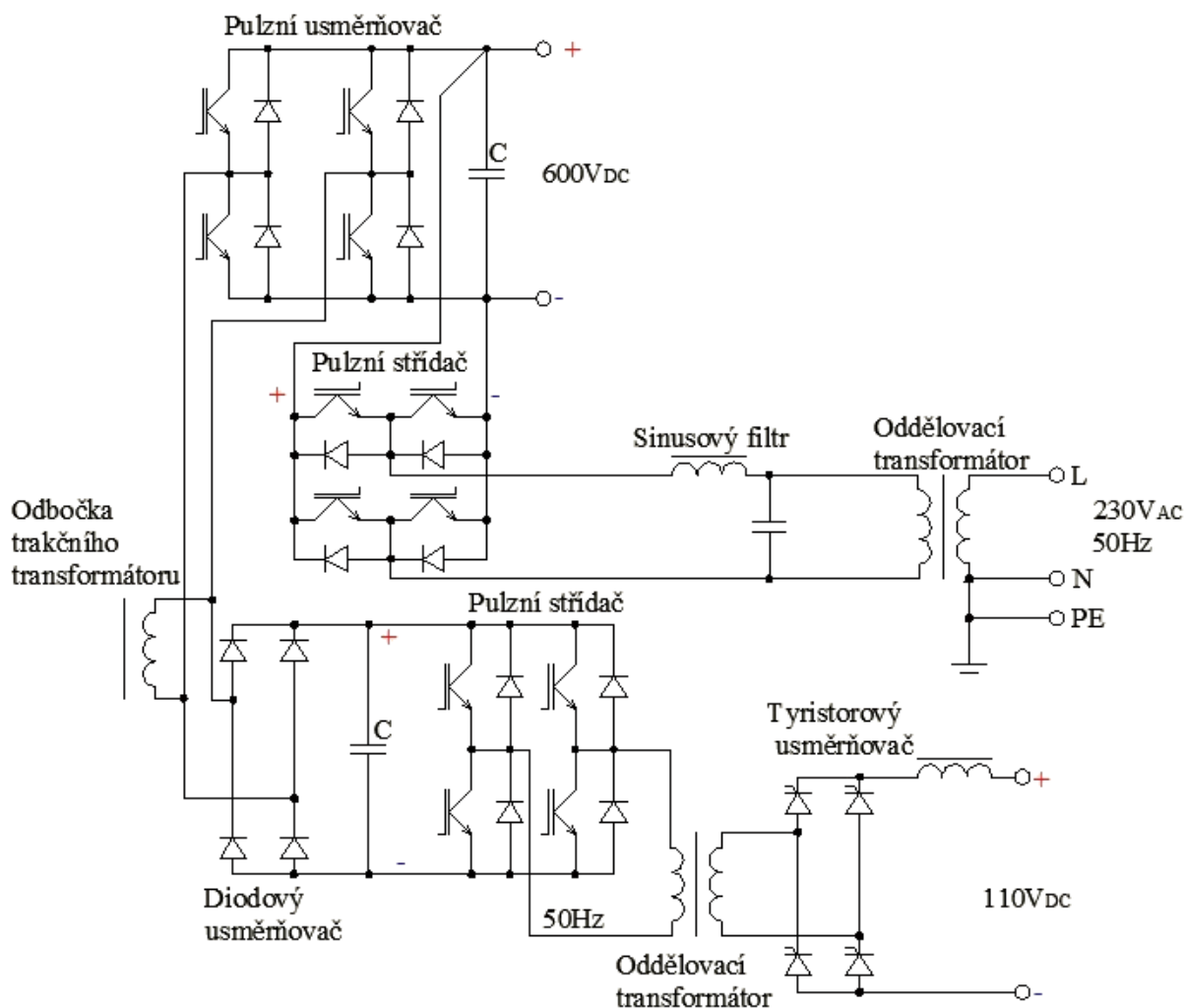
Energie procházející odbočkou trakčního transformátoru se rozdělí na dvě části. První prochází přes diodový usměrňovač, jehož výstupní napětí je vyhlazeno kondenzátorem a dále upraveno pulzním střídačem na střídavé napětí o frekvenci první harmonické složky 50 Hz. Toto napětí prochází oddělovacím transformátorem a dále přes tyristorový usměrňovač. Ten společně s vyhlazovací tlumivkou tvoří zdroj pro stejnosměrnou palubní síť 110 V.

Druhá část energie putuje do pulzního usměrňovače, který společně s filtračním kondenzátorem napájí stejnosměrnou palubní síť 600 V, ze které je skrz odbočku napájena síť 230 V<sub>AC</sub> 50Hz (konfigurace TNS) přes pulzní měnič, sinusový filtr a oddělovací transformátor.

Výhodou je jedna konverze energie ve větvi napájející síť 600 V a nevýhodou je použití oddělovacího transformátoru na 50 Hz (pro síť 110 V<sub>DC</sub>).

Počet konverzí energie (od odbočky trakčního transformátoru):

- palubní síť 600 V<sub>DC</sub> – 1
- palubní síť 110 V<sub>DC</sub> – 4 (včetně konverze napětí na transformátoru)



Obr. 4.7 – Napájení vedlejší spotřeby s oddělovacím transformátorem (50 Hz) ve větvi palubní sítě 110 V

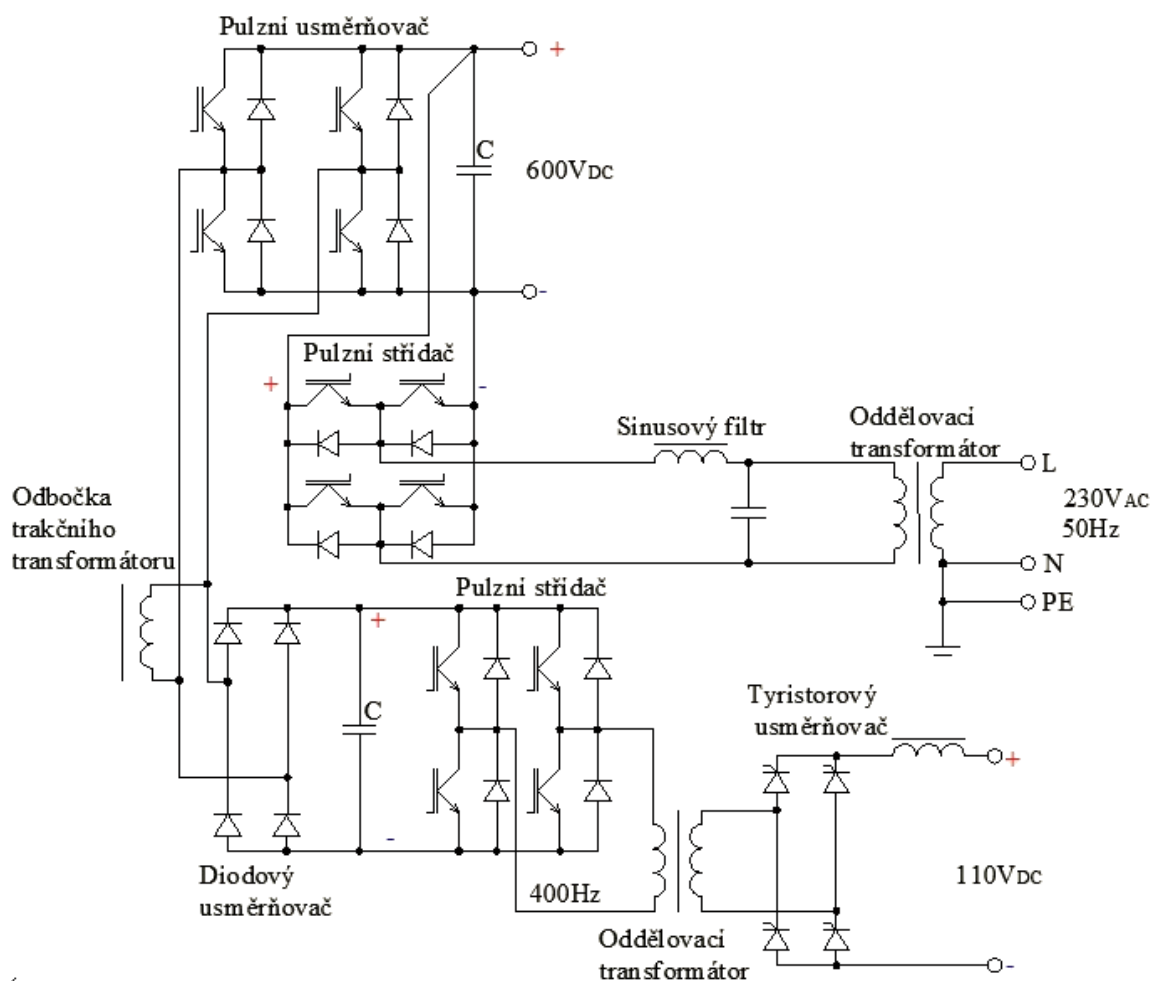
#### Oddělovací transformátor zapojen do větve DC = 110 V – 400 Hz

Zapojení je stejné jako u varianty uvedené výše (Obr. 4.7), kromě jednoho rozdílu. Pulzní střídač (v dolní větvi) vytváří střídavé napětí o frekvenci první harmonické složky 400 Hz.

Výhodou toho zapojení je využití oddělovacího transformátoru na vyšší frekvenci a jediná konverze energie ve větvi pro napájení sítě 600 V.

Počet konverzí energie (od odbočky trakčního transformátoru):

- palubní síť 600 V<sub>DC</sub> – 1
- palubní síť 110 V<sub>DC</sub> – 4 (včetně konverze napětí na transformátoru)



Obr. 4.8 – Napájení vedlejší spotřeby s oddělovacím transformátorem (400 Hz) ve větvi palubní sítě 110 V

## 4.2 Napájení z trakční baterie

### 4.2.1 Palubní sítě – AC = 3x 400 V 50 Hz; DC = 110 V

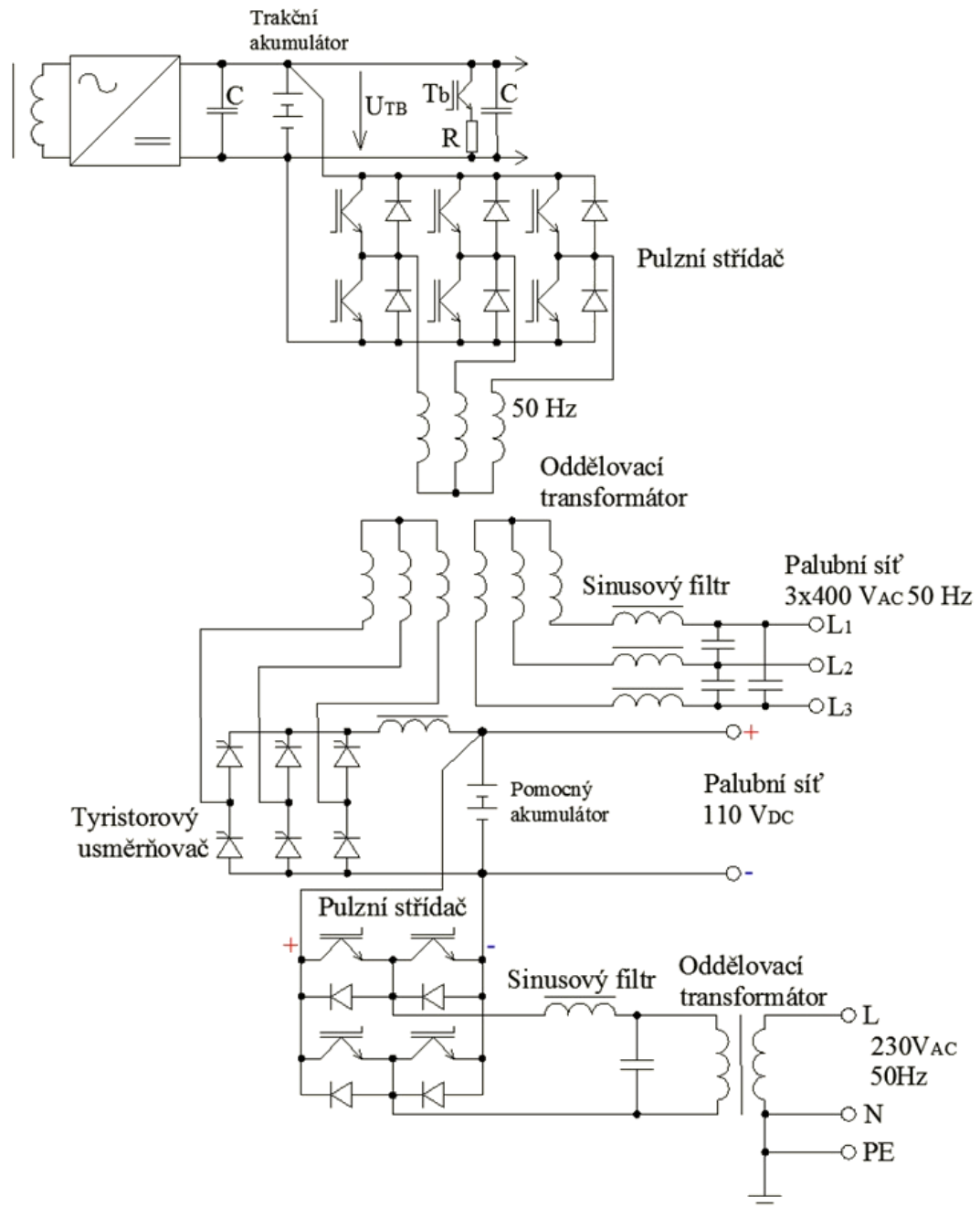
#### Baterie připojená přes oddělovací transformátor (50 Hz)

Energie z trakční akumulátorové baterie prochází pulzním střídačem, jehož výstupem je střídavé napětí o frekvenci 50 Hz, do oddělovacího transformátoru s dvěma sekundárními vinutími. Jedno je přímo připojené na palubní síť 3x 400 V 50 Hz přes sinusový filtr. Ten zajistí vyhlazené průběhy napětí i proudu. Druhé vinutí napájí usměrňovač nabíječe palubní sítě 110 V. Na této síti je připojen pomocný akumulátor sloužící pro napájení vedlejší spotřeby v případě poruchy napájení. Odbočka od pomocného akumulátoru napájí pulzní střídač, který vytvoří jednofázové střídavé napětí 230 V 50 Hz. Toto napětí je následně vyhlazeno a pomocí transformátoru je síť galvanicky oddělena.

Výhodou tohoto zapojení je pouze jediná konverze energie, kterou odebírá síť 3x 400 V 50 Hz. Oproti tomu je nevýhodné použití těžkého a velkého oddělovacího transformátoru na 50 Hz.

Počet konverzí energie (od trakčního akumulátoru):

- palubní síť 3x 400 V<sub>AC</sub> – 2 (včetně konverze napětí na transformátoru)
- palubní síť 110 V<sub>DC</sub> – 3 (včetně konverze napětí na transformátoru)



Obr. 4.9 – Napájení vedlejší spotřeby s oddělovacím transformátorem (50 Hz) ve větvi palubní sítě 3x 400 V

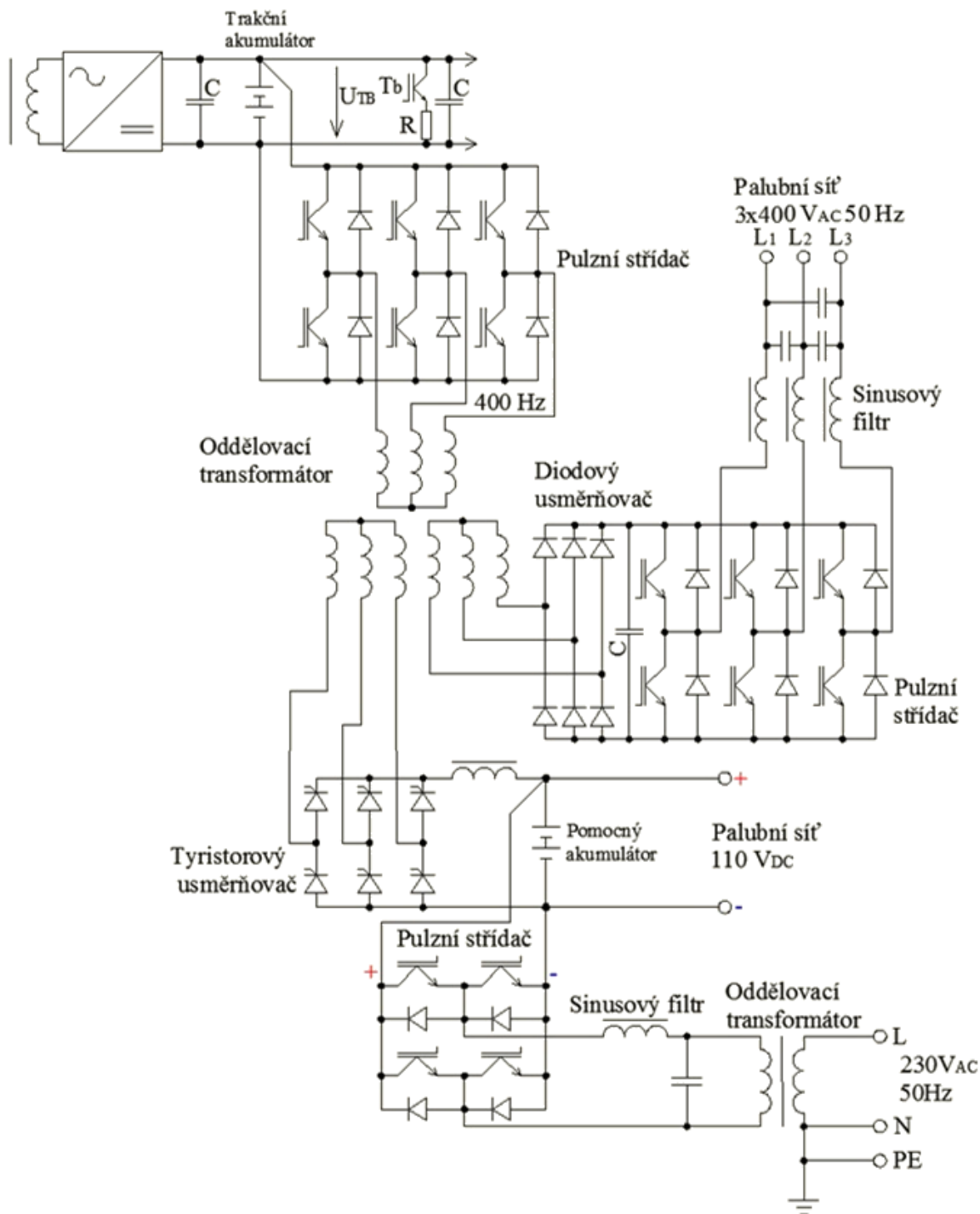
### **Baterie připojená přes oddělovací transformátor (400 Hz)**

Energie z trakční baterie napájí pulzní střídač, který vytváří na svém výstupu střídavé napětí o frekvenci 400 Hz. Dále putuje do oddělovacího transformátoru s dvěma vinutími. První vinutí je zapojené na diodový usměrňovač, na jehož výstupu je filtrační kondenzátor pro vyhlazení napětí. Poté se toto napětí upraví pulzním střídačem na třífázový střídavý průběh ( $3 \times 400 \text{ V}$ ) o frekvenci 50 Hz. Výstup tohoto měniče je zapojen přes sinusový filtr k palubní síti. Druhé vinutí napájí tyristorový usměrňovač nabíječe a dále je zapojení obdobné jako u varianty výše.

Výhodou takového zapojení je použití oddělovacího transformátoru na 400 Hz. Naopak nevýhodou je nutnost dalšího měniče, který převede 400 Hz na 50 Hz.

Počet konverzí energie (od trakčního akumulátoru):

- palubní síť  $3 \times 400 \text{ V}_{AC}$  – 4 (včetně konverze napětí na transformátoru)
- palubní síť  $110 \text{ V}_{DC}$  – 3 (včetně konverze napětí na transformátoru)



Obr. 4.10 – Napájení vedlejší spotřeby s oddělovacím transformátorem (400 Hz) ve větvi palubní sítě 3x 400 V

#### 4.2.2 Palubní sítě – DC = 600 V; 110 V

##### Baterie připojená přes oddělovací transformátor (50 Hz)

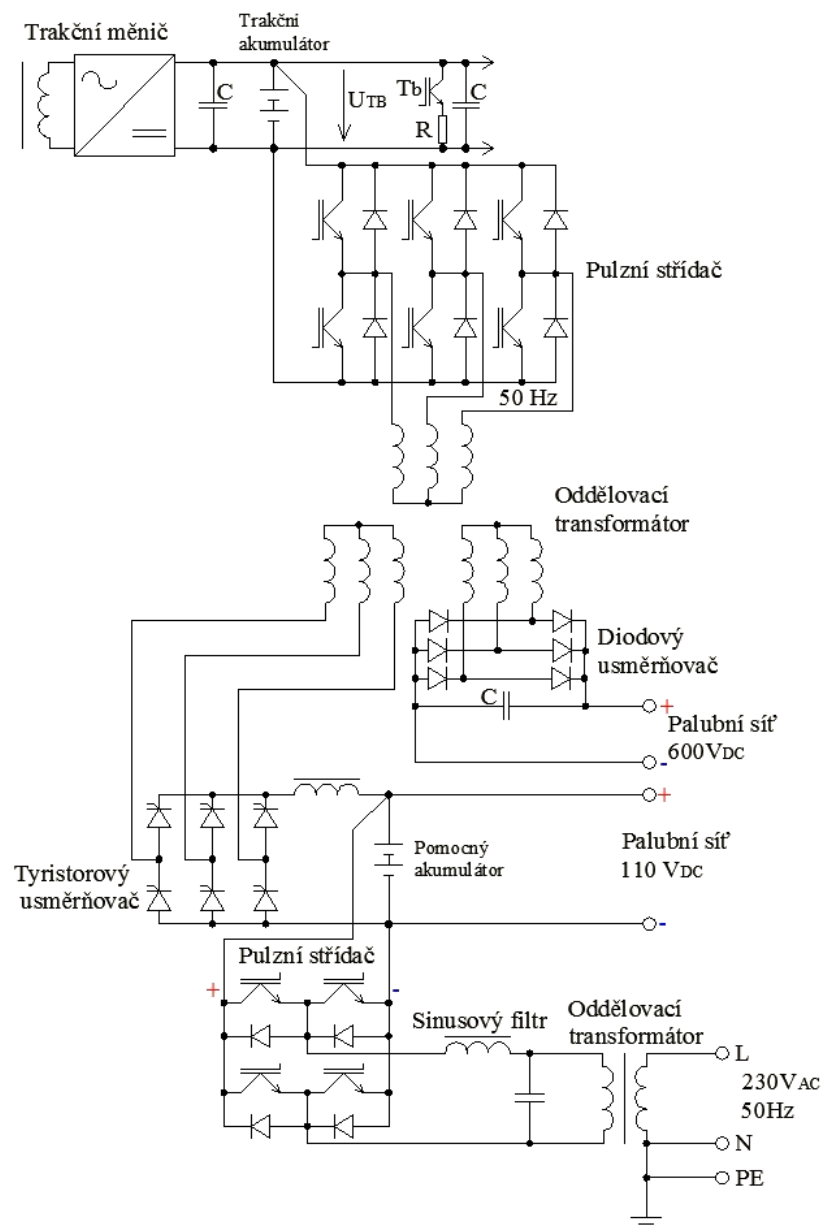
Energie z trakční baterie prochází přes pulzní střídač, který vytváří na svém výstupu třífázové střídavé napětí o frekvenci 50 Hz. Dále putuje do oddělovacího transformátoru s dvěma vinutími. První vinutí je zapojené na diodový usměrňovač, na jehož výstupu se nachází filtrační kondenzátor pro vyhlazení stejnosměrného napětí o velikosti 600 V, které je

přiváděno do palubní sítě. Druhé vinutí napájí tyristorový usměrňovač, který slouží jako zdroj pro palubní síť 110 V. Zapojení sítě 230 V 50 Hz je obdobné jako u varianty uvedené výše.

Nevýhodou tohoto zapojení je použití oddělovacího transformátoru na 50 Hz a vždy dvojí měničová konverze energie pro obě palubní sítě.

Počet konverzí energie (od trakčního akumulátoru):

- palubní síť 600 V<sub>DC</sub> – 3 (včetně konverze napětí na transformátoru)
- palubní síť 110 V<sub>DC</sub> – 3 (včetně konverze napětí na transformátoru)



Obr. 4.11 – Napájení vedlejší spotřeby s oddělovacím transformátorem (50 Hz) ve větvi palubní sítě 600 V

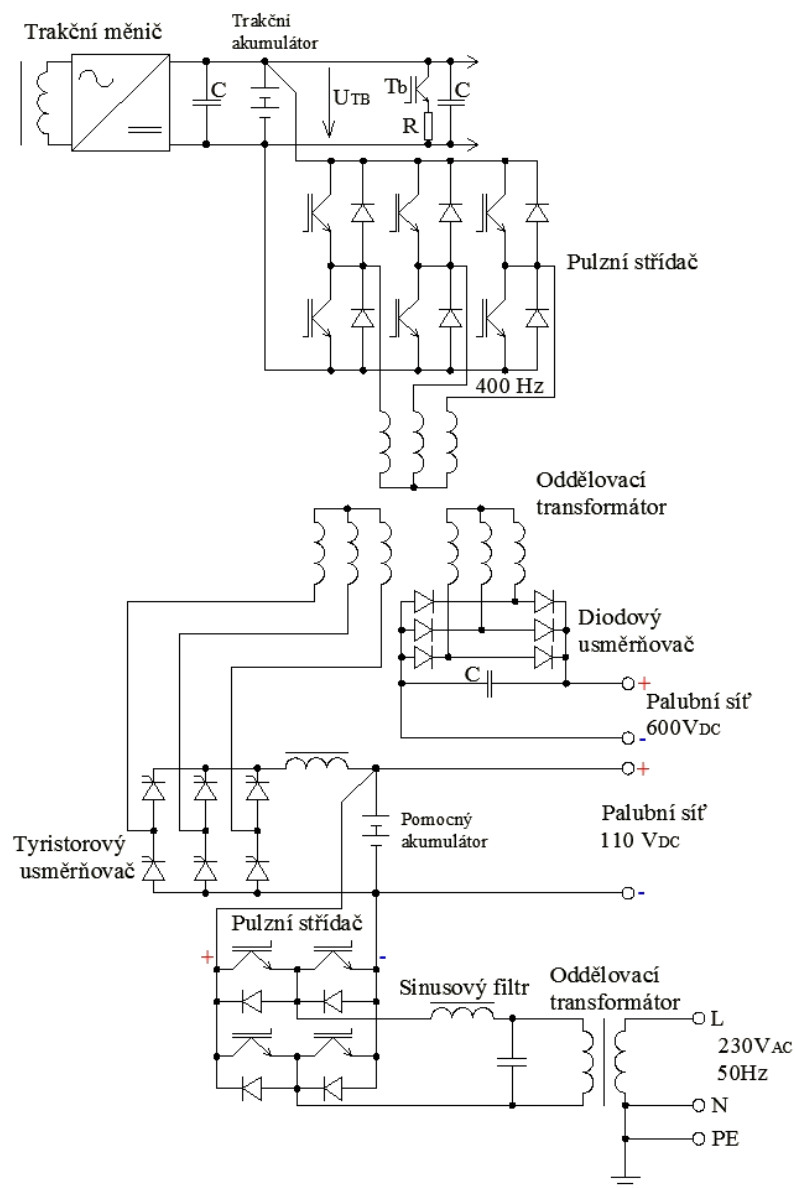
### Baterie připojená přes oddělovací transformátor (400 Hz)

Zapojení je stejné jako u varianty uvedené výše (Obr. 4.11), kromě jednoho rozdílu. Pulzní střídač vytváří střídavé třífázové napětí o frekvenci 400 Hz.

Výhodou toho zapojení je použití oddělovacího transformátoru na 400 Hz a nevýhodou dvojitá měničová konverze energie pro obě palubní sítě.

Počet konverzí energie (od trakčního akumulátoru):

- palubní síť 600 V<sub>DC</sub> – 3 (včetně konverze napětí na transformátoru)
- palubní síť 110 V<sub>DC</sub> – 3 (včetně konverze napětí na transformátoru)



Obr. 4.12 – Napájení vedlejší spotřeby s oddělovacím transformátorem (400 Hz) ve větvi palubní sítě 600 V

Konfigurace	Zapojení	Počet konverzí		
		Sít' 3x 400 V <sub>AC</sub> nebo 600 V <sub>DC</sub>	Sít' 110 V <sub>DC</sub>	Sít' 230 V <sub>AC</sub>
<b>Napájení z trolejového vedení</b>				
3x 400 V <sub>AC</sub> 50 Hz; 110 V <sub>DC</sub>	Oddělovací transformátor zapojen do větve AC – 50 Hz	3	1	3
	Oddělovací transformátor zapojen do větve AC – 400 Hz	5	1	6
	Oddělovací transformátor zapojen do větve DC – 50 Hz	2	4	3
	Oddělovací transformátor zapojen do větve DC – 400 Hz	2	4	3
600 V <sub>DC</sub> ; 110 V <sub>DC</sub>	Oddělovací transformátor zapojen do větve DC = 600V – 50 Hz	4	1	3
	Oddělovací transformátor zapojen do větve DC = 600V – 400 Hz	4	1	3
	Oddělovací transformátor zapojen do větve DC = 110V – 50 Hz	1	4	3
	Oddělovací transformátor zapojen do větve DC = 110 V – 400 Hz	1	4	3
<b>Napájení z trakční baterie</b>				
3x 400 V <sub>AC</sub> 50 Hz; 110 V <sub>DC</sub>	Baterie připojená na přes oddělovací transformátor (50 Hz)	2	3	5
	Baterie připojená na přes oddělovací transformátor (400 Hz)	4	3	5
600 V <sub>DC</sub> ; 110 V <sub>DC</sub>	Baterie připojená na přes oddělovací transformátor (50 Hz)	3	3	5
	Baterie připojená přes oddělovací transformátor (400 Hz)	3	3	5

Tab. 4.1 – Počet konverzí navržených konfigurací palubních sítí

Energii uloženou v trakční baterii můžeme uvažovat jako „dražší“ (oproti energii z trolejového vedení). To je způsobeno ztrátami při nabíjení, proto se snažíme maximálně redukovat počet konverzí při napájení z akumulátoru. To nás vede na zapojení, ve kterém je energie pro vedlejší spotřeby (palubní sítě) odebírána přímo z trakčního stejnosměrného meziobvodu.

Preferuje se varianta s oddělovacím transformátorem na 400 Hz (menší hmotnost a nižší cena), jelikož je snaha o umístění veškeré výzbroje na střechu (z důvodu maximálního využití vnitřních prostorů), která má omezenou nosnost.

### 4.3 Doporučené zapojení palubních sítí

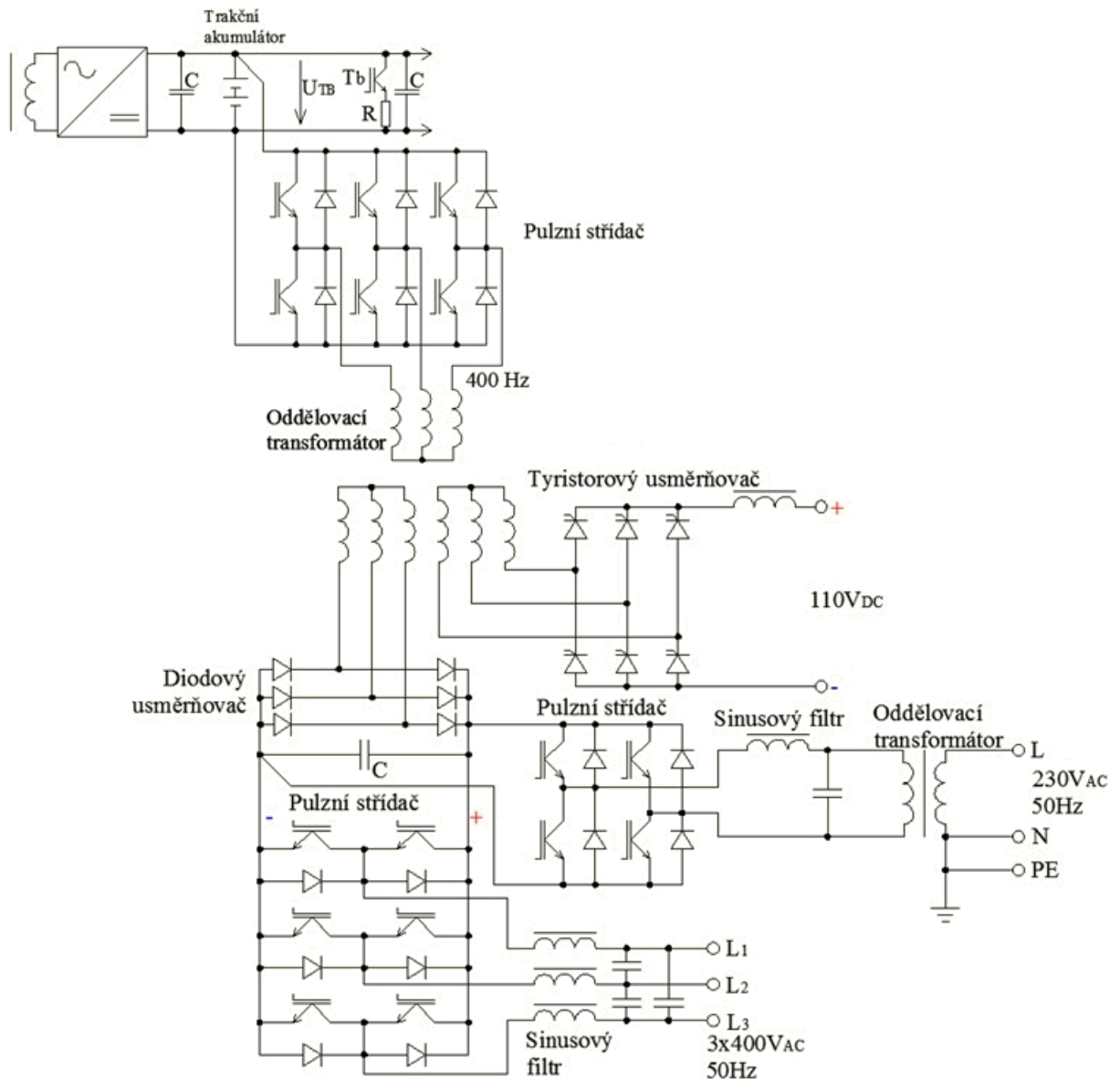
Při shrnutí faktů uvedených v kapitole 4.1 a 4.2 můžeme vytipovat nejvhodnější varianty zapojení pro jednotlivé palubní sítě.

#### 4.3.1 Palubní síť 3x 400 V<sub>AC</sub> 50 Hz a 110 V<sub>DC</sub> (galvanicky oddělené od trakční baterie)

Pro konfiguraci palubních sítí 3x 400 V<sub>AC</sub> 50 Hz a 110 V<sub>DC</sub> se jeví nejvhodnější varianta napájení pomocí odbočky, která je zapojena paralelně na trakční stejnosměrný meziobvod. Tato varianta nás vede na jednodušší konstrukci trakčního transformátoru (pouze jedno sekundární vinutí). Ale musíme počítat s tím, že sekundární vinutí bude zatíženo veškerým (trakčním i vedlejším) výkonem odebíraným jednotkou.

Odbočka dodává energii pulznímu střídači. Ten vytváří na svém výstupu střídavé napětí o frekvenci první harmonické složky 400 Hz. Díky tomu je možné použít lehčí a menší transformátor se dvěma sekundárními vinutími (tímto jsou palubní sítě galvanicky oddělené od trakčního meziobvodu). První vinutí je připojeno na tyristorový usměrňovač, který společně s vyhlazovací tlumivkou napájí palubní síť 110 V<sub>DC</sub>.

Druhé sekundární vinutí dodává energii diodovému usměrňovači, jehož výstupní napětí vyhlazuje filtrační kondenzátor. Odbočkou ze vzniklého stejnosměrného meziobvodu se napájí síť 230 V<sub>AC</sub> 50 Hz (v konfiguraci TNS) přes pulzní střídač, sinusový filtr a oddělovací transformátor. Dále na meziobvod je zapojen pulzní střídač, který slouží jako zdroj palubní sítě 3x 400 V<sub>AC</sub> 50 Hz (napětí i proudy jsou vyhlazeny sinusovým filtrem).



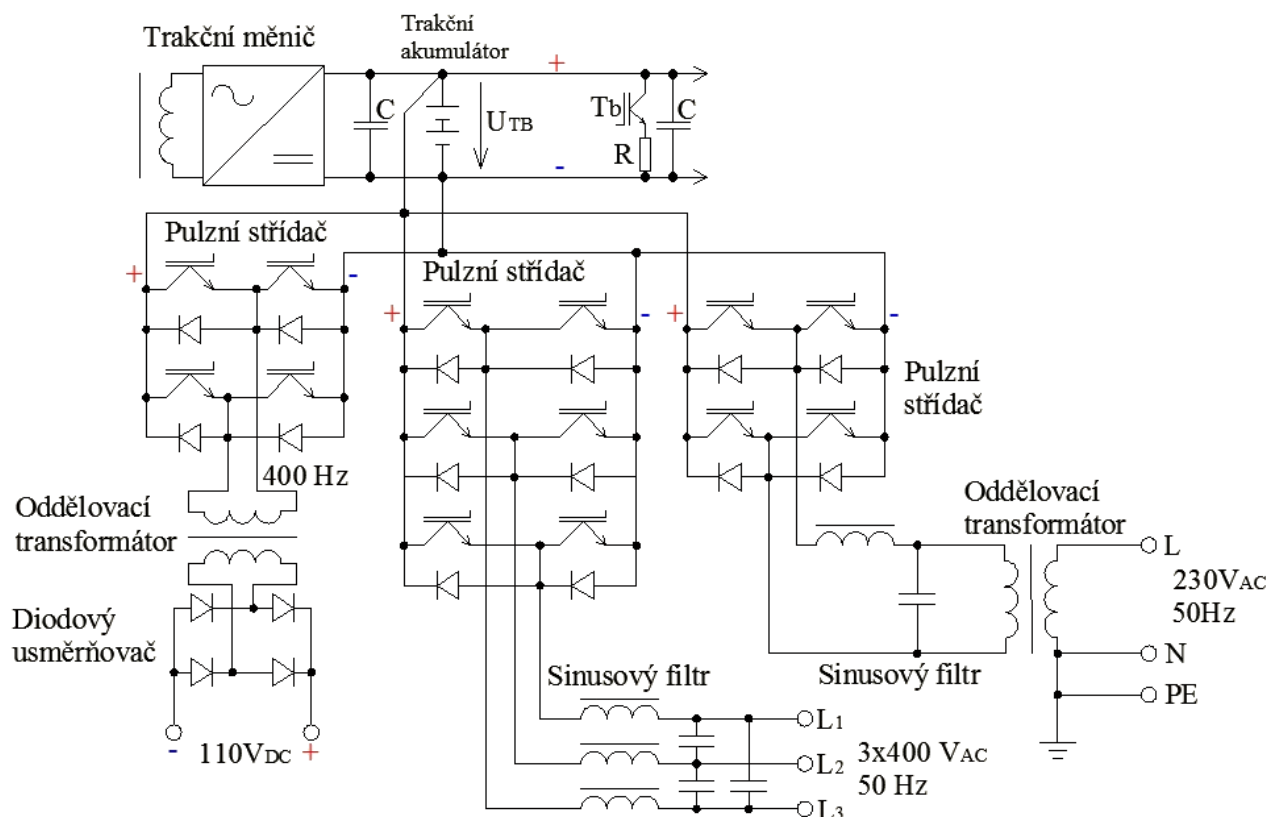
Obr. 4.13 – Konfigurace palubních sítí  $3 \times 400 \text{ V}_{AC}$  a  $110 \text{ V}_{DC}$  s galvanickým oddělením od trakční baterie

#### 4.3.2 Palubní sítě $3 \times 400 \text{ V}_{AC}$ $50 \text{ Hz}$ a $110 \text{ V}_{DC}$ (bez galvanického oddělení střídavé palubní sítě)

Energie pro vedlejší spotřebu je odebírána přes odbočku připojenou na trakční stejnosměrný meziobvod, jehož zdrojem je trakční měnič nebo akumulátor (závisí na přítomnosti trolejového vedení). Na odbočku jsou paralelně zapojené tři pulzní střídače.

První vytváří napětí o frekvenci  $400 \text{ Hz}$  (z důvodu použití menšího oddělovacího transformátoru), které je následně usměrněno diodovým usměrňovačem. Druhý vytváří palubní síť  $3 \times 400 \text{ V}$   $50 \text{ Hz}$  (napětí i proudy jsou vyhlazeny sinusovým filtrem). Třetí napájí střídavou síť  $230 \text{ V}$   $50 \text{ Hz}$  (v konfiguraci TNS) přes sinusový filtr a oddělovací transformátor.

Takovéto zapojení můžeme použít, pokud jsme schopni zajistit odolnost komponent na špičková napětí. To je v praxi obtížné, proto se většinou používá jiné zapojení.

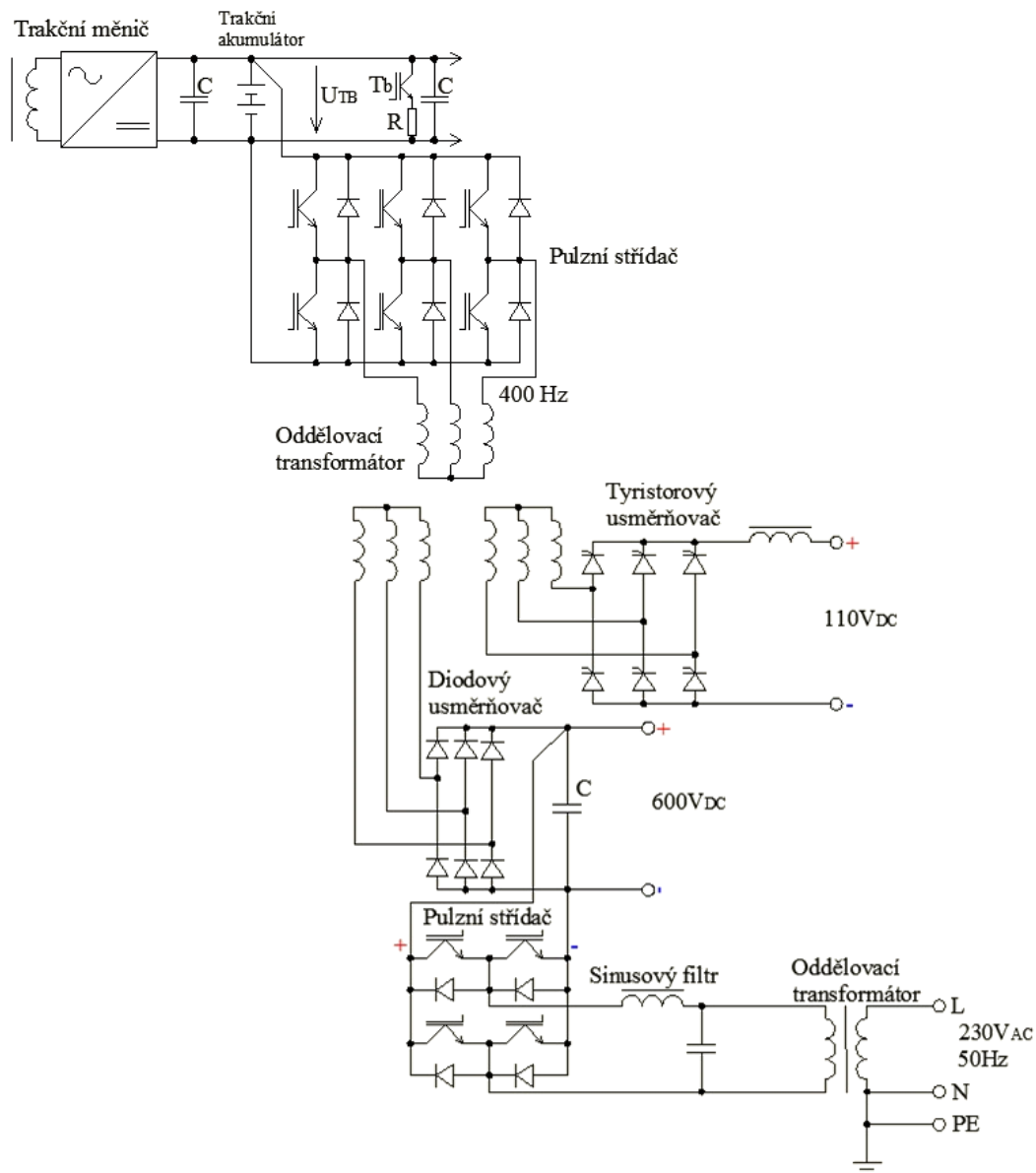


Obr. 4.14 – Konfigurace palubních sítí  $3 \times 400 \text{ V}_{AC}$  a  $110 \text{ V}_{DC}$  bez galvanického oddělení střídavé palubní sítě

### 4.3.3 Palubní sítě $600 \text{ V}_{DC}$ a $110 \text{ V}_{DC}$ (galvanicky oddělené od trakční baterie)

Jako pro konfiguraci palubních sítí uvedenou výše je nejvhodnější napájet vedlejší spotřebu pomocí odbočky, která je připojená paralelně k trakčnímu stejnosměrnému meziobvodu a napájí pulzní střídač, na jehož výstupu je napětí o frekvenci první harmonické složky 400 Hz.

Dále je vytvořeno galvanické oddělení palubních sítí od trakčního meziobvodu pomocí transformátoru s dvěma sekundárními vinutími. Jedno sekundární vinutí napájí tyristorový usměrňovač, který společně s vyhlazovací tlumivkou tvoří napáječ palubní sítě  $110 \text{ V}_{DC}$ . Z druhého sekundárního vinutí je energie odebírána diodovým usměrňovačem, jehož výstupní napětí je vyhlazeno filtračním kondenzátorem. Toto zapojení tvoří zdroj palubní sítě  $600 \text{ V}_{DC}$ . Z této sítě je vytvořena síť 230 V 50 Hz (v konfiguraci TNS) přes pulzní střídač, sinusový filtr a oddělovací transformátor.

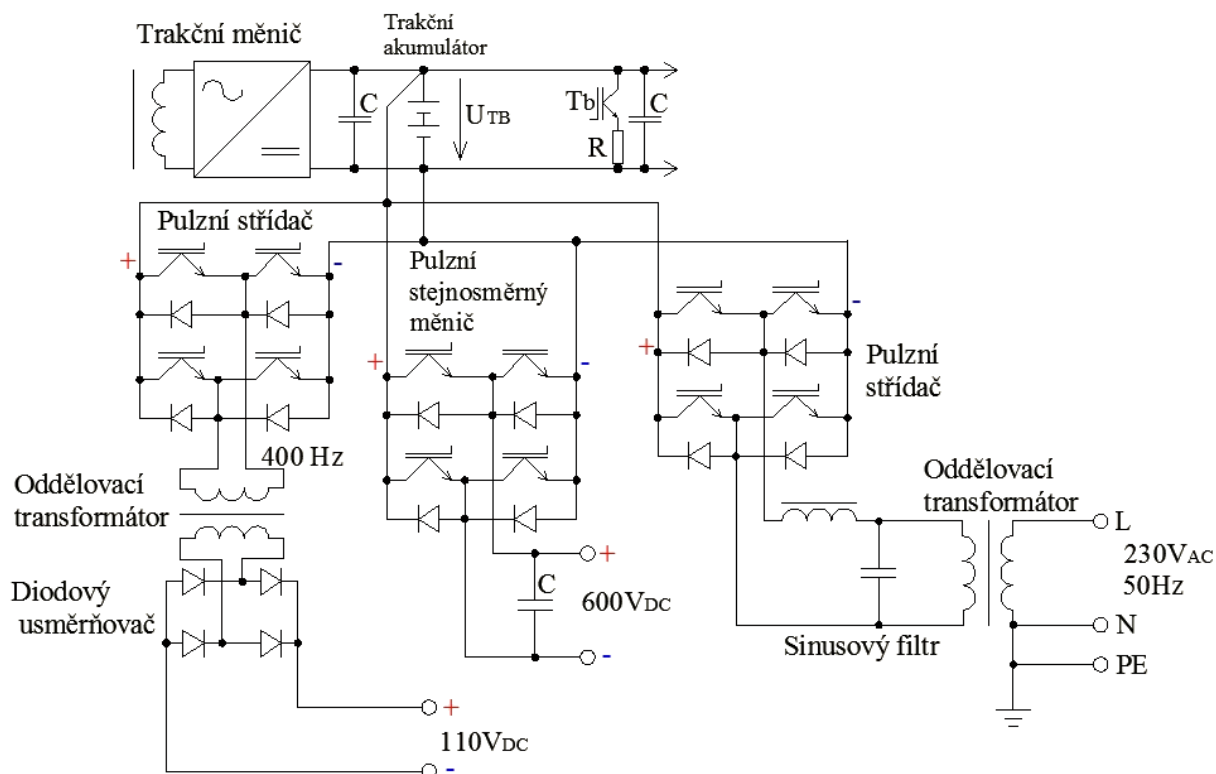


Obr. 4.15 – Zapojení konfigurace palubních sítí 600 V<sub>DC</sub> a 110 V<sub>DC</sub> s galvanickým oddělením od trakční baterie

#### 4.3.4 Palubní síť 600 V<sub>DC</sub> a 110 V<sub>DC</sub> (bez galvanického oddělení palubní sítí 600 V<sub>DC</sub>)

Obdobně jako u varianty výše je energie pro vedlejší spotřebu čerpána z trakčního stejnosměrného meziobvodu přes odbočku. Na tuto odbočku jsou paralelně napojeny jednotlivé sítě. 110 V<sub>DC</sub> síť je napájena přes pulzní měnič (vytvářející střídavé napětí o frekvenci 400 Hz), oddělovací transformátor a diodový usměrňovač. Dále pulzní stejnosměrný měnič slouží jako zdroj sítě 600 V<sub>DC</sub>, jehož výstupní napětí je vyhlazeno filtračním kondenzátorem. Poté je vytvořena síť 230 V 50 Hz v konfiguraci TNS (pro drobné spotřebiče), kterou napájí pulzní střídač přes sinusový filtr a oddělovací transformátor.

Takovéto zapojení můžeme použít, pokud jsme schopni zajistit odolnost komponent na špičková napětí. To je v praxi obtížné, proto se většinou používá jiné zapojení.



Obr. 4.16 – Zapojení konfigurace palubních sítí 600 V<sub>DC</sub> a 110 V<sub>DC</sub> bez galvanického oddělení sítě 600 V<sub>DC</sub>

#### 4.4 Porovnání konfigurací 3x 400 V<sub>AC</sub> a 600 V<sub>DC</sub>

V následující kapitole jsou probrány jednotlivé spotřebiče a způsob jejich připojení na příslušnou síť, což ve výsledku rozhoduje o použité konfiguraci.

##### Palubní síť 3x 400 V<sub>AC</sub> 50 Hz

Výhodou této sítě je možnost připojení zařízení k palubní síti bez nadbytečné měničové konverze energie. To ovšem můžeme použít jen v případě, kdy není vyžadován řízený rozběh nebo řízení otáček. Naopak při potřebě řízení je nutné napětí usměrnit a následně upravit řízeným střídačem.

Ventilátory řízené měničem, slouží ke zchlazení prostoru kontejneru měničů vytvářející palubní sítě jednotky. Vytvořené proudění vzduchu odvádí vzniklé ztrátové teplo. Tyto ventilátory jsou na celé jednotce dva, každý o příkonu 3 kW.

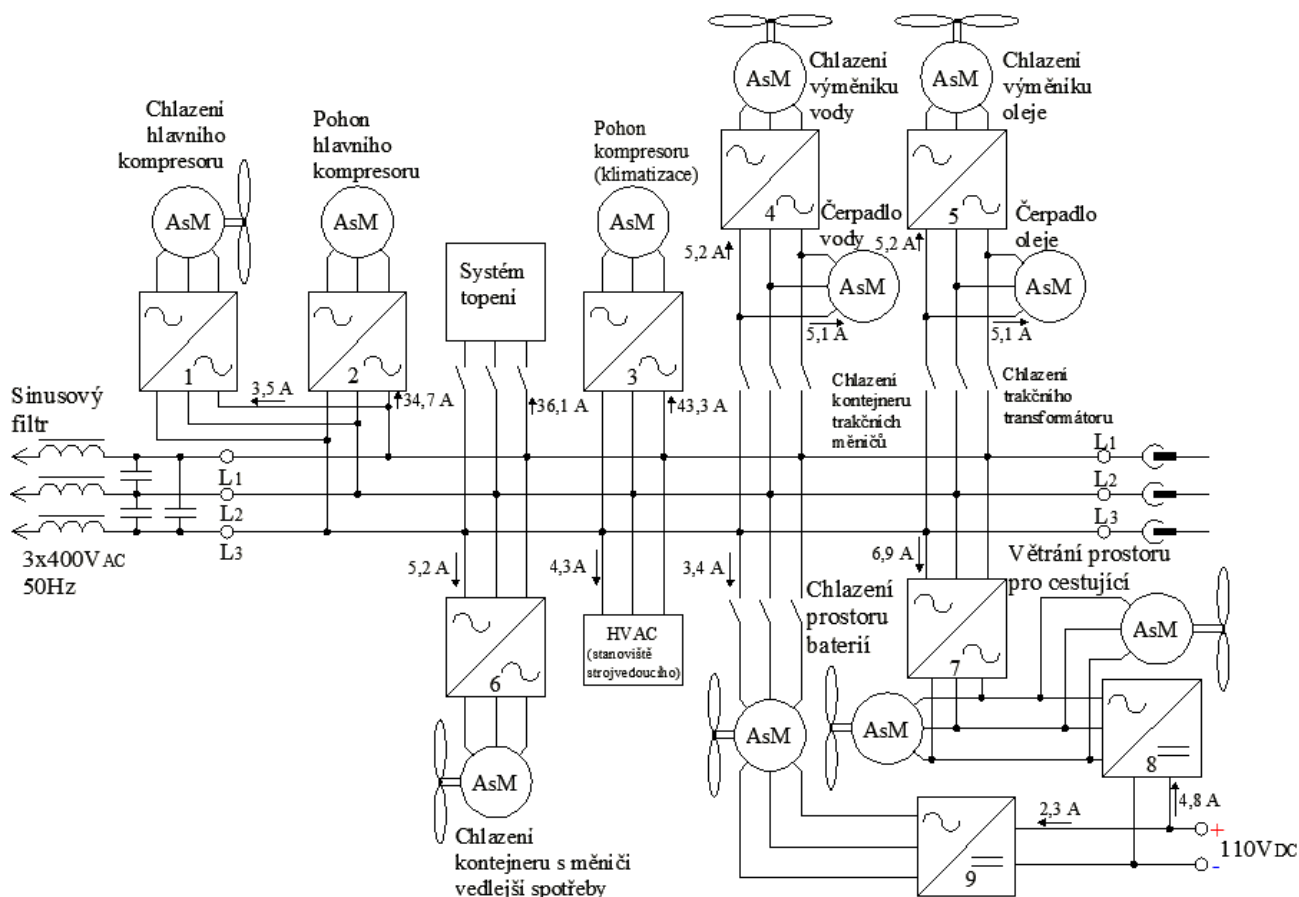
Na tuto palubní síť je také připojen přes měnič pohon hlavního kompresoru (20 kW). Používají se speciální měniče pro kompresory, které jsou schopné ovládat EP ventil umístěný mezi kompresorem a zpětným ventilem. Otevřením tohoto ventilu odlehčíme rozběhu motoru. Chlazení zajišťuje ventilátor (2 kW) řízený vlastním frekvenčním měničem ovládaným skrz vazbu s měničem pohonu kompresoru.

Dále je zde připojen kompresor klimatizace a systém topení (oba po 25 kW). Řízení provádí systém HVAC. Ten zajišťuje udržování teplotní pohody v prostoru pro cestující i v kabině strojvedoucího (3 kW).

Trakční měniče nacházející se ve společném kontejneru mají vodní chlazení. Oběh vody vytváří čerpadlo s příkonem 3 kW. Výsledný odvod tepla zajišťuje ventilátor (3 kW) umístěný u výměníku (chladiče). Kontejnery s trakčními měniči se na jednotce nacházejí dva (každý má vlastní vodní okruh).

Chlazení trakčního transformátoru provádí chladicí okruh s olejem jako přenosovým médiem. Oběh zajišťuje průtokové čerpadlo s příkonem 3 kW. O výsledný odvod tepla se stará ventilátor (3 kW) připevněný k výměníku. Dále je nutné zajistit dostatečné chlazení prostoru, ve kterém jsou umístěné akumulátorové baterie z důvodu bezpečnosti. To provádí ventilátor (2 kW) spouštěný stykačem. V případě výpadku dochází k vybíjení (zahřívání) pomocné baterie, proto je ventilátor spouštěn napětím s nižší maximální frekvencí (25 Hz). Výsledné otáčky budou stále dostačující a přitom se ušetří energie pomocné baterie ( $f/2 \Rightarrow P_p/8$ ).

Větrání prostoru pro cestující je provedeno na každém voze dvěma ventilátory (2 kW/ks), jejichž otáčky jsou řízené měničem ovládaným systémem HVAC. Při poruše napájení větrání řízený střídač z pomocné baterie (obdobně jako u chlazení baterií).



Obr. 4.17 – Připojené spotřebiče na palubní síť 3x 400 V pro jeden vůz

Následně je nutné spočítat parametry použitých měničů, u kterých uvažujeme účinnost 94 % pro zařízení pod 10 kW a nad 10 kW 98%. Pro příklad si uveďme výpočet pro měnič napájející pohon hlavního kompresoru (s příkonem 20 kW). V rámci zjednodušení uvažujeme účinník motoru 0,85. Potom tedy výstupní zdánlivý výkon měniče bude dán:

$$S_{out} = \frac{P_{0p}}{\cos \varphi} = \frac{20\,000}{0,85} \doteq 23\,530 \text{ VA} \quad (4.1)$$

$S_{out}$  – výstupní zdánlivý výkon měniče [VA]

$P_{0p}$  – příkon pohonu [W]

$\cos \varphi$  – účinník [-]

Výpočet výstupního proudu měniče:

$$I_{výst} = \frac{S_{out}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{23\,530}{\sqrt{3} \cdot 400} \doteq 34 \text{ A} \quad (4.2)$$

$I_{výst}$  – maximální výstupní proud měniče [A]

$S_{out}$  – zdánlivý výkon [VA]

$U_n$  – jmenovité napětí [V]

Výpočet příkonu měniče:

$$P_{0m} = \frac{P_{0p}}{\eta_m} = \frac{20\,000}{0,98} \doteq 20\,410\,W \quad (4.3)$$

$P_{0m}$  – příkon měniče [W]

$P_{0p}$  – příkon pohonu [W]

$\eta_m$  – účinnost měniče [-]

Výpočet vstupního proudu měniče:

$$I_{vst} = \frac{I_{výst}}{\eta_m} = \frac{34}{0,98} \doteq 34,7\,A \quad (4.4)$$

$I_{vst}$  – vstupní proud měniče [A]

$I_{výst}$  – výstupní proud měniče [A]

$\eta_m$  – účinnost měniče [-]

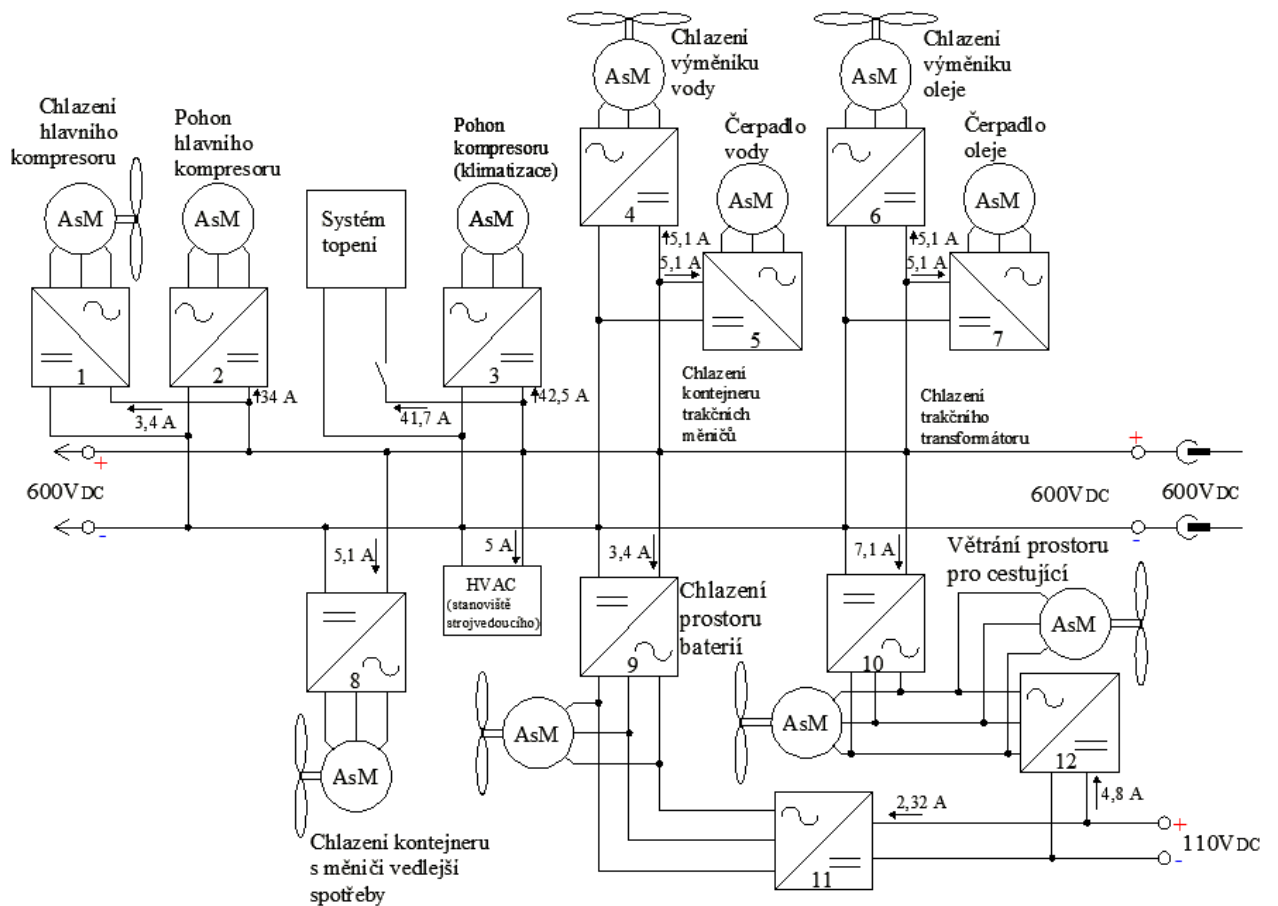
Stejně postupujeme při návrhu dalších měničů. Výsledkem je tabulka níže, ve které jsou uvedeny jednotlivé parametry (podle obrázku a výpočtů výše).

Měnič ( $\eta_m=0,98$ )	Parametry napájených zařízení		Vstupní parametry ( $U_n = 3 \times 400\,V_{AC}$ ; $U = 110\,V_{DC}$ )		Výstupní parametry ( $U_n = 3 \times 400\,V_{AC}$ )	
	$P_{0p}$ [kW]	$\cos \varphi$ [-]	$P_{0m}$ [kW]	$I_{vst}$ [A]	$S_{výst}$ [kVA]	$I_{výst}$ [A]
1	2	0,85	2,13	3,47	2,35	3,4
2	20	0,85	20,4	34,7	23,53	34
3	25	0,85	25,5	43,3	29,41	42,45
4	3	0,85	3,2	5,2	3,53	5,1
5	3	0,85	3,2	5,1	3,53	5,1
6	3	0,85	3,2	5,2	3,53	5,1
7	4	0,85	4,26	6,93	4,7	6,79
8	0,5	0,63	0,532	4,83	0,79	1,15
9	0,25	0,63	0,266	2,42	0,4	0,57

Tab. 4.2 – Parametry měničů připojených na síť  $3 \times 400\,V_{AC}$

### Palubní síť $600\,V_{DC}$

Připojení spotřebičů je obdobné jako u sítě  $3 \times 400\,V_{AC}$ , ale místo frekvenčních měničů jsou použity řízené střídače. Ty upraví stejnosměrné napětí palubní sítě podle potřeb zapojeného motoru. Obecně můžeme říct, že je zde ušetřena jedna měničová konverze (pokud uvažujeme frekvenční měnič jako soubor usměrňovače a střídače). Oproti použití střídavé palubní sítě je nutné, aby každý pohon měl vlastní měnič z důvodu použití asynchronních motorů.



Obr. 4.18 – Připojené spotřebiče na palubní síť 600 V<sub>DC</sub> pro jeden vůz

Dále je nutné určit parametry měničů podle napájených zařízení (s uvažovanou účinností měniče 94 % pro zařízení pod 10 kW a nad 10 kW 98 %). Pro příklad si uveďme výpočet měniče napájající pohon ventilátoru (s příkonem 2 kW) chladicí hlavní kompresor. Z důvodu uvádění příkonu nemusíme uvažovat účinnost zařízení, ale v rámci dimenzování je nutné znát účinník ( $\cos \varphi$ ) motoru. Pro zjednodušení uvažujme  $\cos \varphi = 0,85$  (častá hodnota podobných pohonů). Výpočty výstupních parametrů jsou obdobné jako pro síť 3x 400 V<sub>AC</sub> (stejně spotřebiče). Vstupní příkon měniče provedeme dle vztahu 4.3. Následně nám zbývá vypočítat měničem odebíraný vstupní proud, který je dán vztahem:

$$I_{vst} = \frac{P_{0m}}{U_{DC}} = \frac{2127}{600} \doteq 3,55 \text{ A} \quad (4.5)$$

$I_{vst}$  – vstupní proud měniče [A]

$P_{0m}$  – příkon měniče [W]

$U_{DC}$  – napětí na vstupu měniče [V]

Stejně postupujeme při návrhu dalších měničů. Výsledkem je tabulka níže (Tab. 4.3), ve které jsou uvedeny jednotlivé parametry (podle obrázku a výpočtů výše).

Měnič	Parametry napájených zařízení		Vstupní parametry ( $U = 600; 110 V_{DC}$ )		Výstupní parametry ( $U_n = 3 \times 400 V_{AC}$ )	
	$P_{0p \max}$ [kW]	$\cos \varphi$ [-]	$P_{0m}$ [kW]	$I_{vst}$ [A]	$S_{vyst}$ [kVA]	$I_{vyst}$ [A]
1	2	0,85	2,13	3,55	2,35	3,4
2	20	0,85	20,4	34	23,53	34
3	25	0,85	25,5	42,52	29,41	42,45
4	3	0,85	3,2	5,32	3,53	5,1
5	3	0,85	3,2	5,32	3,53	5,1
6	3	0,85	3,2	5,32	3,53	5,1
7	3	0,85	3,2	5,32	3,53	5,1
8	3	0,85	3,2	5,32	3,53	5,1
9	2	0,85	2,13	3,55	2,35	3,4
10	4	0,85	4,25	7,1	4,7	6,79
11	0,25	0,63	0,265	2,41	0,4	0,57
12	0,5	0,63	0,53	4,84	0,79	1,15

Tab. 4.3 – Parametry měničů připojených na síť  $600 V_{DC}$

### Shrnutí

Při porovnání jednotlivých konfigurací vidíme, že většina zařízení vyžaduje regulaci. Z tohoto důvodu je jen málo pohonů spouštěno přímým připojením. Motory připojené na střídavou palubní síť jsou řízené frekvenčním měničem skládajícího se z usměrňovače, stejnosměrného meziobvodu a střídače. Naproti tomu zařízení napájené ze stejnosměrné palubní sítě, kterou můžeme brát za stejnosměrný meziobvod, je řízeno střídačem. Tedy ve výsledku energie prochází pouze jednou měničovou konverzí. Obecně můžeme říct, že jakékoliv větší motory vyžadují vlastní řízení (potažmo řízený rozběh).

Pro napájení palubní sítě  $3 \times 400 V_{AC}$  je nutný střídač navíc, který by měl být dimenzován na odběr celé sítě (vysoká pořizovací cena) a jelikož je celá napájecí soustava na vozidle dvakrát, jde o významnou položku. S přihlédnutím na výše zmíněné poznatky se jeví použití sítě  $600 V_{DC}$  na vozidle jako výhodnější z hlediska energetické úspory, která je pro nás markantní při napájení z trakční akumulátorové baterie. S nižším počtem měničů se také zvyšuje spolehlivost celkového systému napájení.

#### 4.5 Dimenzování zdrojů palubních sítí 600 V<sub>DC</sub> a 110 V<sub>DC</sub>

Palubní síť	Spotřebič	Počet[ks]		P <sub>inst</sub> [kW/ks]	Trolejové napájení		Bateriové napájení		
		Inst.	Aktivní		z[%]	P <sub>stř</sub> [kW/ks]	z[%]	P <sub>stř</sub> [kW/ks]	
600 V <sub>DC</sub>	Ventilátory kontejneru měničů (vytvářející palubní síť)	2	1	3	50	1,5	50	1,5	
	Chlazení prostoru skříně baterií	1	1	2	50	1	45	0,9	
	Ventilace - prostoru pro cestující	4	4	2	50	1	40	0,8	
	Hlavní kompresor	1	1	20	4	0,8	4	0,8	
	Chlazení hlavního kompresoru	1	1	2	7	0,14	7	0,14	
	Chlazení (Klimatizace) - prostoru pro cestující	2	2	25	35	8,75	35	8,75	
	Topení (Klimatizace) - prostoru pro cestující	2	2	25	35	8,75	35	8,75	
	HVAC - stanoviště strojvedoucího	2	1	3	50	1,5	45	1,35	
	Čerpadla oleje	2	1	3	40	1,2	1	0,03	
	Chlazení výměníku oleje	2	1	3	45	1,35	1	0,03	
	Čerpadla vody	2	1	3	40	1,2	40	1,2	
	Chlazení výměníku vody	2	1	3	45	1,35	45	1,35	
110 V <sub>DC</sub>	Pomocný kompresor	2	-	1,5	-	-	-	-	
	Nabíjení pomocné baterie	1	1	10	50	5	50	5	
	Vnější dveře	8	8	0,2	0,5	0,001	0,5	0,001	
	Výsuvné schody	8	8	0,2	0,1	0,0002	0,1	0,0002	
	Osvětlení vnitřní	1	1	1	100	1	100	1	
	Osvětlení vnější	1	1	0,5	100	0,5	100	0,5	
	Centrální systém řízení	2	2	1	100	1	100	1	
	Termofoch	2	-	0,15	-	-	-	-	
	Řízení HVAC (prostoru pro cestující)	1	1	0,3	100	0,3	100	0,3	
	Protismykové ochrany	1	1	0,2	100	0,2	100	0,2	
	Řízení pneumatického obvodu	1	1	0,5	50	0,25	50	0,25	
	Řízení pomocných pohonů	2	1	0,5	100	0,5	100	0,5	
	Vnitřní informační systémy (pro cestující)	1	1	0,7	80	0,56	80	0,56	
	Vnější informační systémy	1	1	0,5	100	0,5	100	0,5	
	Kamerový systém	1	1	0,1	100	0,1	100	0,1	
	Rozmrazování předního okna	2	-	0,5	-	-	-	-	
	Informační systémy (pro strojvedoucího)	2	1	0,5	100	0,5	100	0,5	
	Sociální zařízení	1	1	0,5	50	0,25	50	0,25	
	Protipožární systém	2	1	0,2	100	0,2	100	0,2	
Zabezpečovací zařízení	2	1	0,8	100	0,8	100	0,8		
230 V <sub>AC</sub> 50 Hz: Zásuvky pro drobné spotřebiče	80	80	0,06	10	0,006	10	0,006		
		$\sum P_{inst} \cdot ks_{inst.}$		200,6	$\sum P_{stř} \cdot ks_{akt.}$		44,69	$\sum P_{stř} \cdot ks_{akt.}$	41,15

Tab. 4.4 – Spotřebiče připojené na jednotlivé síť

Celkový instalovaný výkon uvedený v posledním řádku tabulky (Tab. 4.4) je dán sumou výkonů všech zařízení vedlejší spotřeby použitých na vozidle. Dále uvedený celkový střední výkon při napájení z trolejového vedení je dán zatížením zařízení (z toho určen střední výkon) a počtem spotřebičů v chodu (např. čerpadlo oleje je aktivní pouze jedno, příslušného zatěžovaného transformátoru), také můžeme vyloučit systém topení a chlazení společně v chodu. Obdobný postup byl použit na výpočet celkového středního výkonu při napájení z trakční baterie. Rozdíl těchto výkonů tvoří různé zatěživatele (požadavek na šetření energie z baterie).

Pro dimenzování zdrojů palubních sítí musíme nejdříve vyšetřit, jak velký bude maximální výstupní proud (výkon) odebíraný připojenými spotřebiči, které by mohly být společně v chodu. Nejdříve musíme uvažovat, že některé spotřebiče jsou na síti dvakrát (z důvodu redundance). Druhé zařízení tedy přichází do chodu až při poruše prvního. Ve výpočtu tedy uvažujeme jen jeden tento spotřebič.

Hlavní kompresor je zatěžován pouze ve 4 % provozovaného času [17], proto při jeho chodu lze krátkodobě omezit výkon klimatizací (na 10 kW). To je provedeno z důvodu snížení nároků na měnič napájející příslušnou palubní síť.

Dále z důvodu zjednodušení uvažujeme průměrnou účinnost pro měniče s výkonem pod 10 kW 94 % a při vyšším výkonu 98%. Výpočet provedeme součtem jednotlivých příkonů zařízení, které jsou navýšeny o úbytky na měničích (danými účinnostmi konverze), včetně příkonu připojené palubní sítě 230 V 50 Hz. Výsledný celkový příkon (který musí být měnič schopen dodávat) vydělíme napětím palubní sítě a získáme požadovaný maximální výstupní proud měniče.

#### **Výstupní parametry měniče napájející síť 600 V<sub>DC</sub> :**

Výpočet vychází z výše uvedených skutečností a parametrů zařízení uvedených v Tab. 4.4 ( $P_{inst.}$  a  $k_{S_{akt.}}$ ). První zlomek je dán zařízeními, která mají výkon roven či vyšší než 10 kW, pro která lze uvažovat účinnost jejich měničů 98 %. Druhý zlomek naopak uvažuje spotřebiče s nižším výkonem (uvažovaná účinnost jejich měničů 94 %). Dále musíme uvažovat, že na palubní síť 600 V<sub>DC</sub> je také připojena síť 230 V<sub>AC</sub> (třetí zlomek). Pro přehlednost se doporučuje přihlédnout do přílohy A.

$$P_{výst\ max} = \frac{[20 + (2 \cdot 10)]}{0,98} + \frac{[3 + 2 + (4 \cdot 2) + 2 + 3 + 3 + 3 + 3 + 3]}{0,94} + \frac{5,53}{0,94}$$

$$P_{výst\ max} \doteq \mathbf{78,26\ kW} \quad (4.6)$$

$$I_{out\ max} = \frac{P_{výst\ max}}{U_{600}} = \frac{78\ 260}{600} \doteq \mathbf{130,43\ A} \quad (4.7)$$

U sítě 110 V<sub>DC</sub> můžeme vyloučit společný chod dveří a výsuvných schodů, protože při příjezdu vlaku k nástupišti nejdříve dojde k vysunutí schodů a až poté je možné otevřít dveře.

#### **Výstupní parametry měniče napájející síť 110 V<sub>DC</sub> :**

Vychází se z obdobných skutečností jako u výpočtu měniče palubní sítě 600 V<sub>DC</sub>.

$$P_{výst\ max} = 10 + (8 \cdot 0,2) + 1 + 0,5 + (2 \cdot 1) + 0,15 + 0,3 + 0,2 + 0,5 + 0,5 + 0,7 + 0,1 + 0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,2 + 0,8 = \mathbf{20,55\ kW} \quad (4.8)$$

$$I_{out\ max} = \frac{P_{výst\ max}}{U_{110}} = \frac{20\ 550}{110} \doteq \mathbf{186,8\ A} \quad (4.9)$$

## **5 STRUKTURA A DIMENZOVÁNÍ POMOCNÝCH AKUMULÁTORŮ**

Norma (ČSN EN 50547) se zabývá olověnými a NiCd akumulátory pro pomocné napájení soustavy s napětím 110 V pro drážní vozidla. Popisuje mechanická rozhraní (skříně, vývody atd.) a elektrická rozhraní (napětí, kapacita apod.).

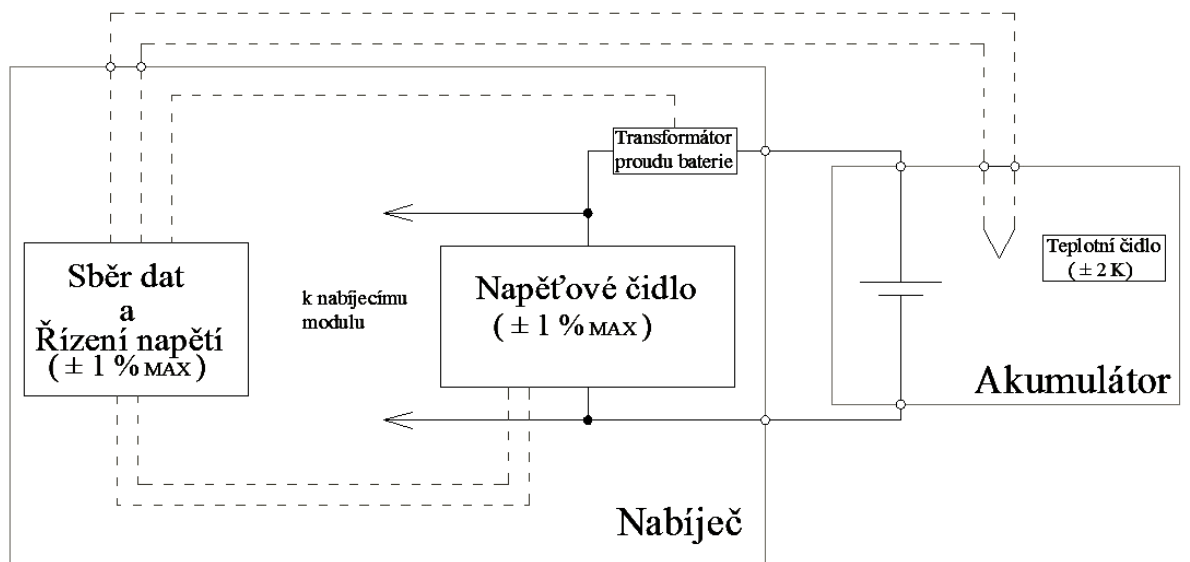
S ohledem na životnost a dobíjitelnost baterie by neměla provozní teplota přesáhnout 50 °C. Povolená teplota okolí je úrovně T3 podle normy ČSN EN 50125–1. Tedy povolené rozmezí teplot vzduchu vně vozidla je od -25 °C do +45 °C a vně přístrojové skříně až do +55 °C. Při skladování či přepravě baterií by měla být dodržena teplota prostředí v rozmezí od -30 °C do +70 °C. Kapacita všech typů akumulátorů musí být specifikována v 5hodinovém cyklu.

### **5.1 Systémové požadavky**

#### **5.1.1 Požadavky na nabíjení**

Nabíjení baterií je provedeno nabíječem s teplotní kompenzací. Přesnost nastavení napětí v ustáleném stavu by se nemělo odchýlit o více jak 1,5 % při teplotní kompenzaci a 1 % v případě bez teplotní kompenzace. Zvlnění nabíjecího napětí je povolené do 5 % při odpojené baterii.

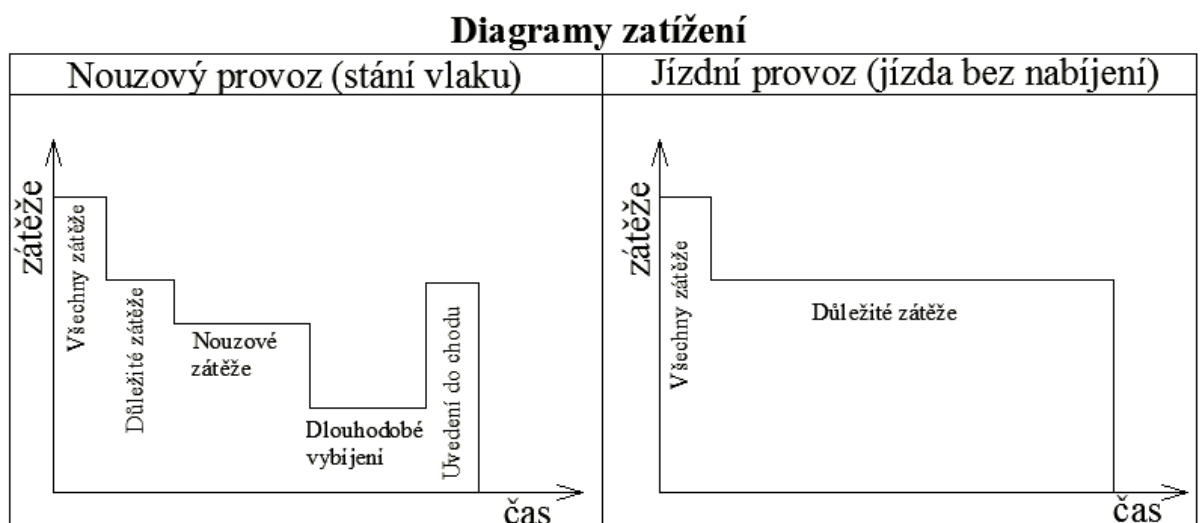
Přesnost nabíjecího systému je potřeba kontrolovat na rozhraní bateriového nabíječe a pro definovaný teplotní rozsah menší než 80 K. Dále se může projevit i vliv kabeláže, který závisí na použitém typu teplotního čidla. V případě významného ovlivnění lze provést kompenzaci v řídicím systému bateriového nabíječe.



Obr. 5.1 – Rozhraní mezi nabíječem a akumulátorovou baterií [5]

### 5.1.2 Požadavky na vybíjení

– **podle diagramu zatížení** – Zatížení můžeme uvažovat dvojího typu (nouzový provoz a jízdní provoz)



Obr. 5.2 – Ukázky diagramů zatížení [5]

– **podle dlouhodobého vybíjení** – Například vybíjení delší než čtyři dny s definovanou spotřebou (tuto možnost nelze zcela vyloučit). Baterie musí vydržet i hluboké vybití bez poškození.

– **podle vlastností při nízkých teplotách** – Teplota, při které musí být nabitá baterie schopna napájet v tzv. nízkoteplotním diagramu zatížení bez toho, aby došlo k trvalému poškození (přípustná teplota baterie je -18 °C).

– **podle samovybíjení** – Maximální povolená ztráta kapacity je udávány v procentuálním poklesu jmenovité kapacity po 30 dnech (NiCd – 28 dnech) skladování při teplotě 20 °C.

Typ		Maximální povolená ztráta kapacity
Olověné	Větrané	5 %
	Ventilem řízené	3 %
NiCd		20 %

Tab. 5.1 – Maximální povolené hodnoty ztrát jednotlivých technologií [5]

### 5.1.3 Požadavky na návrh kapacity baterie

Při návrhu kapacity baterie musíme definovat parametry jako stav nabití a teplotu okolí v nouzovém stavu (závisí na použité technologii a provozních podmínkách). Dále je nutné znát diagram zatížení (včetně propustnosti energie) a minimální napětí pro celý diagram. Dalšími faktory jsou stárnutí a předpokládaná životnost za stanovených podmínek uváděné výrobcem.

Typ	Olověné		NiCd
	Mřížkové AGM/GEL/větrané	Trubkové GEL a větrané	
Stav nabití při 20 °C za podmínek udržovacího napětí	Až 100 %		90 %
Doporučená teplota pro celý nouzový diagram zatížení	0 °C		0 °C
Diagram zatížení při nízkých teplotách	-18 °C		-18 °C
Faktor stárnutí	90%		90%
Propustnost energie (počet cyklů při 60% vybití)	300 až 700	1 200	2 000
Životnost (při průměrné teplotě 15 °C v drážních podmínkách)	AGM: 4 roky GEL: 5 až 6 let	6 až 8 let	15 let

Tab. 5.2 – Nejčastěji používané hodnoty baterií [5]

#### 5.1.4 Požadavky ochranné a bezpečnostní

V rámci bezpečnosti je nutné, aby navržená bateriová skříň pro články s tekutým elektrolytem byla schopna zadržet elektrolyt nebo kyselinu (to neplatí pro uzavřené ventilem řízené olověné akumulátory). Také větrací zátky článků nebo plnicí systém musí být odolný proti zpětnému zážehu (zabránění exploze). Prostor baterií musí být dostatečně větrán, aby nedošlo k nebezpečné koncentraci plynů. Výpočet ventilace musí být proveden v souladu s ČSN EN 50272-2. Preferováno je přirozené větrání. Baterie musí být navržena tak, aby kladné a záporné pólové vývody nemohly být zaměněny.

##### **Hluboké vybití**

Hluboké vybití znamená, že z baterie bylo odebráno více energie, než je povoleno (nebo definováno výrobcem podle vybíjecích křivek). U olověných akumulátorových baterií takovýto stav může vést k nevratnému poškození baterie bez řádného znovu nabití (nutné dodržovat návod k použití od výrobce). Doporučuje se používat jako kritéria, pro ochranu proti hlubokému vybití, parametry napětí, proudu, teploty a času. Výrobce by měl poskytnout křivky zobrazující vztah mezi proudem a konečným vybíjecím napětím.

NiCd akumulátorové baterie mají jmenovité konečné vybíjecí napětí 1 V/článek. Toto či nižší nabíjecí napětí při proudech  $\leq 1$  C (při kapacitě baterie 1 Ah, jde o proudy nižší než 1 A) naznačuje možnost hlubokého vybití. Takovéto baterie nevyžadují zvláštní zařízení na ochranu proti hlubokému vybití. Kapacita může být dočasně snížena opakovaným hlubokým vybitím (musí být dodržen návod k použití od výrobce).

##### **Teplotní kompenzace**

Nabíjení musí být řízeno v závislosti na teplotě baterie. Nabíjecí napětí se upravuje podle kompenzačních faktorů, které byly zjištěny v praktické aplikaci (pro NiCd baterie je kompenzační faktor -0,003 V/K na článek a pro olověné baterie -0,004 V/K na článek).

Dále by měl být zakázán režim rychlého nabíjení s přepnutím do režimu udržovacího nabíjení při teplotě vyšší jak 45 °C u NiCd baterií a 50 °C u olověných baterií. Pokud teplota vzroste nad hranici 70 °C, nesmí být baterie nadále nabíjena. Takto je baterie chráněna při vysokých teplotách a také je zajištěn maximální možný stav nabití při nízkých teplotách (minimalizuje se také spotřeba vody). Při poruše teplotního čidla systém může dočasně využívat hodnotu nabíjecího napětí pro teplotu 20 °C.

### Ochrana proti superponovanému zvlnění proudu

Baterie musí být nabíjeny stejnosměrným proudem. Při výskytu superponované střídavé složky dochází ke zvýšení zahřívání baterie, proto se musejí udržovat co nejmenší.

### Údržba

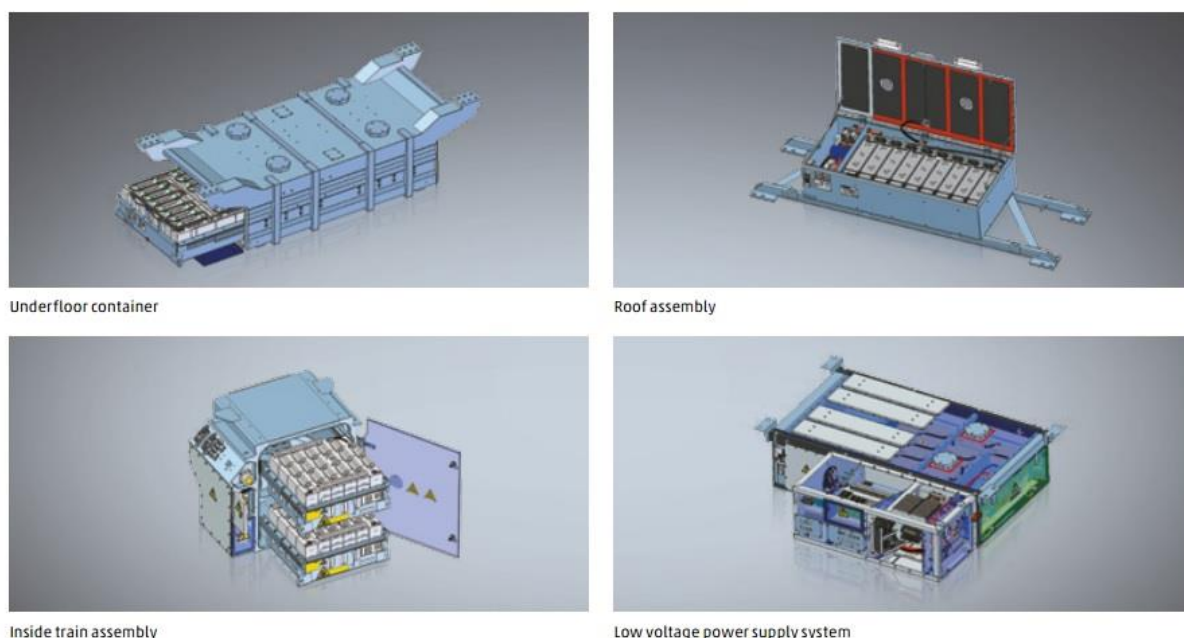
Preventivní a nápravná údržba se provádí podle pokynů od výrobce baterie. Závisí na použití v projektu, typu baterie a celém bateriovém systému. Obecně mezi nejnnutnější kroky údržby patří vizuální prohlídka, doplnění demineralizované vody (podle typu) a očištění kontaktů baterie.

### 5.1.5 Návrh mechanické konstrukce akumulátorových baterií

– **Upevňovací mechanismus** – Baterie mohou být upevněny pevně pomocí šroubů nebo výsuvně. Výsuvný mechanismus je možné konstruovat jako valivý nebo kluzný systém.

– **Přístupnost** – Zvolená varianta určuje i umístění baterie. Jsou možné tři typy horní, boční a oboustranný přístup.

– **Umístění baterie** – Na kolejovém vozidle je možné umístit akumulátor na střechu, do vozidla (skříně, police) nebo pod podlahu.



Obr. 5.3 – Různé typy konstrukcí bateriových skříní [4]

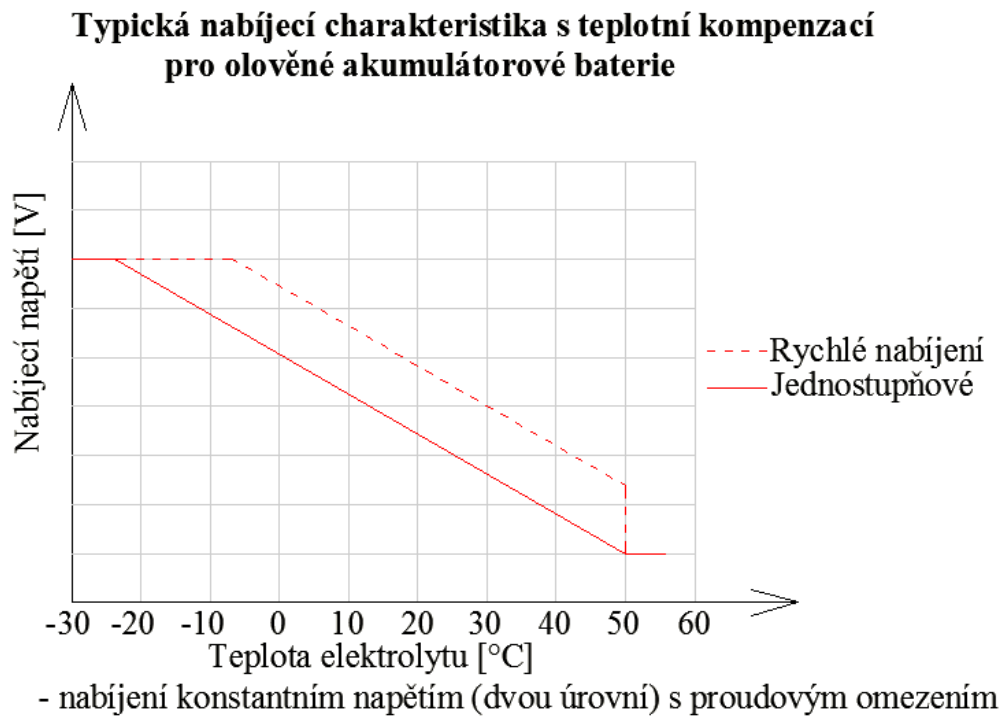
## 5.2 Olověné akumulátorové baterie

### Provedení

- a) Uzavřené větrané (tekutý elektrolyt)
  - Mřížkové elektrody
  - Kladné trubkové elektrody
  
- b) Uzavřené ventilem řízené (vstřebatelný tekutý elektrolyt)
  - GEL mřížkové elektrody
  - GEL kladné trubkové elektrody
  - AGM (elektrolyt vázaný na skelných vláknech) mřížkové elektrody

### Nabíjecí charakteristika

Volí se tak, aby byl zajištěn vysoký stav nabití za běžných provozních podmínek a nejnižší spotřeba vody (uzavřené větrané systémy). Nad 50 °C musíme brát na vědomí závazné limity stanovené výrobcem pro nabíjení. Tolerance nabíjecího napětí nesmí být větší než 1,5 % a počítá se s teplotní korekcí -0,004 V/K na článek. Hodnoty nabíjecího napětí jsou pro jednotlivé technologie uvedeny v tabulce (Tab. 5.3).



Obr. 5.4 – Typická nabíjecí charakteristika s teplotní kompenzací pro olověné akumulátorové baterie [5]

Při jednostupňovém nabíjení obvykle není potřeba proudové omezení (pokud je, doporučuje se 10 až 35 A na 100 Ah). Přejít z nižšího na vyšší napětí (rychlé nabíjení) se provádí podle doporučení výrobce (např. je-li na začátku nabíjení napětí na článku nižší než 2,05 V nebo pokud nabíjecí proud přesahuje 2A na 100 Ah). Obdobně tomu je u přechodu z vyššího na nižší napětí (např. pokud je nabíjecí proud menší než 2A na 100 Ah).

Technologie	Uzavřené větrané	Uzavřené ventilem řízené	
		GEL	AGM
<b>Jednostupňové nabíjení</b>			
Nabíjecí napětí (při 20 °C)	2,32 – 2,38 V/článek	2,32 – 2,38 V/článek	2,27 – 2,32 V/článek
	Korekce teploty -0,004 V/K na článek		
<b>Dodatečné rychlé nabíjení</b>			
Nabíjecí napětí (při 20 °C)	2,39 V/článek	2,39 V/článek	2,35 V/článek
	Korekce teploty -0,004 V/K na článek		

Tab. 5.3 – *Typické napájecí napětí olověných akumulátorových baterií drážních vozidel [5]*

Pro 110 V systémy je typicky umístěno 54 jednotlivých článků v sestavení 18ti bloků, každý po třech člancích nebo 9 bloků každý po 6 člancích. Výsledné nabíjecí napětí je dáno součinem nabíjecího napětí článku a jejich celkovým počtem.

### 5.3 NiCd (nikl-kadmiové) akumulátorové baterie (vždy tekutý elektrolyt)

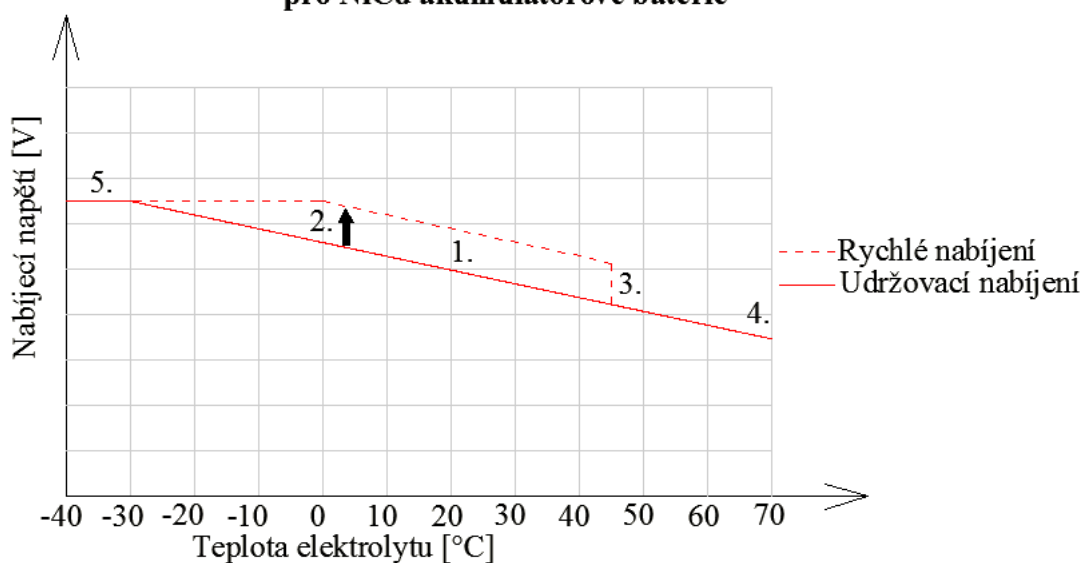
#### Provedení

- a) Technologie vláknových elektrod – typ M a H
- b) Sintrované /plastem pojená elektroda (PBE) technologie – typ M a H

#### Nabíjecí charakteristika

Pokud baterie vykazuje teplotu nad 45 °C, je vyžadováno přepnutí z rychlého nabíjení na udržovací nabíjení (viz. bod 3.). V bodě 4. je nutné vypnutí nabíjení, aby nedošlo k poškození baterie. Napájecí napětí v bodě 5. závisí na počtu článků baterie (137,5 V nebo nižší).

### Typická nabíjecí charakteristika s teplotní kompenzací pro NiCd akumulátorové baterie



- nabíjení konstantním napětím (dvou úrovní) s proudovým omezením

Obr. 5.5 – Typická nabíjecí charakteristika s teplotní kompenzací pro NiCd akumulátorové baterie [5]

Technologie		Technologie vláken		Technologie sintrování/PBE	viz. Obr. 5.5
Typ		M	H	M, H	
Základní údaje pro jedno úroňové nabíjení	Udržovací nabíjení (při 20 °C)	1,53 V/článek	1,47 V/článek	1,47 V/článek	1.
Základní údaje pro dvou úroňové nabíjení	Udržovací nabíjení (při 20 °C)	1,50 V/článek	1,45 V/článek	1,47 V/článek	1.
	Teplotní korekce	-0,003 V/K na článek			
	Rychlé nabíjení (při 20 °C)	1,60 V/článek	1,55 V/článek	žádné	2.

Tab. 5.4 – Typické napájecí napětí NiCd akumulátorových baterií drážních vozidel [5]

Pro 110 V systémy je typicky umístěno 76 až 86 jednotlivých článků na baterii v závislosti na použité technologii. Výsledné nabíjecí napětí je dáno součinem nabíjecího napětí na článek a počtem článků.

## 5.4 Dimenzování pomocné akumulátorové baterie

System	Minimální doba provozu (po ztrátě napájení)	Poznámka
Kamerové systémy	1,5 h	
Dveřní systémy	4 h	
Komunikační systémy	4 h	
Řídicí systémy vlaku	4 h	
Protipožární systém	4 h	
Záznam („černá skříňka“)	4 h	
Nouzová ventilace (odvětrávání prostoru pro cestující)	1,5 h	Podle standartu ASA T HR RS 08001 ST
Nouzové svícení	3 h	Podle EN 13272, jas světel specifikovaný v T HR RS 12001 ST
Koncová světla vlaku	3 dny (72 h)	

Tab. 5.5 – Minimální čas, po který musí být pomocná baterie schopna napájet (při nabití na 80 %). [12]

Po předepsaném napájení by měla být baterie schopná ještě zvednout sběrač (potažmo napájet pomocný kompresor pro naplnění pomocného vzduchojemu). To nemusí být splněno, pokud je umožněno ruční natlakování. Z důvodu provozu jednotky převážně v regionální dopravě s nižší přepravní kapacitou, kde případné zavedení náhradní dopravy není tak velká komplikace, byly minimální časy adekvátně zkráceny (viz. Tab. 5.6).

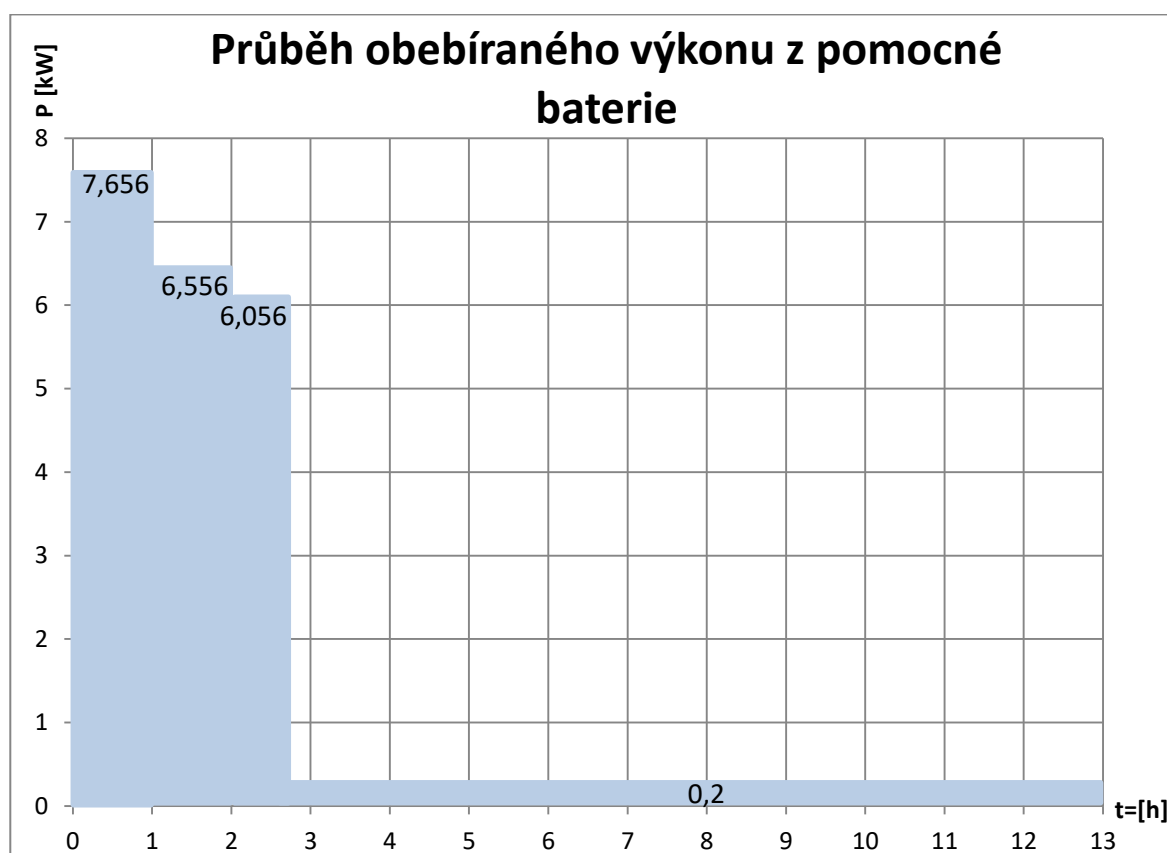
Spotřebič	Příkon [kW]	$P_{stř}$ [kW]	Doba provozu [h]
Vnější dveře	1,6	1,056	2,75
Výsuvné schody	1,6	0	2,75
Osvětlení vnitřní (nouzový režim)	0,5	0,5	2
Osvětlení vnější (od 4h pouze koncová světla)	0,5 (0,2)	0,5 (0,2)	72
Centrální systém řízení	2	2	2,75
Odvětrávání prostoru pro cestující (25 Hz)	1	1	1
Protismykové ochrany	0,2	0,2	2,75
Chlazení prostoru baterií (25 Hz)	0,25	0,25	2,75
Kamerový systém	0,1	0,1	1
Vnitřní informační systémy (pro cestující) – omezený režim	0,7	0,3	2,75
Informační systémy (pro strojvedoucího)	0,5	0,5	2,75
Sociální zařízení	0,5	0,25	2,75
Protipožární systém	0,2	0,2	2,75
Zabezpečovací zařízení	0,8	0,8	2,75

Tab. 5.6 – Spotřebiče napájené z pomocné akumulátorové baterie

Při výpočtu potřebné kapacity baterie potřebujeme nejdříve vědět celkovou energii, kterou by měl akumulátor být schopen udržet při 100 % stavu nabití. Při výpočtu vycházíme z hodnot příkonů zařízení, počtu aktivních spotřebičů (viz. Tab. 4.4) a minimálních dob provozu.

U vnějších dveří můžeme uvažovat, že výstup (nástup) probíhá ve třech fázích. Po aktivaci tlačítka dochází k otvírání dveří (obvykle kolem pěti sekund), následně cestující provádí výstup či nástup a poté dochází k zavírání pomocí tlačítka nebo automaticky po pěti sekundách od otevření. Dveře jsou tedy v chodu ve dvou ze tří fází (66% času i odebrané energie). Také můžeme uvažovat systém sociálního zařízení v chodu polovinu provozovaného času.

Dále pohony výsuvných schodů (ramp) jsou ve funkci až při nulové rychlosti, kdy dochází k vysunutí a poté při rozjezdu k zasunutí. Pokud dojde ke ztrátě napájení, funkci zdroje přebírá pomocná baterie a vysouvání schodů započne až ve chvíli, kdy vlak zastaví. Tedy můžeme uvažovat, že pohon schodů bude odebírat energii přibližně po dobu čtyř sekund pro vysunutí (odebraná energie  $6400 \text{ Ws} = 1,78 \text{ Wh}$ ).



Obr. 5.6 – Odebíraný výkon z pomocné baterie v závislosti na čase

Minimální energie (při nabití na 80 %) pomocné akumulátorové baterie je dána obsahem modré plochy vykreslené v grafu (z důvodu čitelnosti je 0,2 kW jen do 13 h, ale reálně musí vydržet po tři dny (72 h)). Tuto plochu vypočítáme jako součet jednotlivých obdélníků. Ovšem toto platí pro 80 % baterie, proto tuto energii musíme ještě navýšit.

Čas – t [h]	Výkon [kW]	Energie [kW/h]
0 – 1	7,656	7,656
1 – 2	6,556	6,556
2 – 2,75	6,056	4,542
2,75 – 72	0,2	13,85
Součet (80 % kapacity):		32,6
100 % kapacity:		40,757

Tab. 5.7 – Výpočet kapacity pomocné akumulátorové baterie

U baterií se používá kapacita udávaná v ampérech za hodinu [Ah], při znalosti provozu na síti 110 V<sub>DC</sub> je potom přepočten:

$$C = \frac{W}{U} = \frac{40\,757}{110} \doteq 370,5 \text{ Ah} \quad (5.1)$$

C – kapacita baterie [Ah]

W – energie uložená v baterii [Wh]

U – napětí palubní sítě [V]

Během výpadku energie závisí bezpečnost cestujících na funkci pomocné baterie, z tohoto důvodu chceme mít tento zdroj zálohován. Obvykle místo umístění dvou těžkých akumulátorů (100 % kapacity), z nichž každý je schopen napájet přístroje po určenou dobu, se používají dvě baterie o menší kapacitě (60 až 70 %). Toto je možné pod podmínkou, že výpadkem jedné pomocné baterie se přejde na více úsporný režim, při kterém druhý akumulátor musí být schopen sloužit jako zdroj po určenou minimální dobu. Musíme tedy definovat, kde je možné redukovat spotřebovanou energii či čas činnosti.

Můžeme uvažovat menší dobu aktivity pohonů dveří ( $P_{\text{stř}} = 0,5 \text{ kW}$ ). Přesto uvažujeme pohon všech dveří v chodu přibližně 33 % času. Také můžeme omezit střední výkon ventilátorů sloužící pro odvětrávání prostoru pro cestující na 0,5 kW. V takovémto režimu bude sloužit vnitřní informační systém pouze k udávání pokynů cestujícím, tedy můžeme velmi omezit očekávaný výkon (0,05 kW).

Jednou z hlavních položek, kterou musí pomocný akumulátor napájet, jsou koncová světla. Ta musí být schopná svítit po dobu 72 hodin. V našich podmínkách lze očekávat, že jednotka nebude s poruchou odstavena v místě, kde by bylo nutné svítit tak dlouho, proto v tomto režimu lze uvažovat svícení po dobu 40 h. Nebo v tomto čase dojde k opravení (výměně) nefunkční pomocné baterie. Díky tomu bude možné stanovené podmínky dodržet.

Po aplikování těchto znalostí nám vyjde baterie s kapacitou 260 Ah. Tedy na jednotce budou umístěny dva akumulátory se 70 % kapacitou (při poruše jedné se přechází na omezený režim popsany výše).

## **6 CELKOVÉ USPOŘÁDÁNÍ, SCHÉMA ZAPOJENÍ A PROSTOROVÉ USPOŘÁDÁNÍ**

Při návrhu moderních vozidel je nejvíce kladen důraz na maximalizaci prostoru určeného pro cestující. To nás vede k umístění většiny trakční výzbroje na střechu vozidla. Námi uvažovaná jednotka má trakční akumulátor o kapacitě 750 kWh. Takováto baterie představuje podstatnou část celkové hmotnosti vozidla, proto je nutné jí umístit pod podlahu (snížení těžiště a omezená nosnost střechy vozidla).

Dále má-li být železniční doprava konkurence schopná, musí nabídnout vysoký komfort. S tím souvisí dostatek míst na sezení a pohodlná sedadla se stolky. Neméně důležité je poskytnout cestujícím připojení (nabíjení) pro drobné spotřebiče jako jsou mobilní telefony a notebooky a přehledná umístění odkladných ploch pro zavazadla (poskytnout cestujícím vizuální přehled při sezení). Jelikož se jedná o regionální jednotku, lze očekávat i cestující s cyklistickým kolem. Jako v každém vozidle veřejné dopravy musí být přizpůsoben prostor nástupu invalidním cestujícím a s tím spojené prostory (záchod atd.).

### **6.1 Celkové uspořádání**

Regionální dvouvozová elektrická jednotka je dlouhá 53 000 mm po konce spřáhel. Šířka (2800 mm) a výška (4 300 mm) vozidla je navržena tak, aby vyhovovala povolenému průjezdnému průřezu. Propojení vozidel je průchozí a díky dvojité izolaci průchodu nemusí být instalovány vnitřní dveře. Vstup do vozu umožňují čtyři dvoukřídlé dveře po každé straně s šířkou 1 500 mm.

Jednotka má 160 míst k sezení (80 dvousedaček) a na každou dvousedačku připadá jedna zásuvka 230 V<sub>AC</sub> 50 Hz. V interiéru každého vozu je umístěn box pro odložení velkých zavazadel. U dvou dveří jsou umístěny závěsné držáky na kola s možností jejich uzamknutí.

Na jednotce se nachází prostor určený pro invalidní lidi na vozičku poblíž bezbariérového záchodu a vchodů s nástupními rampami.

## 6.2 Schéma zapojení

Celkové schéma zapojení je zobrazeno v příloze (A). Uvedeny jsou jednotlivé proudy v obvodech palubních sítí včetně maximálních proudů měničů napájejících tyto sítě. Červeně jsou vyznačeny výkony měničů, které by měly být schopny dodávat, včetně uvažovaných účinností při tomto výkonu. Zapojení bylo provedeno podle předpokladů z kapitoly 3 a 4 (podle dat z Tab. 4.4).

Dále byl zakomponován síťový nabíječ s galvanickým oddělením se zásuvkou na 3x 400 V<sub>AC</sub> 50 Hz a maximálním proudem 64 A. Tento nabíječ slouží pro nabíjení baterií a vytápění (vychlazení) v prostoru železniční stanice.

## 6.3 Prostorové uspořádání

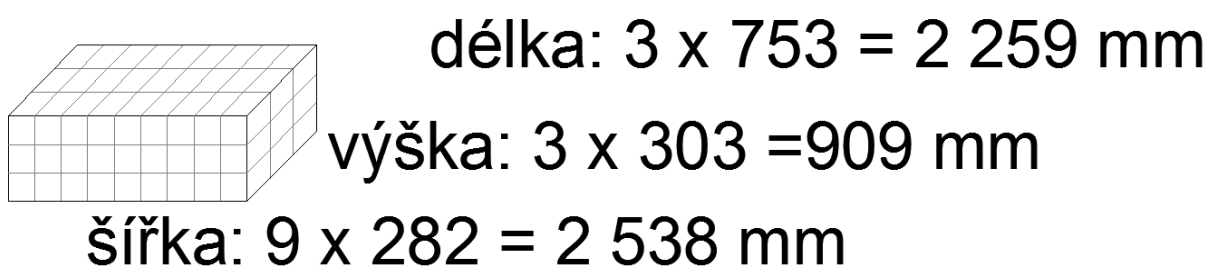
### Umístění trakční baterie

Akumulátorový článek Kokam 114E (11,4 kWh)	
Měrná kapacita	≥ 152 Wh/kg (186 Wh/l)
Kapacita	130 Ah (pro C/2)
Jmenovité napětí	87,8 V
Hmotnost	75 kg
Rozměry (délka x šířka x hloubka)	753 mm x 303 mm x 282 mm

Tab. 6.1 – Uvažovaný akumulátorový článek pro trakční baterii [3]

Bateriové články jsou zapojeny sério-paralelně. Pro získání dostatečně velkého napětí je zapojeno 11 článků v sérii (965,8 V). Takto zapojené řetězce se propojují paralelně pro získání dostatečné kapacity. Akumulátor umístěný na voze má mít celkovou kapacitu 750 kWh. Tedy musíme zapojit paralelně 6 sériových řetězců (celkově 66 článků) o celkové hmotnosti 4 950 kg.

Bateriová skříň je umístěná pod podlahou prvního vozu a má rozměry 2 259 mm x 909 mm x 2 538 mm (délka x výška x šířka). V této skříně je také umístěn ventilátor zajišťující její chlazení.



Obr. 6.1 – Rozměry bateriové skříně (66 článků; 752,4 kWh)

## **Umístění řídicích systémů**

Řídicí systémy jsou obvykle provedeny polovodičovými obvody umístěnými v kontejnerech. Jako vhodné místo pro uložení takovýchto zařízení se jeví kabina strojvedoucího, která musí být dostatečně velká pro umístění skříně.

Kabina strojvedoucího má umístěnou dvojici skříní při vchodu do kabiny s rozměry u prvního vozu 1 100 mm x 2 500 mm x 1 000 mm a u druhého 1 700 mm x 2 500 mm x 1 000 mm (šířka x výška x hloubka). Velikost byla zvolena s ohledem na pohodlný průchod (šířka uličky).

## **Umístění elektrické výbroje do prostoru střechy**

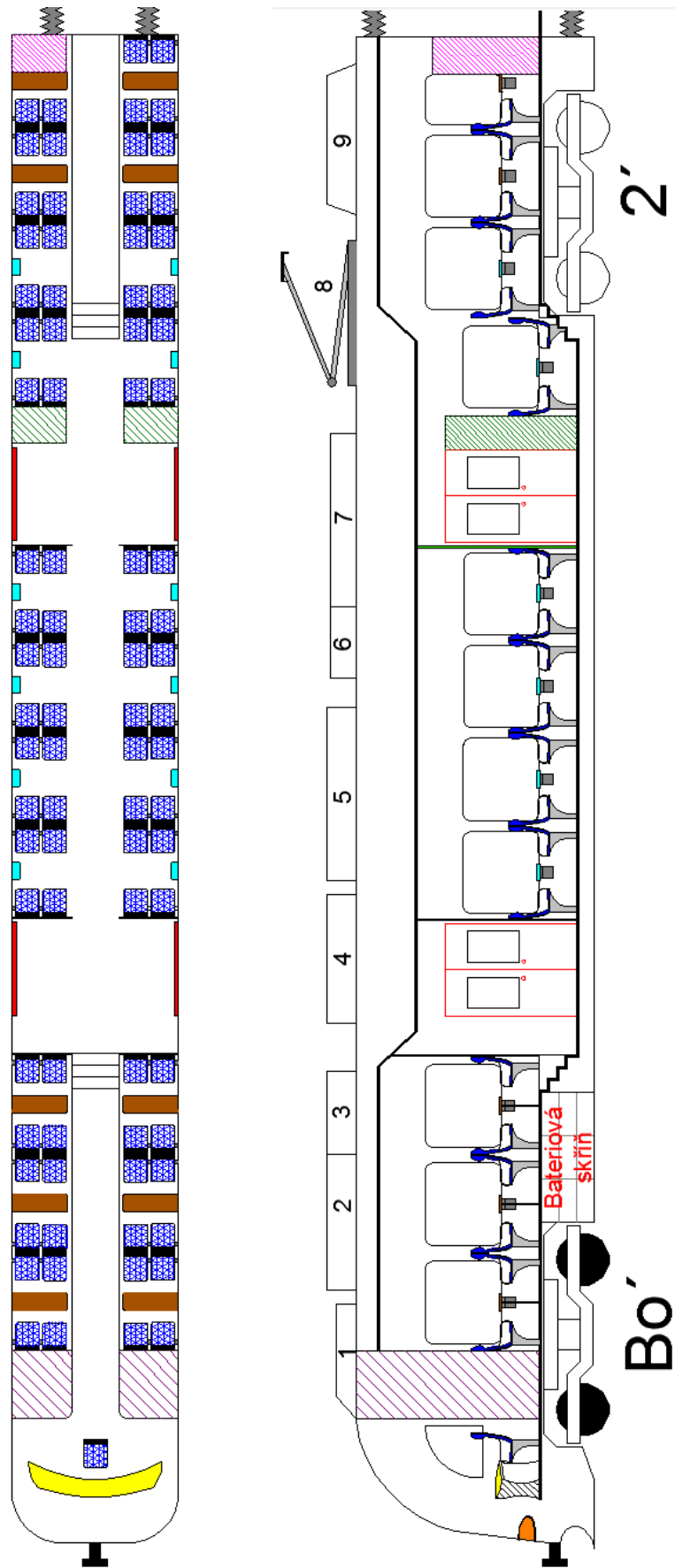
Z důvodu omezenosti prostoru pod vozidlem, kde je umístěna trakční baterie a požadavku na nízkopodlažní část vozidla musí být veškerá zařízení střešní konstrukce. Výbroj umístěná na střeše je obdobná pro oba vozy, jenom na jednom voze je umístěný navíc hlavní kompresor včetně chlazení (Obr. 6.2 – 4).

Nad kabinou strojvedoucího se nachází klimatizace určená pro udržování teploty v prostoru kabiny (Obr. 6.2 – 1). Dále se zde nachází kontejner obsahující trakční měniče upravující energii ze sběrače na vhodnou formu pro trakční motory (Obr. 6.2 – 2). Z důvodu velkých výkonů (velké tepelné ztráty) je přímo součástí tohoto kontejneru okruh vodního chlazení s výměníkem (Obr. 6.2 – 3), na kterém je připevněn ventilátor. Ten zajišťuje nepřekročení pracovních teplot chladícího média (vody). O oběh vody se stará bezucpávkové čerpadlo.

Ve střední části plochy střechy vozidla se nachází klimatizační jednotka (Obr. 6.2 – 5). Vedle je umístěn kontejner s trakčním transformátorem (Obr. 6.2 – 7) a systémem chlazení (Obr. 6.2 – 6). V chladicím okruhu proudí olej pomocí čerpadla od transformátoru do výměníku a zase zpět.

Dále je umístěn polopantografový sběrač (Obr. 6.2 – 8) umožňující připojení vozidla k systému trakčního vedení. Poslední kontejner umístěný na střeše obsahuje prvky vytvářející (napájející) palubní síť (Obr. 6.2 – 9). Chlazení je provedeno nuceným prouděním vzduchu, které vytváří ventilátor.

# První vůz

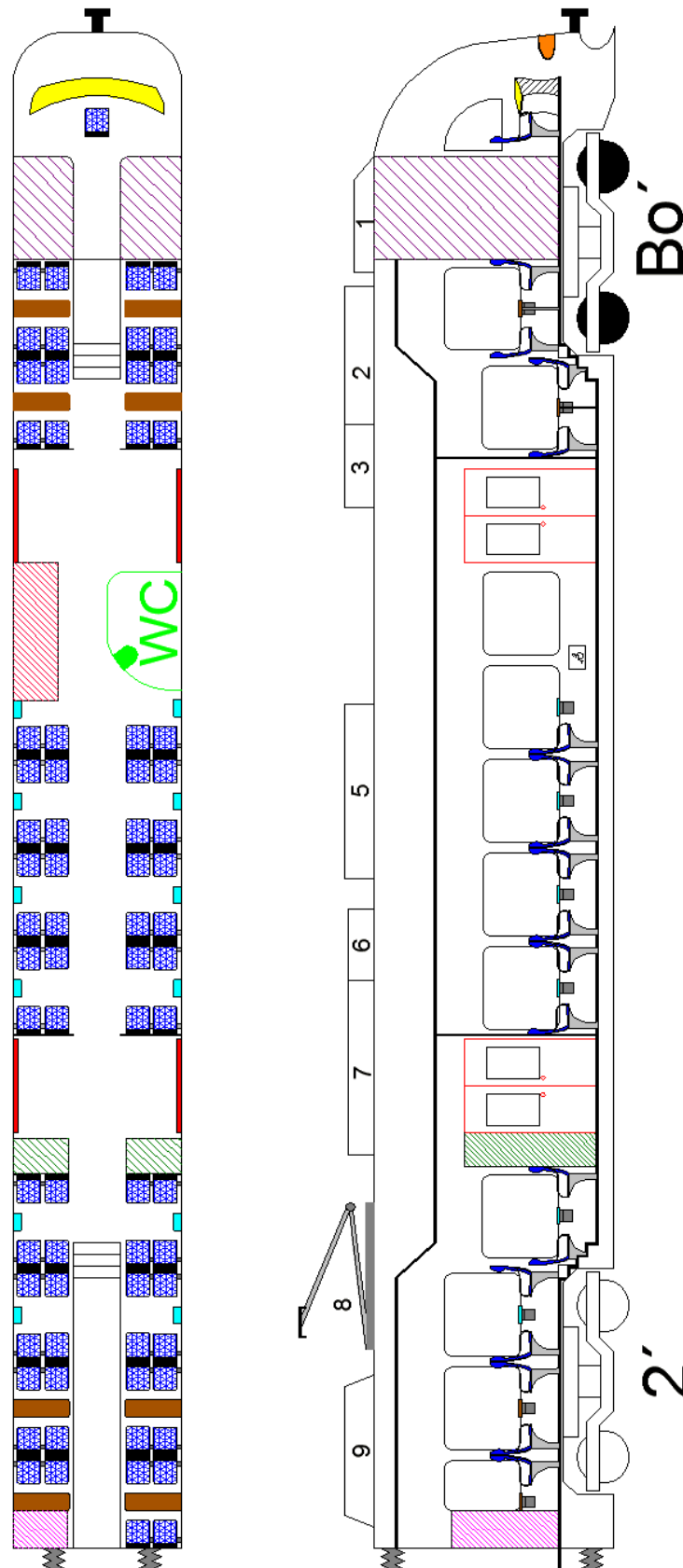


- Legenda (výzbroj na střeše):**
- 1 - Klimatizace kabiny strojvedoucího
  - 2 - Kontejner trakčních měničů
  - 3 - Výměník vodního okruhu (s ventilátorem)
  - 4 - Hlavní kompresor s chlazením
  - 5 - Klimatizační jednotka
  - 6 - Výměník olejového okruhu (s ventilátorem)
  - 7 - Trakční transformátor
  - 8 - Sběrač
  - 9 - Kontejner měničů napájecí palubní sítě

- Legenda (prostorové prvky):**
- Sedadla
  - Psací stůlek
  - Řídicí pult
  - - Odkládací stůlek
  - Prostor pro vozíčkáře
  - Skříň s řídicími systémy
  - WC
  - - Dveře
  - Prostor pro kola
  - Prostor pro zavazadla

Obr. 6.2 – Prostorové uspořádání prvního vozu

## Druhý vůz



Legenda (výzbroj na střeše):

- 1 - Klimatizace kabiny strojvedoucího
- 2 - Kontejner trakčních měničů
- 3 - Výměník vodního okruhu (s ventilátorem)
- 4 - Hlavní kompresor s chlazením
- 5 - Klimatizační jednotka
- 6 - Výměník olejového okruhu (s ventilátorem)
- 7 - Trakční transformátor
- 8 - Sběrač
- 9 - Kontejner měničů napájecí palubní sítě

Legenda (prostorové prvky):

- Sedadla
- Psací stůlek
- Řídicí pult
- Odkládací stůlek
- Prostor pro zavazadla
- Prostor pro vozíkáře
- Skříň s řídicími systémy
- WC
- Dveře
- Prostor pro kola

Obr. 6.3 – Prostorové uspořádání druhého vozu

## ZÁVĚR

V rámci konkurence schopnosti železniční dopravy vůči jiným druhům dopravy se vyžaduje vysoká úroveň komfortu pro cestující. S tím jsou samozřejmě spojené přístroje (např. klimatizace), které tento standard dokáží poskytnout. Tyto spotřebiče se vyrábějí v široké škále provedení a napájení. Při návrhu železničního vozidla musíme uvažovat, kolik přístrojů potřebujeme instalovat a jaké vyžadují napájení. Z těchto znalostí se potom určuje provedení a úroveň napětí palubní sítě či sítí. Dále je velmi důležité určit přístroje, na jejichž funkci závisí provozuschopnost vozidla, takovéto spotřebiče je nutné (či alespoň výhodné) zálohovat. Na každém vozidle se vyžaduje umístění pomocné baterie, která slouží jako zdroj energie při výpadku hlavního zdroje (trolej, alternátor nebo trakční baterie).

Obecně můžeme napájení vedlejších spotřebičů rozdělit na stejnosměrné a střídavé. Stejnosměrně napájené přístroje jsou převážně polovodičové řídicí logiky, světelné zdroje a menší motory pro nenáročné aplikace. Střídavé napájení je obvykle u pomocných pohonů, které mohou být připínány pomocí stykačů nebo rozbíhány z příslušných měničů.

Snahou posledních let je vyřazení co největšího počtu motorových vozidel produkujících spaliny a jejich nahrazení plně elektrickými jednotkami, které budou schopny provozu po elektrifikovaných i neelektrifikovaných tratích. Dále v našich podmínkách je nutné, aby jednotka byla schopna jet pod stejnosměrnou i střídavou trakcí.

Výsledkem této práce je určení veškerých vedlejších spotřebičů umístěných na takového jednotce včetně kvantifikace s určením jejich možného příkonu. To slouží jako základ pro výpočet parametrů potřebných měničů (napájecí palubní síť nebo jednotlivé zařízení). S tím také souvisí zvolení nejvhodnější konfigurace palubních sítí včetně jejich napájení a to z hlediska ceny, spolehlivosti a počtu konverzí energie. Z údajů byl vypočítán celkový instalovaný výkon vedlejších spotřebičů (200,6 kW), celkový střední výkon při napájení z trolejového vedení (44,69 kW) a celkový střední výkon při napájení z trakční baterie (41,15 kW). Následně byly určeny výstupní parametry měničů napájecích palubních sítí. Špičkový odběr na síti 600 V<sub>DC</sub> je 78,26 kW (při proudu 130,43 A) a na 110 V<sub>DC</sub> 20,55 kW (při proudu 186,8 A).

Výpočet pomocné baterie je dán spotřebou zařízení, na jejichž funkci závisí bezpečnost cestujících a také na minimální nutné době provozu (o 100% kapacitě 370,5 Ah). Z důvodu nutnosti redundance jsou na vozidle umístěny dva, ale pouze o 70 % kapacitě (260 Ah). Tedy

při výpadku jednotku napájí obě baterie. Pokud jedna není schopná dodávat energii, přechází se na více úsporný režim, při kterém je stále dodržena bezpečnost. Na závěr, ze zjištěných znalostí, je vytvořeno prostorové uspořádání a elektrické zapojení jednotky.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Skala J., Optimalizace napájení vedlejších spotřebičů ve dvouzdrojové elektrické regionální jednotce, ročníkový projekt II, UPCE, v Pardubicích 2017
- [2] Lenoč V., Modernizace lokomotivy řady 742, diplomová práce, UPCE, v Pardubicích, 2011
- [3] firma Kokam, product 114e, [cit. 14.5.2017], Dostupné z:  
<http://kokam.com/modulepack-ev/>
- [4] firma Hoppecke, Bateriové systémy pro drážní aplikace [online], září 2015 [cit. 14.5.2017], Dostupné z: [https://www.hoppecke.com/fileadmin/Redakteur/Hoppecke-Main/Products/Downloads/rail\\_systemizer\\_en.pdf](https://www.hoppecke.com/fileadmin/Redakteur/Hoppecke-Main/Products/Downloads/rail_systemizer_en.pdf)
- [5] Česká technická norma, Drážní zařízení – Baterie pro pomocné napájecí pohony, ČSN EN 50547, prosinec 2013
- [6] Segeřa J., Jednopodlažní regionální soupravy pro české dráhy [online], 2011 [cit. 14.5.2017], Dostupné z:  
[http://www.railvolution.net/czechraildays/2011/seminare/trendy\\_segeta.pdf](http://www.railvolution.net/czechraildays/2011/seminare/trendy_segeta.pdf)
- [7] Ševčík K., Návod k obsluze vozidla řady 640 [online], 22.07.2015 [cit. 14.5.2017], Dostupné z: <http://www.strojvedouciplzen.cz/index.php?page=menu&id=83>
- [8] Lomozník J., Klimatizace v železniční dopravě [online], [cit. 14.5.2017], Dostupné z: [http://kulatystul.upce.cz/P%F8edn%E1%9Aky/05\\_Lomoznik.pdf](http://kulatystul.upce.cz/P%F8edn%E1%9Aky/05_Lomoznik.pdf)
- [9] Pohl J., Řešení vozidel dálkové i regionální železniční dopravy z hlediska ergonomie cestujících, 13.10.2016 [cit. 14.5.2017], Dostupné z:  
[http://kulatystul.upce.cz/P%F8edn%E1%9Aky/03\\_Pohl.pdf](http://kulatystul.upce.cz/P%F8edn%E1%9Aky/03_Pohl.pdf)
- [10] firma MSVelektronika, produkty, [cit. 14.5.2017], Dostupné z:  
<http://www.msvelektronika.cz/>
- [11] Žilinská Univerzita, [cit. 14.5.2017], Dostupné z:  
[http://kdm.uniza.sk/files/podklady/KV2/F\\_142.pdf](http://kdm.uniza.sk/files/podklady/KV2/F_142.pdf)
- [12] NSW government, Electric auxiliary power supply and battery systém for passenger rolling stock, 20.11.2015 [cit. 14.5.2017], Dostupné z:  
<http://www.asa.transport.nsw.gov.au/sites/default/files/asa/asa-standards/t-hr-rs-10001-st.pdf>
- [13] firma UniControls Tramex, produkty, [cit. 14.5.2017], Dostupné z:  
<http://www.unicontrols-tramex.cz/cz/>
- [14] Sobotka L., Moderní trakční pohony, 2009 [cit. 14.5.2017], Dostupné z:  
<http://www.railvolution.net/czechraildays/2009/seminare/kv06.pdf>
- [15] firma Škoda, Traction equipment, [cit. 14.5.2017], Dostupné z:  
<http://www.skoda.cz/data/catalog/6/234/2338.pdf>
- [16] firma Siemens, produkty, [cit. 14.5.2017], Dostupné z:  
<https://www.mobility.siemens.com>
- [17] Interní dokumentace, katedry KEEZ, fakulty DFJP, univerzity UPCE

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1.1 – <i>Typická zařízení vedlejší spotřeby [1]</i> .....	- 10 -
Tab. 1.2 – <i>Příklady typických rozsahů teplot pro některá zařízení [1]</i> .....	- 14 -
Tab. 1.3 – <i>Příklady tepelných konstant typických zařízení [1]</i> .....	- 16 -
Tab. 1.4 – <i>Napěťové systémy pro topení vlaku [1]</i> .....	- 23 -
Tab. 2.1 – <i>Parametry elektrické trakční jednotky [1]</i> .....	- 35 -
Tab. 3.1 – <i>Spotřebiče v chodu pro jednotlivé pracovní režimy</i> .....	- 42 -
Tab. 4.1 – <i>Počet konverzí navržených konfigurací palubních sítí</i> .....	- 58 -
Tab. 4.2 – <i>Parametry měničů připojených na síť 3x 400 V<sub>AC</sub></i> .....	- 66 -
Tab. 4.3 – <i>Parametry měničů připojených na síť 600 V<sub>DC</sub></i> .....	- 68 -
Tab. 4.4 – <i>Spotřebiče připojené na jednotlivé sítě</i> .....	- 69 -
Tab. 5.1 – <i>Maximální povolené hodnoty ztrát jednotlivých technologií [5]</i> .....	- 74 -
Tab. 5.2 – <i>Nejčastěji používané hodnoty baterií [5]</i> .....	- 74 -
Tab. 5.3 – <i>Typické napájecí napětí olověných akumulátorových baterií drážních vozidel [5] ..</i> <i>78 -</i>	
Tab. 5.4 – <i>Typické napájecí napětí NiCd akumulátorových baterií drážních vozidel [5] ...</i>	- 79 -
Tab. 5.5 – <i>Minimální čas, po který musí být pomocná baterie schopna napájet (při nabití na 80 %). [12]</i> .....	- 80 -
Tab. 5.6 – <i>Spotřebiče napájené z pomocné akumulátorové baterie</i> .....	- 80 -
Tab. 5.7 – <i>Výpočet kapacity pomocné akumulátorové baterie</i> .....	- 82 -
Tab. 6.1 – <i>Uvažovaný akumulátorový článek pro trakční baterii [3]</i> .....	- 85 -

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1 – <i>Mechanické charakteristiky základních motorů a zátěží [1]</i> .....	10 -
Obr. 1.2 – <i>Charakteristika ventilátoru a zátěže [1]</i> .....	13 -
Obr. 1.3 – <i>Závislost přetížitelnosti na časové konstantě a způsobu zatěžování [1]</i> .....	15 -
Obr. 1.4 – <i>Uspořádání vzduchových obvodů ve strojovně [1]</i> .....	17 -
Obr. 1.5 – <i>Paralelně chlazená zařízení [1]</i> .....	18 -
Obr. 1.6 – <i>Sériově chlazená zařízení [1]</i> .....	18 -
Obr. 1.7 – <i>Princip čerpaní tepla (chlada)[1]</i> .....	20 -
Obr. 1.8 – <i>Zvedací plošina pro vozíčkáře [1]</i> .....	22 -
Obr. 1.9 – <i>Vnitřní osvětlení soupravy City Elephant [1]</i> .....	24 -
Obr. 1.10 – <i>Vlevo koncová světla, vpravo čelní světlomety [1]</i> .....	25 -
Obr. 1.11 – <i>Možné zapojení palubních sítí u střídavé trakce [1]</i> .....	30 -
Obr. 1.12 – <i>Zálohování napájení pomocných pohonů [1]</i> .....	32 -
Obr. 1.13 – <i>Provedení vedlejších spotřebičů u moderních vozidel [1]</i> .....	33 -
Obr. 2.1 – <i>Prvotní koncepce elektrické dvouzdrojové dvouvozové jednotky [1]</i> .....	36 -
Obr. 2.2 – <i>Uvažované elektrické schéma trakční jednotky [1]</i> .....	36 -
Obr. 3.1 – <i>Předtápění příslušně označené vozu [1]</i> .....	40 -
Obr. 4.1 – <i>Napájení vedlejší spotřeby s oddělovacím transformátorem (50 Hz) ve větvi palubní sítě 3x 400 V</i> .....	45 -
Obr. 4.2 – <i>Napájení vedlejší spotřeby s oddělovacím transformátorem (400 Hz) ve větvi palubní sítě 3x 400 V</i> .....	46 -
Obr. 4.3 – <i>Napájení vedlejší spotřeby s oddělovacím transformátorem (50 Hz) ve větvi palubní sítě 110 V</i> .....	47 -
Obr. 4.4 – <i>Napájení vedlejší spotřeby s oddělovacím transformátorem (400 Hz) ve větvi palubní sítě 110 V</i> .....	48 -
Obr. 4.5 – <i>Napájení vedlejší spotřeby s oddělovacím transformátorem (50 Hz) ve větvi palubní sítě 600 V</i> .....	49 -
Obr. 4.6 – <i>Napájení vedlejší spotřeby s oddělovacím transformátorem (400 Hz) ve větvi palubní sítě 600 V</i> .....	50 -
Obr. 4.7 – <i>Napájení vedlejší spotřeby s oddělovacím transformátorem (50 Hz) ve větvi palubní sítě 110 V</i> .....	51 -
Obr. 4.8 – <i>Napájení vedlejší spotřeby s oddělovacím transformátorem (400 Hz) ve větvi palubní sítě 110 V</i> .....	52 -
Obr. 4.9 – <i>Napájení vedlejší spotřeby s oddělovacím transformátorem (50 Hz) ve větvi palubní sítě 3x 400 V</i> .....	53 -
Obr. 4.10 – <i>Napájení vedlejší spotřeby s oddělovacím transformátorem (400 Hz) ve větvi palubní sítě 3x 400 V</i> .....	55 -
Obr. 4.11 – <i>Napájení vedlejší spotřeby s oddělovacím transformátorem (50 Hz) ve větvi palubní sítě 600 V</i> .....	56 -
Obr. 4.12 – <i>Napájení vedlejší spotřeby s oddělovacím transformátorem (400 Hz) ve větvi palubní sítě 600 V</i> .....	57 -
Obr. 4.13 – <i>Konfigurace palubních sítí 3x 400 V<sub>AC</sub> a 110 V<sub>DC</sub> s galvanickým oddělením od trakční baterie</i> .....	60 -

Obr. 4.14 – Konfigurace palubních sítí $3 \times 400 V_{AC}$ a $110 V_{DC}$ bez galvanického oddělení střídavé palubní sítě.....	- 61 -
Obr. 4.15 – Zapojení konfigurace palubních sítí $600 V_{DC}$ a $110 V_{DC}$ s galvanickým oddělením od trakční baterie.....	- 62 -
Obr. 4.16 – Zapojení konfigurace palubních sítí $600 V_{DC}$ a $110 V_{DC}$ bez galvanického oddělení sítě $600 V_{DC}$ .....	- 63 -
Obr. 4.17 – Připojené spotřebiče na palubní síť $3 \times 400 V$ pro jeden vůz.....	- 65 -
Obr. 4.18 – Připojené spotřebiče na palubní síť $600 V_{DC}$ pro jeden vůz.....	- 67 -
Obr. 5.1 – Rozhraní mezi nabíječem a akumulátorovou baterií [5].....	- 73 -
Obr. 5.2 – Ukázky diagramů zatížení [5].....	- 73 -
Obr. 5.3 – Různé typy konstrukcí bateriových skříní [4] .....	- 76 -
Obr. 5.4 – Typická nabíjecí charakteristika s teplotní kompenzací pro olověné akumulátorové baterie [5] .....	- 77 -
Obr. 5.5 – Typická nabíjecí charakteristika s teplotní kompenzací pro NiCd akumulátorové baterie [5] .....	- 79 -
Obr. 5.7 – Odebíraný výkon z pomocné baterie v závislosti na čase.....	- 81 -
Obr. 6.1 – Rozměry bateriové skříně (66 článků; 752,4 kWh).....	- 85 -
Obr. 6.2 – Prostorové uspořádání prvního vozu .....	- 87 -
Obr. 6.3 – Prostorové uspořádání druhého vozu.....	- 88 -

## **SEZNAM ZKRATEK**

AC – Střídavý proud

DC – Stejnoseměrný proud

HVAC – Topení, ventilace a klimatizace

TNS – tří vodičová síť 230 V 50 Hz (L, N a PE)

EP ventil – elektro-pneumatický ventil

V – volt

A – ampér

Ah – ampér hodiny

W – watt

C – Proud, který poskytuje baterie po dobu 1h.

K - kelvin

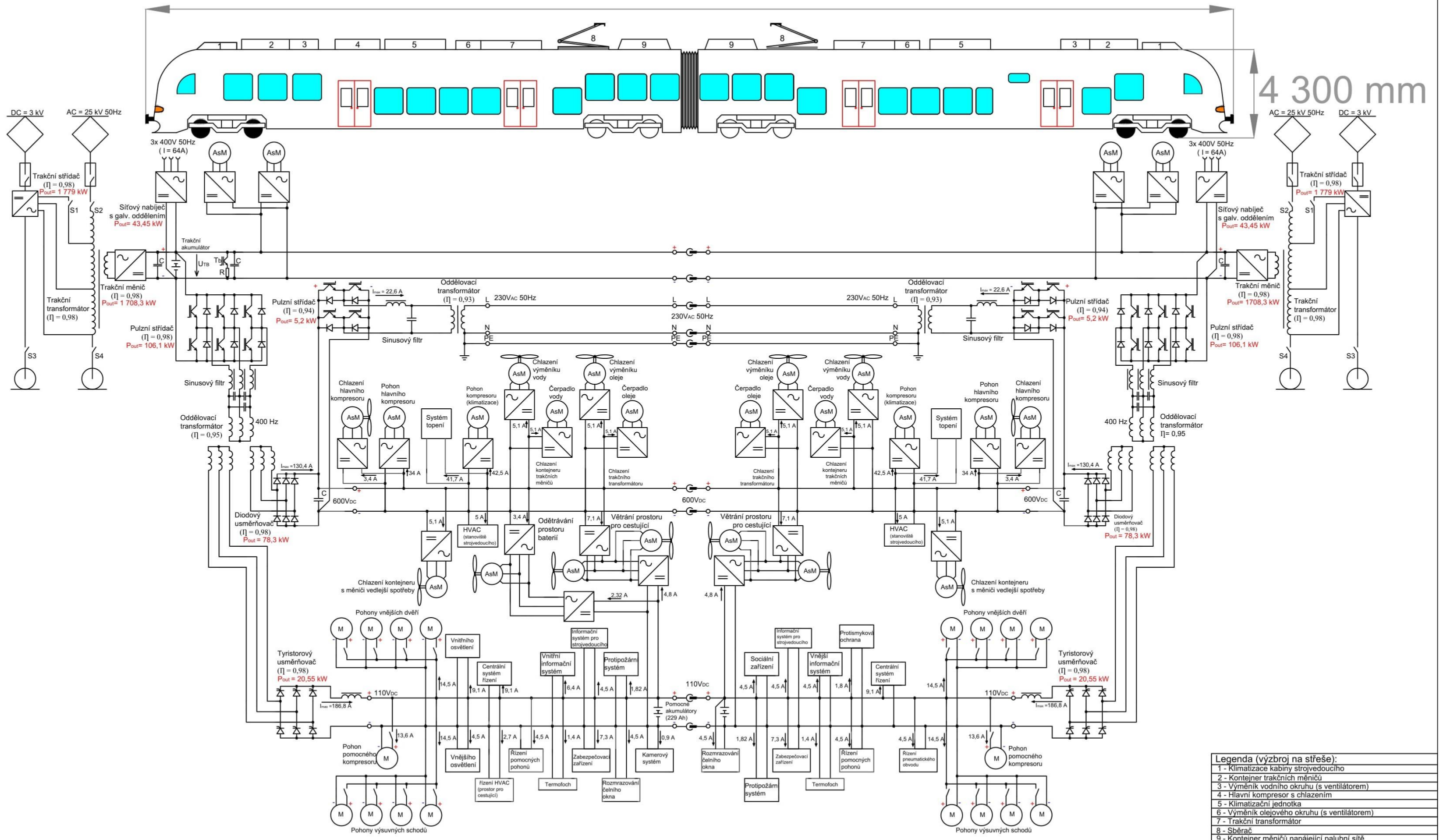
## **SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha A – volně vložená

Příloha B – volně vložená

# Příloha A

## Schéma dvouvozové elektrické jednotky 53 000 mm



**Legenda (výzbroj na střeše):**

1	- Klimatizace kabiny strojvedoucího
2	- Kontejner trakčních měničů
3	- Výměník vodního okruhu (s ventilátorem)
4	- Hlavní kompresor s chlazením
5	- Klimatizační jednotka
6	- Výměník olejového okruhu (s ventilátorem)
7	- Trakční transformátor
8	- Sběrač
9	- Kontejner měničů napájející palubní síť

Příloha B

Prostorové uspořádání dvouvozové elektrické jednotky

