

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ
ELEKTRONIKY**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Analýza spotřeb pomocných pohonů elektrického vlaku

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Pavel ČAVAJDA**
Osobní číslo: **E18N0038P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Průmyslová elektronika a elektromechanika**
Téma práce: **Analýza spotřeb pomocných pohonů elektrického vlaku**
Zadávací katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

Zásady pro vypracování

1. Analyzujte současný stav poznání.
2. Provedte rozbor typických spotřeb a provozních režimů.
3. Navrhněte simulační model spotřeb pomocných pohonů dle vlastností jednotlivých zařízení, případně provedte měření na skutečném vlaku.
4. Vyhodnoťte získaná data.
5. Vytipujte možnosti optimalizace spotřeby.


Rozsah diplomové práce: **40 – 60 stran**
Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. VONDRÁŠEK, František. Výkonová elektronika. Sv. II, Měniče s vnější komutací. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2001. 149 s. ISBN 80-7082-695-9.

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Tomáš Glasberger, Ph.D.**
Regionální inovační centrum elektrotechniky

Datum zadání diplomové práce: **4. října 2019**
Termín odevzdání diplomové práce: **28. května 2020**



Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
děkan



Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 4. října 2019

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce má za cíl analyzovat chování pomocných elektrických zařízení vlaku, která jsou napájena převážně z pomocných měničů. Začátek práce je zaměřen na druhy pomocných spotřeb, které jsou nutné pro správnou funkci vozidla. Jsou zde primárně popsány z hlediska jejich důležitosti fungování pro vlak, ale také jejich vlastnosti a principy. Dále jsou vylíčeny provozní režimy, kde jsou popsány napájecí systémy, ale hlavně režimy jízda, brzda a aktivní odstavení. U režimu jízda jsou vysvětleny jednotlivé způsoby řízení vlaku, a u režimu brzda jsou popsány druhy brzd. Větší, praktická část práce se věnuje měření na skutečné elektrické jednotce při režimech stání a jízdy. Měření je rozděleno do dvou částí, kde jsou obě části měřeny při stejnosměrném napájení elektrické jednotky. První část je měřena za stání, a je zde pro každý vůz jednotlivě vyhodnocen výkon pomocného měniče, kde jsou zjišťovány poměry při vytápění. Ve druhé části jsou vyhodnoceny a diskutovány výkony pomocných měničů, které byly měřeny během jízdy a při vypnutém vytápění elektrické jednotky. Jsou zde také vyhodnoceny primární měniče, které přes stejnosměrnou síť zásobují energií pomocné měniče. Na závěr kapitoly, zabývající se měřením, je z naměřených hodnot spočítána elektrická spotřeba energie, ať už jednotlivých měničů, tak především dohromady všech pomocných zařízení elektrické jednotky v obou částech měření. V následující kapitole byly simulovány průběhy, které byly naměřeny v předchozí kapitole. Na konci práce je snaha vytipovat možnosti optimalizace spotřeby.

Klíčová slova

pomocné pohony, pomocné měniče, měření pomocných pohonů vlaku, elektrická jednotka, spotřeba energie, simulace spotřeb, optimalizace spotřeb

Abstract

The presented master thesis aims to analyze the behavior of auxiliary electrical equipment of the train, which are powered mainly by auxiliary converters. The beginning of the work is focused on the types of auxiliary consumption that are necessary for the proper functioning of the vehicle. They are primarily described in terms of their importance of operation for the train, but also their properties and principles. Further the operating modes are described, where the power supply systems are first described, but mainly modes the drive, brake and active shutdown. In the drive mode, the individual ways of control the train are explained, and in the brake mode, the types of brakes are processed. The larger, practical part of the work is devoted to the measurement of the real electrical unit in the standing and drive modes. The measurement is divided into two parts, where both parts are measured with DC power supply of the electrical unit. The first part is measured at standstill, and the power of the converter is evaluated individually for each car, where the conditions during heating are detected. At the second part are detected and discussed power of the auxiliary converters, which were measured during drive mode and when the heating of the electrical unit was turned off. Primary converters that supply power to the auxiliary converters via the DC network are also detected here. At the end of the chapter, that deal with measurement, the electrical energy consumption is calculated, both of the individual converters and all the auxiliary devices of the electrical unit in both types of measurements. In the following chapter, the waveforms measured in the previous chapter were simulated. At the end of the work is an effort to identify the possibilities of optimizing consumption.

Key words

auxiliary drives, auxiliary converters, measurement of auxiliary train drives, electric unit, energy consumption, consumption simulation, consumption optimization

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....
Podpis

V Plzni dne 16.6.2020

Pavel Čavajda

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Tomášovi Glasbergerovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Ze stejného důvodu bych také chtěl poděkovat kolegům z firmy, kde byla práce měřena.

Obsah

OBSAH	9
ÚVOD	11
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	13
1 SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ	14
2 TYPICKÉ SPOTŘEBY ELEKTRICKÉHO VLAKU	16
2.1 DRUHY POMOCNÝCH SPOTŘEB	16
2.1.1 HVAC systém	16
2.1.2 Kompresor	18
2.1.3 Chlazení elektrických zařízení	18
2.1.3.1 Ventilátory	19
2.1.3.2 Čerpadla.....	20
2.1.4 Spotřeby napájené z nabíječe	21
2.2 PROVOZNÍ REŽIMY	22
2.2.1 Jízda.....	23
2.2.1.1 Manuální řízení.....	23
2.2.1.2 Automatické řízení	23
2.2.2 Brzda	24
2.2.2.1 Pneumatická přímočinná brzda.....	24
2.2.2.2 Pneumatická samočinná brzda.....	24
2.2.2.3 Elektrodynamická.....	25
2.2.3 Aktivní odstavení.....	25
3 MĚŘENÍ SPOTŘEB JEDNOPODLAŽNÍ ELEKTRICKÉ JEDNOTKY	26
3.1 POPIS MĚŘENÉ JEDNOTKY.....	26
3.2 PRINCIP MĚŘENÍ	27
3.3 SCHÉMA ZAPOJENÍ POMOCNÝCH SPOTŘEB NA JEDNOTLIVÝCH MĚNÍČÍCH	28
3.3.1 Vůz HV5.....	30
3.3.2 Vůz VV5	30
3.3.3 Vůz VV6.....	31
3.3.4 Vůz HV6.....	31
3.4 MĚŘENÍ SPOTŘEBY TOPENÍ PŘI DC NAPÁJENÍ A ZA STÁNÍ VOZIDLA.....	31
3.4.1 Vůz HV5.....	32
3.4.2 Vůz VV5	33
3.4.3 Vůz VV6	33
3.4.4 Vůz HV6.....	33
3.4.5 Srovnání výkonů topnic salonu.....	33
3.5 MĚŘENÍ SPOTŘEB POMOCNÝCH POHONŮ ZA JÍZDY PŘI DC NAPÁJENÍ.....	39
3.5.1 Spotřeba měniče U79.....	39
3.5.1.1 Vůz HV5.....	39
3.5.1.2 Vůz VV5.....	40
3.5.1.3 Vůz VV6.....	41
3.5.1.4 Vůz HV6.....	41
3.5.2 Spotřeba měniče U77 - kompresor	42
3.5.2.1 Zakázaná rekuperace	42
3.5.2.2 Povolená rekuperace.....	43
3.5.3 Spotřeba měniče U76.....	45
3.5.3.1 Vůz HV5.....	45
3.5.3.2 Vůz VV5.....	45
3.5.3.3 Vůz HV6.....	45
3.5.4 Porovnání průběhů spotřeb kompresoru a ventilátoru odporníku	50

3.5.5	Spotřeba měniče U50.....	51
3.6	VYHODNOCENÍ SPOTŘEBY ENERGIE	52
4	SIMULAČNÍ MODEL POMOCNÝCH SPOTŘEB	54
4.1	SIMULACE SPOTŘEBY ELEKTRICKÉHO TOPENÍ	54
4.2	SIMULACE SPOTŘEB POMOCNÝCH POHONŮ	59
5	MOŽNOSTI OPTIMALIZACE SPOTŘEBY	63
	ZÁVĚR.....	64
	SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ.....	66

Úvod

V dnešní době roste přeprava pomocí automobilové osobní dopravy. To bohužel přináší vyšší emise CO₂. Silniční doprava představuje největší část v procentuálním rozdělení emisí. V roce 2016 dosahovala na hodnotu 72 procent. A jelikož se Evropská unie zavázala Pařížskou dohodou ke snížení emisí skleníkových plynů do roku 2030 alespoň o 40 procent (oproti roku 1990), tak se nabízí možnost většího využití elektromobilů či elektrických vlaků. Železniční doprava má pouze půl procentní podíl na emisích, což je oproti silniční dopravě opravdu malá hodnota. A s ohledem na skutečnost, že se v budoucnu bude více využívat výroba elektrické energie z obnovitelných zdrojů, tak by se elektrický vlak jevil jako vhodné řešení většího využití. Jenže je také důležité řešit i ekonomickou stránku věci. A vzhledem k tomu, že cena za elektrickou energii pořád roste, tak je zapotřebí snížit spotřebu vlaku, a to nejen optimalizací trakční části vozidla, ale i optimalizací pomocných zařízení (pomocných pohonů) menšího výkonu. [31]

Z tohoto důvodu je předkládaná práce zaměřena na analýzu spotřeb pomocných pohonů elektrického vlaku. Práce je rozdělena do několika kapitol. První kapitola slouží k seznámení a shrnutí dosavadních faktů o současném stavu spotřeby pomocných zařízení. Druhá kapitola popisuje druhy pomocných spotřeb, které jsou nezbytné, ať už z hlediska správné funkce vlaku nebo komfortu pro cestující. Třetí kapitolou začíná praktická část práce, kde dochází k měření výkonů pomocných a primárních měničů elektrické jednotky při stejnosměrném napájení. V této části je zprvu věnována pozornost vytápění vozů, a poté spotřebě pomocných pohonů. Ve čtvrté kapitole jsou provedeny simulace, které slouží pro detailnější analýzu zařízení z předešlé kapitoly. Poslední kapitola se zaměřuje na možnosti optimalizace spotřeby.

Práce byla měřena ve Škoda Transportation a.s., kde neproběhla v minulosti žádná měření zaměřená výhradně na spotřebu pomocných pohonů. Prováděla se pouze zkouška klimatizace, která byla složena ze zkoušky předchlazování a regulace bez simulace tepelného zatížení, a poté se simulací tepelného zatížení, což definuje sluneční záření či obsazení vozidla. Proto je zapotřebí analyzovat pomocné pohony pomocí měření, a to nejen jejich spotřeby elektrické energie, ale i například pracovní cykly (spínání, odpínání) nebo obecně jejich chování, které se ukáže nejlépe během provozních režimů vlaku. [4]

Na základě analýzy současného stavu uvedeného v předchozím odstavci byly vytýčeny následující cíle práce:

- 1) Seznámení a shrnutí dosavadních faktů spotřeby pomocných zařízení.
- 2) Rozbor pomocných spotřeb a provozních režimů vlaku.
- 3) Změření a vyhodnocení odebíraných výkonů z pomocných měničů napájející pomocné spotřeby elektrické jednotky.
- 4) Návrh simulačního modelu pomocných zařízení.
- 5) Vytipování možných optimalizací, které vedou ke snížení celkové spotřeby pomocných zařízení.

Seznam symbolů a zkratek

HVAC.....	Systém topení klimatizace a vzduchotechniky (Heating, Ventilation and Air Conditioning)
I/O.....	Vstup/Výstup (Input/Output)
DC.....	Stejnoseměrný proud (Direct Current)
AC.....	Střídavý proud (Alternating Current)
ATC	Systém automatického řízení (Automatic Train Control)
S.....	Souhlas
J.....	Jízda
V	Výběh
BE.....	Brzda elektrodynamická
BP	Brzda elektropneumatická
R	Rychlobrzda
CRV	Centrální regulátor vozidla
AVV	Automatické vedení vlaku
HV5, HV6.....	Hlavové vozy
VV5, VV6.....	Vložené vozy
VCU.....	Řídicí vozidlová jednotka (Vehicle Control Unit)
DISMON	Diagnostický program
P.....	Činný výkon [W]
S.....	Zdánlivý výkon [VA]
t.....	Čas [s]
v	Rychlost vozidla [km/h]
θ	Vnitřní teplota vozu [°C]

1 Současný stav poznání

V současné době je železnice v České republice elektrifikována téměř z jedné třetiny. Do budoucna by se toto číslo mělo zvyšovat, a to zejména z ekologického hlediska. Při řešení emisí CO₂ má železnice nejlepší výsledky v porovnání s leteckou a silniční dopravou. Na tento fakt by se měl v budoucnu brát zřetel, pokud chceme zmírnit globální oteplování Země. Samozřejmě s uvažováním výroby elektrické energie z přívětivějších zdrojů než ze spalovacích elektráren. Dále dochází s požadavkem vyšších rychlostí vlaků ke zvýšení jejich jmenovitého výkonu. Tyto trakční výkony musí pokrýt nejen výkon napájecích stanic, ale i trakční vedení musí být schopno přenášet zvyšující se výkony. Proto se do budoucna uvažuje o jednotném systému napájení, tedy o přestavbě železničních tratí se stejnosměrným napětím 3 kV na systém s napětím 25 kV, 50 Hz. U tohoto systému je možno umisťovat napájecí stanice dál od sebe, využít menší průřez vedení (lehčí vedení) a mít menší ztráty v trolejovém vedení. S rostoucím počtem elektrifikovaných tratí a množstvím přenášeného výkonu dochází samozřejmě k větší spotřebě elektrické energie, jejíž cena se každým rokem zvyšuje. Cena trakční energie pro rok 2019, kterou dopravci platily, byla sjednána na 2394,93 Kč/MWh. Z tohoto důvodu je nutné snížit spotřebu elektrické energie vlaku, a to nejen pomocí systémů pro optimalizaci jízdy vlaku nebo rekuperace, ale také pomocí optimalizování spotřeby ostatních částí vozidla. V dnešní době bylo provedeno několik studií o zlepšení komfortu pro cestující a zároveň o snížení spotřeby energie vlaku. Jak již bylo řečeno dříve, tak trakční část vlaku, spotřebuje nejvíce elektrické energie. Ale pomocné spotřeby mají v celkové spotřebě dost velké slovo. Spotřeba energie se pohybuje v rozmezí 15 % až 50 % z celkové spotřeby vlaku. Mezinárodní železniční unie u HVAC systému uvádí, že tvoří až 80 % z celkových pomocných spotřeb. U vlaků se využívá mnoho konfigurací HVAC systémů. Například Knorr-Bremse nabízí konfiguraci HVAC systému s tepelnými čerpadly. Uvádí, že tento způsob vytápění, v rozsahu teplot -25 °C až 16 °C, spotřebuje daleko méně elektrické energie než konfigurace s konvekčními topnicemi. Ke snížení spotřeby HVAC systému se navrhuje několik způsobů. Například využití nových chladiv, které jsou testovány. Je to např. chladivo R744, což je kapalný oxid uhličitý. A předběžné výsledky napovídají tomu, že se užitím sníží nejen spotřeba elektrické energie, ale také emise skleníkových plynů. Dále se navrhuje inteligentnější řízení, kde se například podle počtu cestujících nastaví přívod čerstvého vzduchu (očekávání snížení spotřeby HVAC o 13 %) nebo se přesněji dle potřeb cestujících reguluje teplota. [23] [24] [27] [28] [29] [30]

V předchozím odstavci byl představen současný stav poznání, ze kterého je usouzeno, že tato problematika zatím nemá příliš rozsáhlé informace. Další důvod pro vybrání této práce je takový, že ve Škoda Transportation a.s. neproběhlo dosud měření, díky kterému by bylo možné detailněji analyzovat pomocné zařízení vlaku. Z těchto poznatků se cíle práce zaměřují na proměření pomocných zařízení, jejichž elektrická spotřeba je v celkovém součtu znatelná. Je zde vyhodnocována nejen elektrická spotřeba, ale také jejich chování během provozu. K tomu značně přispívá i simulační model, který se věnuje analýze spotřebičů. V práci nechybí ani vytipování možných optimalizací, které vedou ke snížení spotřeby elektrické energie.

2 Typické spotřeby elektrického vlaku

Když se řekne spotřeba vozidla, tak si asi každý představí kolik „energie“ spotřebuje motor, který vozidlo pohání. U automobilů je při jeho koupi běžná věc, kdy se ptáme na parametr, kolik litrů pohonných hmot spotřebuje vůz na sto kilometrů. A u elektrického vlaku je to podobné, avšak zde tvoří pohon vozidla velká řada elektrických pohonů, a to v dnešní době zejména s asynchronními motory. Poté celkový součet výkonů jednotlivých pohonů udává celkový instalovaný výkon vlaku. Samozřejmě tento obrovský výkon vlaku tvoří největší spotřebu elektrické energie. Ale celková spotřeba energie zahrnuje i daleko více spotřeb. Tyto spotřeby jsou sice menšího výkonu, ale za to je jich na vlaku relativně velké množství. Lze je nazývat jako pomocné spotřeby vozidla. A právě v této kapitole budou popsány pomocné spotřeby, které jsou nejčastěji napájeny z tzv. pomocných měničů.

2.1 Druhy pomocných spotřeb

2.1.1 HVAC systém

V dnešní době se často řeší snižování množství emisí u automobilů. A proto se jeví jako lepší varianta elektrická trakce. Aby lidé více využívali hromadnou dopravu, musí se jim nabídnout prvotřídní komfort. Tím se kladou čím dál tím větší nároky na výrobce kolejových vozidel, které musí zajistit několik požadavků. První z nich je ideální teplota ve vozidle během všech ročních období. U starších vlakových souprav většinou nikdy není ideální vnitřní teplota. A to je způsobené několika faktory. První z nich je únik tepla daný konstrukcí soupravy. Teplo uniká otevřenými dveřmi ve stanici, okny, přechody mezi vagony nebo jednoduše celou konstrukcí vagonů. Další faktor je jednoznačně princip celého vlaku. Totiž tažnou sílu obstarává pouze lokomotiva, která táhne několik vagonů za sebou. Při dojetí na konečnou stanici se musí lokomotiva odpojit a připojit na druhou stranu vlaku, aby mohl vlak odjet opačným směrem. A jelikož je topení napájeno z lokomotivy, je po celou dobu odpojení vypnuto. Další příčina je rozhodně málo propracovaný regulační systém vytápění. [3]

Na druhou stranu v letních podmínkách není přítomna klimatizace a vagony jsou poté hodně vyhřáté od slunečních paprsků. Tepelná pohoda ale není jediným požadavkem, musí se také zajistit patřičná kvalita vzduchu, a to jak z hlediska čistoty, tak i vlhkosti. Hlavně

z dřívějších dob jsou známy vlaky, kde se zajišťovala obměna vzduchu pomocí otevírání oken. S touto variantou ale vznikaly určité problémy. Například každý nesnese průvan vanoucí na lidi, kteří sedí za člověkem, který okno otevřel. Navíc vzduch by měl splňovat určité hygienické podmínky, tedy měl by být opravdu čistý bez různých nečistot. [2] [3] [4]

Z tohoto pohledu jsou nové elektrické jednotky vyráběny s nemožností otevírání oken. Mají automaticky uzavíratelné dveře. Přechody mezi vozy jsou zabezpečené před únikem tepla a jsou také vytápěny. Elektrické jednotky jsou vyráběny s dvěma hlavovými vozy, a tak odpadá přepojování lokomotivy. Tento problém je vyřešen i na vlcích typu push-pull, kde lokomotiva celou soupravu táhne nebo tlačí. Strojvedoucí poté řídí vlak z lokomotivy nebo z řídicího vozu, který je umístěn na druhém konci vlaku. A hlavně mají kvalitní systém úpravy vnitřního vzduchu a regulace teploty. Tento systém se nazývá HVAC, a patří jednoznačně mezi největší pomocné spotřeby. Zkratka systému vychází z anglického názvu „Heating, Ventilation and Air Conditioning“. Jedná se tedy o komplexní systém, který dokáže určitý prostor vytápět, větrat a ochlazovat. Celý systém zahrnuje teplovzdušný, konvekční a chladicí způsob. Elektrické jednotky jsou vybaveny agregátem, který je umístěn na střeše každého vozu. V letních podmínkách plní agregát funkci klimatizace, kde využívá fyzikálních principů komprese, kondenzace a expanze. V zimních podmínkách je vytápění kombinováno pomocí agregátu a odporových topnic, které jsou ve větším počtu napájeny stejnosměrným napětím 600 V, než střídavým napětím 400 V. Samotný agregát využívá také soustavu topných registrů, které ohřívají vzduch. Dále systém zahrnuje kanál zabudovaný ve stropě vozu, který rozvádí, ať už ochlazený či ohřátý vzduch po voze. Samotné větrání je způsobeno nasáváním čerstvého vzduchu přes čistící mřížku a filtr. Při funkci agregátu se tak nasává vnitřní a vnější vzduch a dále se zpracovává. Systém také zahrnuje několik odsávacích ventilátorů, který zajišťují odvedení odpadního vzduchu ven z vozidla. Celou tuto skupinu řídí regulační systém, který zajišťuje ve vozidle požadovanou teplotu. Tuto teplotu může nastavit personál na displeji, který je společný pro všechny vozy. Strojvedoucí má k dispozici svůj vlastní HVAC agregát s menším výkonem, aby si mohl regulovat teplotu podle svého uvážení. HVAC systém umožňuje i zvláštní režimy, kdy je elektrická jednotka na pár hodin odstavena. Jedná se o režimy předchlazování a předtápění. U prvně zmiňovaného režimu dokáže klimatizace ochladit interiér vozu z pevně dané hladiny teploty na definovanou teplotu za definovaný čas. U předtápění je situace podobná, pokud dojde během odstavení k poklesu teploty pod

určitou hladinu, systém sám sepne vytápění a teplota vyroste na definovanou mez. [2] [3] [4]

2.1.2 Kompresor

Kompresor je zařízení, které napájí pneumatické obvody vlaku a zajišťuje v nich požadovaný tlak. U kolejových vozidel je více druhů brzd. Mezi nejdůležitější patří brzdy mechanické, které spoléhají na stlačený vzduch. Kromě brzd ovládá stlačený vzduch i jiné důležité zařízení na vozidle. Používá se pro řízení vzduchového vypružení, toalety, houkaček, píšťal, tlakových spínačů, přepojovačů, sedadel strojvedoucího, pískovacího zařízení, mazacího zařízení okolků či ke zvednutí sběračů. Dalšími spotřebami mohou u elektrického vlaku být např. dveře, stěrače a spráhla, které jsou ovládány elektricky (u většiny dnešních vozidel). Zrcátka jsou nahrazena kamerovým systémem. Vzduch může být také využíván k profouknutí odlučovacích mřížek, které brání například k vniknutí větších nečistot ze železnice do míst, kde se nasává vzduch pro chlazení trakčních motorů. Kompresory jsou konstruovány jako pístové či rotační. Velmi důležité je udržování vzduchu v absolutní čistotě. Kompresor si při své funkci nasává atmosférický vzduch, který obsahuje určité množství nečistot, ať už je to prach či vlhkost. Pro správné využití vzduchu musí kompresor obsahovat filtrační systém, který zaručí, že je vzduch suchý a čistý. Suchý vzduch je u kolejových aplikací důležitý, aby v zimních podmínkách při zkapalnění nezamrzal. Kompresory dále potřebují pro svoji činnost olej, který musí splnit také požadavek na čistotu, jelikož smícháním s nečistotami ztrácí svoje mazací schopnosti. Na trhu se již objevují bezolejové kompresory, které pro svoji funkčnost nepotřebují olej a ani olejové filtry. Například firma Dürr Technik nabízí tuto variantu kompresorů, které jsou šetrné k životnímu prostředí, a mají nízkou spotřebu energie. Dále švédská firma Atlas Copco si dává záležet na nízké hlučnosti, menší zástavbě kompresorové jednotky, ale i menší hmotnosti, která snižuje provozní náklady. [6] [7] [8] [9]

2.1.3 Chlazení elektrických zařízení

Důležitou vlastností pro správnou funkci elektrických strojů a přístrojů je odvod tepelných ztrát do ovzduší. Tyto ztráty mají několik zdrojů:

- Ztráty vedením proudu ve vodičích, které jsou úměrné kvadrátu proudu.

- Ztráty v magnetických obvodech, např. trakčních motorů, kde jsou ztráty hysterezní (závisí na velikosti magnetické indukce a jsou úměrné frekvenci) a vířivými proudy (závisí na velikosti magnetické indukce a jsou úměrné kvadrátu frekvence).
- Ztráty mechanické vznikající například v převodovkách.
- Dále ztráty kompresní (vznik při činnosti kompresorů), ale také dielektrické u kondenzátorů.

Odvod tepla může být zajištěn dvěma skupenstvími, buď za pomoci vzduchu (plynné) nebo kapaliny. Z tab. 2.1 můžeme vidět porovnání tepelných vlastností různých chladících médií. Vzduch má oproti vodě a glycerinu daleko menší měrné teplo a měrnou chladivost. To jsou parametry, které ukazují, že při využití vzduchu se musí použít daleko větší množství. Navíc u chlazení pomocí vzduchu se musí zajistit, aby se do chlazeného zařízení nedostaly nečistoty. Ať už se jedná o vodu či sněh, které mohou vytvořit zkrat, tak i o prachové částice. Vodní chlazení má tedy oproti vzduchu výhodu většího chladícího účinku a menších rozměrů, jelikož u vzduchového chlazení se musí zajistit mezery mezi částmi zařízení pro proudění vzduchu. Nejvyšší teploty ploch, které musíme uchladit, jsou definovány např. třídou izolace motorů, maximální teplotou polovodičů nebo chladičem (např. teplota varu vody). [9] [13]

Tab. 2.1 Tepelné vlastnosti chladících médií. (převzato z [9])

Médium	Vzduch při 40 °C	Voda+glycerin poměr 1:1	Trafo olej při 80 °C	Rozměr
Měrná hmotnost γ	1,13	1260	984	kg/m ³
Měrné teplo C_p	1	3280	2100	J/kg/K
Měrná chladivost α	50 až 80 při 5 až 15 m/s	380	2100	W/m ² /K

2.1.3.1 Ventilátory

Na kolejových vozidlech jsou ventilátory používány ke chlazení trakčních motorů, odporů, transformátorů, měničů a ostatních zařízení. Slouží pro jejich přímé nucené vzduchové chlazení, ale také pro chlazení výměníků tepla, kde u transformátorů dochází

k cirkulaci oleje. U měničů poté bývá zřízena vodní cirkulace. Elektrická zařízení jsou umístována do skříně, která je nazývána kontejner. U dnešních vozidel jsou kontejnery montovány na střechu, jelikož s ohledem na nízkopodlažnost vozidel není prostor montáže pod podlahou, jak tomu bývalo u starších kolejových vozidel. Součástí toho kontejneru bývá vlastní ventilátor, který zajistí průchod vzduchu kolem vnitřních zařízení, například ventilátor kontejneru pomocných pohonů. Zařízení v tomto kontejneru mohou být např. třífázové střídače, nabíječ, tlumivky, kondenzátory a jiná drobná zařízení (např. I/O moduly). Ventilátory jsou automaticky řízeny v závislosti na teplotě chlazeného zařízení či na definované hodnotu proudu (měniče nebo zařízení). [9]

Dříve u starších vozidel byly pomocné spotřeby napájeny stejnosměrnými motory, které byly řízeny z pulzních měničů. Tyto motory již nejsou využívány, jelikož u těchto motorů dochází k opotřebování kartáčů a jsou tedy složitější na údržbu. Tím dostaly prostor asynchronní motory, které nepotřebují nijak zvláštní údržbu, a je zde možnost připínat motory s malým výkonem (stejnosměrné motory měly daleko větší výkon) přímo stykači ke střídači s výstupním napětím 3x400 V. U některých ventilátorů nestačí pouze napájecí napětí 3x400 V s frekvencí 50 Hz, abychom zajistili jejich plynulou regulaci otáček, proto je zapotřebí proměnného kmitočtu a napětí na výstupu střídače pomocných pohonů. Tyto střídače jsou napájeny ze stejnosměrné sítě 600 V. Tato síť může být u DC napájení 3 kV napájena dvěma způsoby. Přes pulzní měnič, který zamezí kolísání trolejového napětí, nebo přes střídač, transformátor (který zajistí galvanické oddělení pomocné části), usměřňovač a vyhlazovací filtr. U AC napájení 25 kV (50 Hz) je síť napájena z vlastního sekundárního vinutí trakčního transformátoru, poté přes pulzní usměřňovač a vyhlazovací filtr. Vícesystémové jednotky mají napájení stejnosměrné sítě složitější, kde jsou před galvanickým oddělením zakomponovány rezonanční měniče, které zamezují velkým spínacím ztrátám. [9]

2.1.3.2 Čerpadla

U větších výkonů transformátorů a velkých tlumivek se využívá kapalinové chlazení s nuceným oběhem pomocí čerpadla. Používá se transformátorový olej nebo chladící nehořlavé kapaliny. Jak již bylo řečeno dříve, u měničů se využívá čerpadlo s oběhem vody. Většinou jsou pro čerpadla využívány třífázové asynchronní motory. Při výpadku čerpadla vodou chlazených měničů může být vozidlo v provozu jen několik minut. Stejná

situace je i u měničů chlazených vzduchem. Pakliže dojde k výpadku ventilátoru, ale čerpadlo s vodním chlazením měničů funguje, může provoz při sníženém výkonu trvat desítky minut, stejně tak jako u vzduchem chlazených trakčních motorů. Doba, se kterou můžeme při výpadku čerpadla nebo ventilátoru transformátoru (se sníženým výkonem) jezdit, trvá velmi dlouho. Většinou se projektují vozidla tak, aby čerpadla byly v provozu nepřetržitě. [9]

2.1.4 Spotřeby napájené z nabíječe

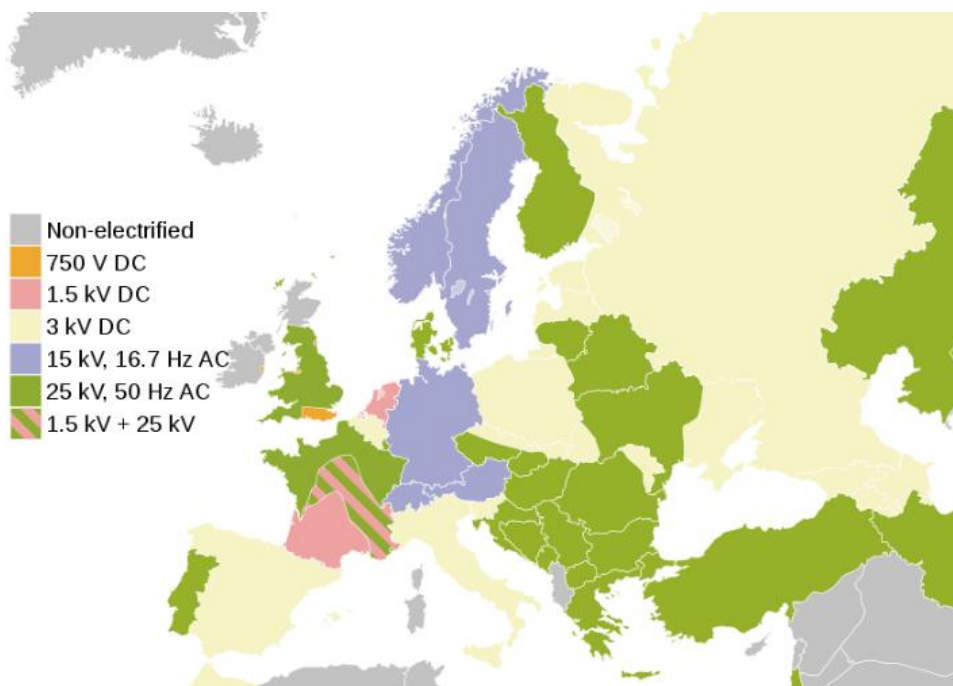
Nabíječ je další typ z pomocných měničů, který zásobuje energií vozidlovou síť (24 V) a nabíjí baterii vlaku. Baterie napájí vozidlovou síť v době, kdy není připojen sběrač k troleji (vozidlo není napájeno z troleje). Dá se říct, že nabíječ je takový menší kontejner, který může v sobě obsahovat další měnič pro jiné potřeby. Například se využívá pulzního měniče pro napájení akumulátorové baterie a vozidlové sítě, a jednofázového napěťového střídače, který napájí zásuvky pro cestující společně se zásuvkami pro obsluhu. Poté se celý sestavě říká nabíječ a může být umístěn do většího kontejneru pomocných pohonů. Nabíječ je řízen takovým způsobem, aby zajistil omezení svého výstupního napětí a nabíjecího proudu. Jako druh baterií se využívají olověné nebo nikel-kadmiové. Olověné jsou definované menším vnitřním odporem a dokážou dodat větší napětí. Nikel-kadmiové lépe snesou hluboké vybití, včetně delšího ponechání v tomto stavu. Hladiny jmenovitých napětí baterií, které se na vozidlech využívají jsou 24, 48 V a 110 V. Baterie jsou považovány za důležitý pomocný zdroj, který pomáhá po odstavení dostat vozidlo znovu do provozu. Napájí přes vozidlovou síť např. pomocný kompresor, který se využije v případě, že vozidlo nemá zvednutý sběrač. Tento kompresor dodá vzduch sběrači v menším množství s menším tlakem. V této době, kdy baterie není dobíjena, tvoří pomocný kompresor pro baterii velkou zátěž. Z vozidlové sítě by měly být napájeny zařízení, které mají být co nejvíce nezávislé na napájení z troleje. Je to například ovládání kolejnicových a pneumatických brzd, houkačky, mazání okolků, různé stykače, přepojovače či hlavní vypínač. Dále návěstní opakovač, což je zařízení, které dokáže strojvedoucímu zobrazovat pokyny z návěstidla trati, aby strojvedoucí věděl dopředu (ještě před jeho zaregistrováním na trati), jestli má např. snížit rychlost vozidla. Návěstní opakovač je umístěn na stanovišti, například zabudováním do řídicího pultu. Z vozidlové sítě jsou napájena i další zařízení na stanovišti, jako jsou systémy automatického řízení

vlaku (ATC), tachograf, protipožární ústředny, radiostanice, displeje, řídicí počítače, zajištění čerstvého vzduchu, vnitřní osvětlení a mnoho dalších. [9] [14]

2.2 Provozní režimy

S postupně rostoucím výkonem vozidel a vzdáleností trolejových vedení se zvyšovalo i napájecí napětí. Toho si lze všimnout v obr. 2.2, kde jsou znázorněny hladiny napájecích napětí obou systémů. Začneme se starším systémem napájení, stejnosměrným. V dnešní době je nejběžnější a nejvyšší hladina napětí 3 kV, které je také využíváno u nás v ČR (obr. 2.1). Toto napětí nebylo zvyšováno, jelikož se dříve využívaly stejnosměrné motory s komutátorem. A nebylo hospodárné vyvíjet motory, které by měly pro potřebný výkon, napětí na komutátoru větší než 1,5 kV. Proto se musely tvořit motorové skupiny o dvou motorech v sérii. [15]

Se střídavým systémem napájení přišla nutnost trakčního transformátoru na vozidle, ale také se mohly přenášet vyšší výkony, které neměly, na dlouhých úsecích od napájecích stanic, takové ztráty. V Evropě jsou dle obr. 2.1 využívány nejvíce dvě hladiny napětí. V Německu, Rakousku, Švýcarsku, Norsku a Švédsku je využíváno napětí 15 kV, 50/3 Hz. Tato speciální hodnota frekvence je dána historicky s použitím komutátorových střídavých motorů. Více států Evropy, včetně České republiky využívá napětí 25 kV, 50 Hz. [15]



Obr. 2.1 Hladiny napájecích systémů v Evropě. (převzato z [16])

2.2.1 Jízda

U režimu jízdy má strojvedoucí k dispozici ovladač, kterým dokáže navolit režim manuálního řízení, automatické regulace rychlosti nebo cílového brzdění. Změna polohy přepínače se může provést i během jízdy. Některé elektrické jednotky využívají z automatického řízení pouze automatickou regulaci rychlosti. U těchto vozidel se poté nevyužívá cílového brzdění systému AVV z podkapitoly automatického řízení. [18]

2.2.1.1 Manuální řízení

Manuální režim se většinou využívá pouze k posunu vozidla nebo při špatných adhezních podmínkách. Strojvedoucí využívá při řízení poloh hlavní jízdni páky a dosažení určité rychlosti vozidla či jeho zastavení, je pouze v jeho režii. Tato jízdni páka má polohy (od předu) S-souhlas, J-jízda, V-výběh (základní pozice), BE-elektrodynamická brzda, BP-elektropneumatická brzda, R-rychlobrzda, kde pouze polohy J, V a R jsou aretované. Při brzdění by měl strojvedoucí, využívat polohu BE, čímž se šetří nejen třecí brzda, ale také je to hospodárnější způsob (při rekuperaci). Pakliže nestačí brzdící účinek elektrodynamické brzdy je automaticky doplňován brzdou pneumatickou. Pokud je navolena poloha BP, tak vlak využívá automaticky elektrodynamickou brzdou až do dosažení jejího nejvyššího účinku, a poté začíná reagovat brzda pneumatická. V tomto případě např. u vlakové soupravy tažené lokomotivou brzdí lokomotiva elektrodynamickou brzdou a souprava brzdou pneumatickou. Samozřejmě u elektrické jednotky, kde některé vozy nemají hnací pohon, brzdí automaticky brzda pneumatická. [18] [19]

2.2.1.2 Automatické řízení

U automatického režimu se využívá systém automatického vedení vlaku, což je automatizační systém, používaný v ČR pro řízení kolejových vozidel. Tento systém se skládá ze dvou hlavních částí, CRV (centrální regulátor vozidla) a AVV (automatické vedení vlaku). CRV umožní vozidlu se co nejrychleji dostat na požadovanou rychlost (k dispozici klávesnice pro navolení rychlosti), a poté v ní pokračovat s přesností 1 km/h. Dále jeho úkolem je řídit brzdy a zajistit přednost brzdy elektrodynamické před brzdou pneumatickou samočinnou. AVV zajišťuje automatické cílové brzdění, kde vozidlo dokáže zastavit s přesností 2 m. Obecně cílové brzdění dokáže zajistit definovanou rychlost vozidla v definovaném cíli. Proto pro tento způsob brzdění je důležitá znalost podmínek, jako rychlost, zrychlení a poloha vozidla (je třeba snímat signály z informačních bodů

kolejiště). Dále také poměry železnice (např. znalost jejího sklonu), polohu cíle a předepsanou rychlost v cíli. Vozidlo poté dokáže například automaticky snížit rychlost v úsecích, kde je definovaná rychlost pomocí návěstidel. Také systém sám využívá režimu výběhu, kdy vozidlo svojí vlastní setrvačností např. dojíždí do zastávky. Důležité je říci, že největší prioritu při řízení vozidla má vždy strojvedoucí, který může kdykoliv zasáhnout do automatického řízení a např. snížit rychlost vozidla pomocí hlavní jízdni páky, aniž by musel přepnout režim jízdy do manuálního stavu. Funkčnost celého systému zajistí úsporu elektrické energie vlaku. [17] [18] [19] [20]

2.2.2 Brzda

V této podkapitole jsou vysvětleny druhy brzd, kterými vozidlo brzdí během měření za jízdy. Toto měření je obsahem třetí kapitoly, kde bude pneumatická a elektrodynamická brzda používána v analýze pomocných spotřeb. Z tohoto důvodu je zapotřebí vysvětlit jejich obecné vlastnosti.

2.2.2.1 Pneumatická přímočinná brzda

Přímochinná (přídavná, lokomotivní) brzda je nezákladnější a nejjednodušší varianta z pneumatických brzd. Tato varianta je využívána hlavně pro brzdění hnacího vozu či lokomotivy při její samotné jízdě (např. při manipulaci) nebo pro zajištění vlaku při stání. Hlavní důvod je takový, že pokud by došlo k přerušení potrubí za brzdičem, tak by celá vlaková souprava nemohla brzdit, a poté by musela být zajištěna jinou brzdou, jelikož na vlaku je vždy kombinace několika typů brzd. Brzda zapůsobí při určité hodnotě zvýšením tlaku v brzdových válcích, kde brzda může vyvinout maximální tlak, který je roven hodnotě tlaku v napájecím potrubí. Aby se nemuselo přivádět potrubí přímo na stanoviště strojvedoucího, lze využít elektrický brzdič, který je připojený na elektropneumatický ventil. Ten poté reguluje přepouštění tlaku do brzdových válců. [10] [11] [12]

2.2.2.2 Pneumatická samočinná brzda

Samočinná (průběžná, vlaková) brzda musí být přítomna na všech vozidlech, jelikož dopravní řád drah stanovuje, že pokud je rychlost vlaku vyšší než 40 km/h, musí být brzděn touto brzdou. Tato brzda je skvělé řešení z hlediska bezpečnosti. Brzdu lze zaktivovat několika způsoby. V první řadě dokáže strojvedoucí ze svého stanoviště pomocí hlavní jízdni páky brzdit všechny vozy soupravy včetně hnacího vozu (touto pákou se dá

aktivovat i rychlobrzda, která vyprázdní všechny vzduch z hlavního potrubí a tím vlak zabrzdí). Dále se brzda může aktivovat rukojetí záchranné brzdy z každého vozu soupravy, včetně kabiny, kde má strojvedoucí k dispozici na řídicím pultu ovladač ventilu záchranné brzdy. A důležitou vlastností této brzdy je samočinná aktivace při přetržení soupravy, kdy se automaticky zastaví i utržená část vlaku. [10] [11] [12]

2.2.2.3 Elektrodynamická

Elektrodynamická brzda využívá silového působení mezi magnetickým polem a vodičem, kterým protéká proud. Když se řekne elektrodynamická brzda, tak se většinou myslí brzdění vozidla pomocí trakčních motorů, které se chovají jako generátory a jsou poháněny kinetickou energií vozidla. Vyrobená energie se buď vrací zpět do troleje (rekuperace), nebo se maří v odpornících, kde se mění v teplo. U tohoto brzdění není potřeba zvláštních požadavků na údržbu, jako u brzd třecích, kde se opotřebovávají díly. Dále vznikající teplo v odpornících lze chladit, kdežto vznikající teplo v místě styku ploch je odváděno pouze do brzdových kotoučů. [10] [12]

2.2.3 Aktivní odstavení

Aktivní odstavení je režim, při kterém může být vlak napájen bez přítomnosti strojvedoucího. Vozidlo může mít narozdíl od klasického odstavení zvednutý sběrač. V tomto režimu musí být vozidlo zajištěno potřebnými brzdami a uzamčeno. Strojvedoucí před opuštěním vozidla musí zajistit nutné bezpečnostní podmínky. Při tomto režimu je možné, aby byla v provozu např. klimatizace či vytápění. [22]

3 Měření spotřeb jednopodlažní elektrické jednotky

3.1 Popis měřené jednotky

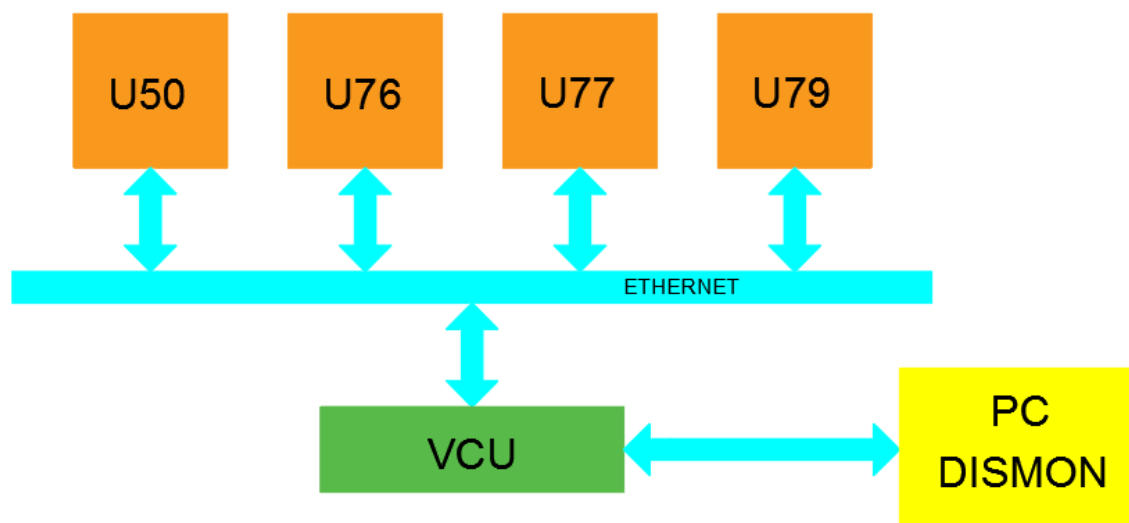
Elektrická jednopodlažní jednotka nese firemní označení 14Ev, jako nástupce předchozích jednotek tohoto typu, a to 7Ev (RegioPanter) a 10Ev (InterPanter). Jedná se o moderní jednotku, určenou pro provoz v regionech na Slovensku s rozchodem 1435 mm. Je navržena a vyrobena tak, aby mohla jezdit jako čtyřvozová nebo třívozová. V plném složení se skládá ze dvou hlavových vozů, pod firemním označením HV5 a HV6, a ze dvou vložených vozů pod označením VV5 a VV6. V tomto počtu vozů je označena drážním úřadem řadou 660, kde první číslice značí, že se jedná o vícesystémovou elektrickou jednotku, tedy že může být napájena střídavým napětím (25 kV, 50 Hz) nebo stejnosměrným napětím (3 kV). U třívozové varianty má řadu 661, a dospěje se k ní odpojením běžného (nehnacího) vozu VV6, který není vybaven žádnými důležitými zařízeními pro funkčnost celé jednotky. Tato jednotka může jet maximální rychlostí 160 km/h s instalovaným výkonem 6x340 kW. [1]



Obr. 3.1 Měřená elektrická jednopodlažní jednotka. (převzato z [1])

3.2 Princip měření

Na obrázku 3.2 je za pomoci blokového schématu znázorněn princip měření. Jsou zde vyznačeny čtyři měřené měniče U50, U76, U77 a U79, které komunikují s řídicí jednotkou VCU (vehicle control unit). Dále byl využit notebook, který byl připojen za pomoci ethernetového kabelu k jednotce VCU.



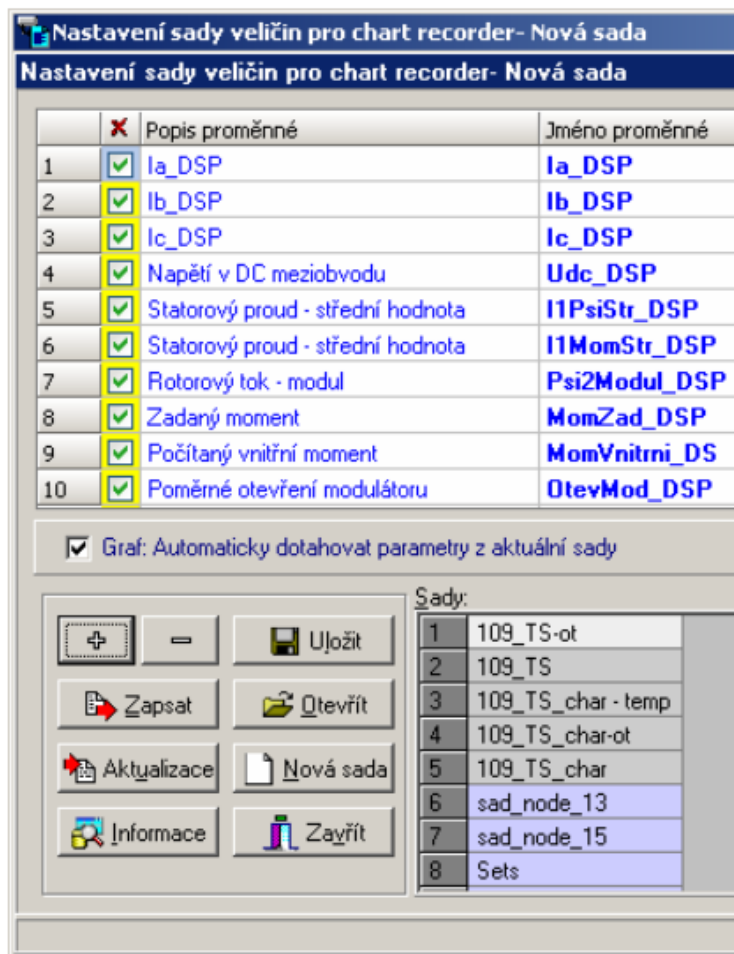
Obr. 3.2 Blokové schéma měření.

VCU je centrální řídicí počítač, který je určen pro použití v kolejových vozidlech. Jeho systém vykonává řídicí povely a zajišťuje komunikaci s ovládacím displejem, klávesnicí strojvedoucího a dalšími podsystemy elektrické jednotky. Dokáže ovládat nebo snímat stavy elektrických zařízení. Strojvedoucí si může na svém stanovišti ovládat jakoukoliv část vlaku, například zablokování jednoho z měničů pro napájení stejnosměrné sítě. Dále komunikuje s vlakovým personálem, traťovou infrastrukturou a s cestujícími. [26]

Notebook byl vybavený diagnostickým firemním programem DISMON, který má přístup k informacím, které souvisí s celkovým řízením vlaku. Tímto programem lze monitorovat průběhy veličin na vozidle a vygenerovat si je v podobě grafů, nebo jako záznam okamžitých hodnot v textovém dokumentu. Před samotným měřením bylo nutné najít jména všech proměnných, které byly během měření zaznamenávány. Dle těchto proměnných bylo zapotřebí v programu nastavit sadu veličin, které se budou vzorkovat v řídicí jednotce VCU. Vzorky byly v tomto měření ukládány s časovým intervalem 50 ms.

Na obrázku 3.3 je ukázáno okno programu DISMON s nastavením sady veličin (sada je pro jiné měření a je pouze ilustrativní). [5]

Při měření pomocných spotřeb bylo zaznamenáváno napětí a proud vždy pro každý měnič. Konkrétně pro pomocné střídače to bylo sdružené výstupní napětí a výstupní fázový proud, dále rychlost vozidla a vnitřní teplota salonu vozu.



Obr. 3.3 Nastavení měřených veličin v podobě proměnných. (převzato z [5])

3.3 Schéma zapojení pomocných spotřeb na jednotlivých měničích

Na následujících schématech této kapitoly je vidět, jaké měniče napájely konkrétní spotřeby na vozech. Primární měniče U50 napájí stejnosměrnou síť vedenou po celém vozidle. Tyto měniče pracují do sítě paralelně, tedy je možnost některý z primárních měničů odpojit za pomoci linkového stykače. Stejnosměrná síť poté napájí všechny pomocné měniče na vozidle, včetně přídatného topení připojeného přímo na 600 V.

Elektrická zařízení znázorněná ve schématech jsou následující:

U50 - primární měnič

U75 - jednofázový střídač

G01 - nabíječ (jednofázový střídač pro napájení zásuvek cestujících a obsluhy, pulzní měnič pro napájení baterie)

U76, U77, U79 - třífázové střídače (600 V - DC/3x400 V - AC)

PT - přídavné topnice

R-ČS - topné dráty čelního skla

BAT - baterie

ZÁS - zásuvky

K - kompresor

V-U6 - ventilátor kontejneru pomocných pohonů

WC - buňka toalet (osušovač rukou a topnice bojleru)

HVAC - klimatizační agregát salonu (hlavové vozy mají navíc agregát pro kabinu strojvedoucího), TOP - topnice podsedáků, wc, přechodu, podlahy, schůdků a mřížky motoru

Č-U5, V-U5 - čerpadlo a ventilátor trakčního kontejneru

Č-U4 - čerpadlo kontejneru pulzního usměrňovače

Č-T - čerpadlo trakčního transformátoru

V-T,U - ventilátor společného výměníku trakčního transformátoru a pulzního usměrňovače

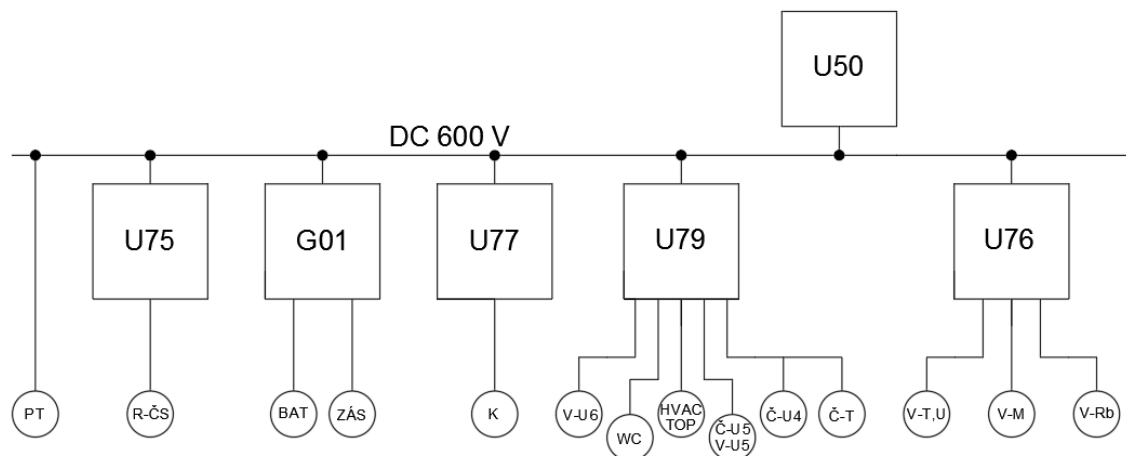
V-M - ventilátor trakčního motoru

V-Rb - ventilátor brzdového odporu

Měření probíhalo při venkovní teplotě 11 °C a zařízení jako jsou vyhřívání čelního skla a mřížky trakčního motoru spínají až v zimních podmínkách, tak tyto spotřeby se mohou vyloučit z měření. Dále nabíječe G01 nebyly jednotlivě měřeny, ale jejich spotřeba se projeví v celkové spotřebě měničů U50.

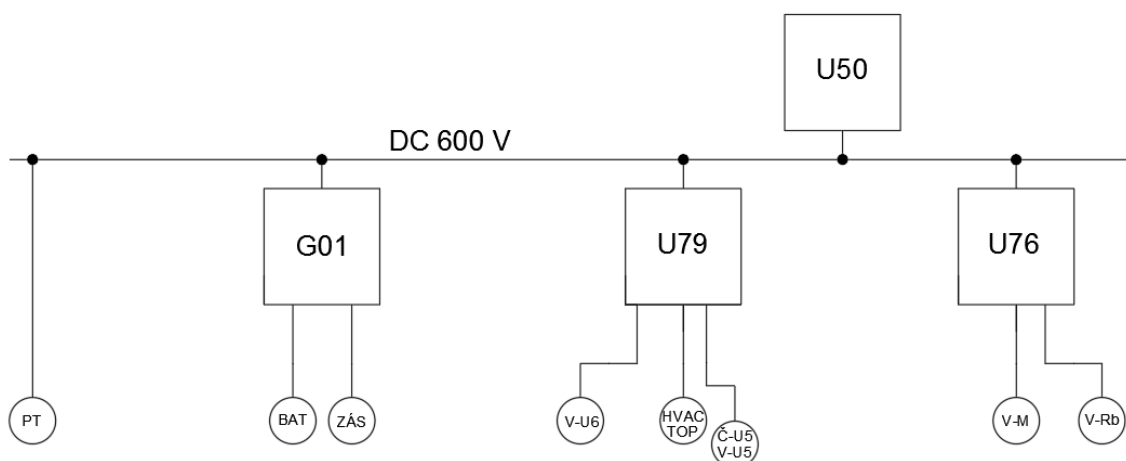
3.3.1 Vůz HV5

Na obr. 3.4 je vidět schéma zapojení spotřebičů vozu HV5. Měnič U50 vytváří stejnosměrnou síť 600 V, na kterou jsou napojeny pomocné měniče napájející pomocná zařízení.



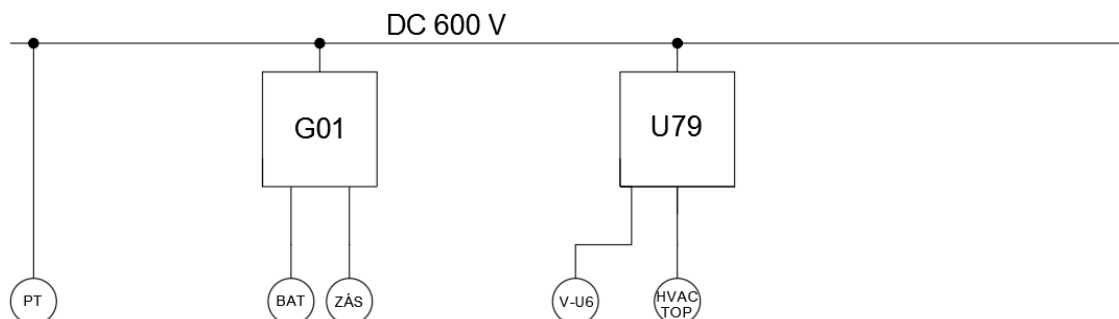
Obr. 3.4 Schématické znázornění spotřeb na vozu HV5.

3.3.2 Vůz VV5



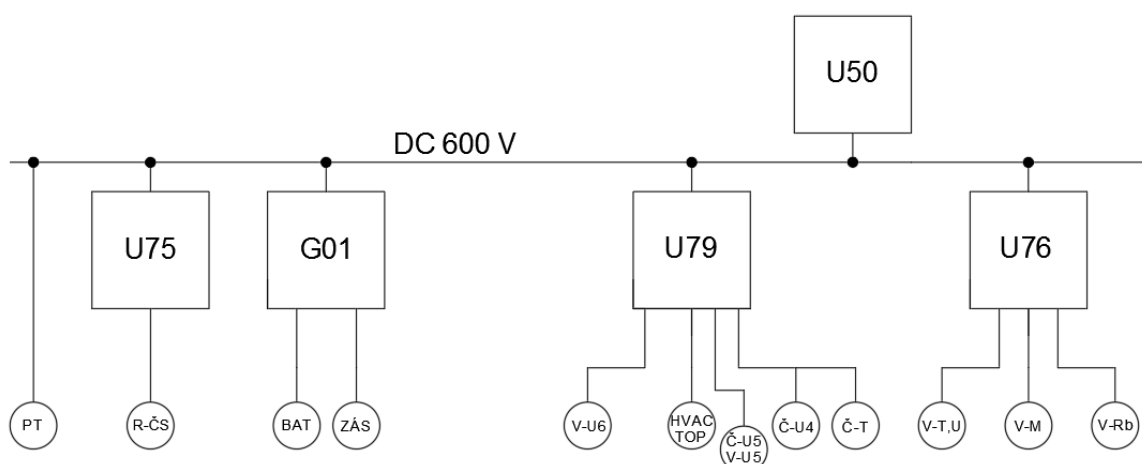
Obr. 3.5 Schématické znázornění spotřeb na vozu VV5.

3.3.3 Vůz VV6



Obr. 3.6 Schématické znázornění spotřeb na vozu VV6.

3.3.4 Vůz HV6



Obr. 3.7 Schématické znázornění spotřeb na vozu HV6.

3.4 Měření spotřeby topení při DC napájení a za stání vozidla

Měření trvalo 2,2 hodiny a elektrická jednotka byla napájena stejnosměrným napětím 3 kV. Byla měřena celá spotřeba měniče U79, na které je připojeno topení využívající AC napětí 400 V a další spotřeby dle schémat. Příkladné topení připojené na DC napětí 600 V se do tohoto nezapočítává, avšak tvoří značnou část topného výkonu celého vozidla. Grafy na obr. 3.8 až 3.11 ukazují závislost odebíraného výkonu na vnitřní teplotě konkrétního vozu. Jestliže se koukneme na počáteční teploty vozů, uvidíme různé hodnoty. Vůz HV5 má teplotu 15 °C, vůz VV5 - 13,5 °C, vůz VV6 - 13 °C a vůz HV6 - 11,5 °C. To

je zapříčiněné sluncem, které svítilo z jedné strany čela vozidla. K rozdílným počátečním teplotám také přispěly časové posuny, kdy se jednotlivě pouštěly měřící okna každého vozu. Byly pouštěny od vozu HV6 k vozu HV5, proto byla počáteční teplota při spuštění měření na voze HV5 nejvyšší. Vůz byl krátkou dobu vytápěn, než započalo jeho měření. Pokud budeme počítat s předpokladem, že prvně bylo spuštěno měření na voze HV6, tak si můžeme odvodit přibližný čas vytopení vozů na teplotu jejich nejvyšší společnou 20,5 °C. Když srovnáme časy uvedené v podkapitolách, tak zjistíme, že hlavové vozy jsou rychleji vytopeny než vložené vozy. To je způsobeno menším vytápěcím prostorem. Při pohledu na obr. 3.8 až 3.11 zjistíme, že grafy vozů nemají jednotnou časovou osu, ale jsou zde krátké časové posuny, které jsou zapříčiněné měřením každého vozu zvlášť.

V grafech jsou oranžovými čarami vyznačeny, jaké spotřeby vždy byly sepnuty. Konstantní odběry přibližně odpovídají odběrům, když bylo topení vypnuto (v grafech označeno „vypnuté vytápění vozu“). Celkové nepřesnosti v měřeních jsou způsobeny nepřesnostmi měřícího systému, kde může vzniknout chyba, která přesahuje hodnotu 1 kVA. To je i důvod nestejně velkých pulzů podsedákových topnic, při porovnání úrovní v grafu „podsedákové topení“ a „HVAC salon+podsedákové topení“. Dále je na začátku všech průběhů vidět strmý nárůst teploty, až do doby, kdy došlo k prvnímu vypnutí celé elektrické jednotky. Následně docházelo k rostoucímu trendu teploty, ale už ne tak strmě. Dále je vidět, že došlo i k dalším vypnutím vozidla, při kterých docházelo k poklesu teplot. Toto vypínání způsobila chyba, která ohlašovala přehřátí usměrňovače. Ten se přehříval kvůli nefunkčnosti jeho ventilátoru, který nebyl spínán vlivem vadného teplotního čidla. Dále je na konci všech grafů patrné méně časté spínání HVAC agregátu salonu i kabiny a také dochází k častějšímu odpínání podsedákových topnic. Vše je způsobené regulací HVAC systému, kde teplota vozidla je nastavena na požadovanou teplotu 20 °C.

Malé skoky výkonu v grafech, které jsou pojmenované termínem „podsedákové topení, nemusely být způsobeny podsedákovými topnicemi, ale mohlo se jednat o spínání registru topnic v HVAC agregátu salonu. V práci je však uvažováno s pravděpodobnější situací, kdy jsou malé skoky způsobeny spínáním podsedákových topnic.

3.4.1 Vůz HV5

Na obr. 3.8 vidíme pulzní spínání topnic, kde největší odběr mají topnice v HVAC agregátu salonu. Rozestup spínání salonu je v intervalu přibližně 1 až 2 minut a doba

sepnutí je 0,5 až 1,5 minuty. Druhý největší odběr odpovídá pravidelnému spínání topnic v HVAC agregátu kabiny v rozmezí 11 až 20 minut. Tento interval je mnohem větší než u topnic salonu, a to z důvodu vytápění daleko menšího prostoru. Samotná doba sepnutého topení kabiny je 1 až 2 minuty. Při první poruše a vypnutí napájení vozidla, dochází během šesti minut, než topení opět bylo sepnuto, k poklesu vnitřní teploty vozu o 1 °C. Během druhého čtyř minutového výpadku topení poklesne teplota o 0,5 °C (většina poklesů v grafech během výpadku vozidla). Doba vytopení vozu je kolem 1,4 hodiny. Od teploty 20,5 °C se teplota zvyšuje jen velmi pomalu, až na konečných 21,5 °C.

3.4.2 Vůz VV5

Na rozdíl od průběhu výkonu hlavových vozů, zde vidíme spínání pouze topnic salonu, jak můžeme vidět v průběhu na obrázku 3.9. Tento vůz je vytopen přibližně za 1,55 hodiny.

3.4.3 Vůz VV6

V průběhu (obr. 3.10) vidíme opět spínání topnic salonu, což je dle pouze zapojeného agregátu salonu správně. Vůz VV6 je vytopen přibližně za 2 hodiny, což je nejdélší čas ze všech vozů. To může být způsobené nižší teplotou uvnitř vozu na začátku měření, ale hlavně nižším výkonem při sepnutí topnic salonu HVAC agregátu (tab. 3.1).

3.4.4 Vůz HV6

Na obr. 3.11 vidíme první široký pulz, kde při spuštění vytápění sepnulo najednou topení salonu i kabiny, což je další důkaz, že měřící okno bylo spuštěno zde jako první. Od tohoto času zjistíme, že se vůz vytopil na teplotu 20,5 °C za 1,5 hodiny. Na tomto jediném vozu nedocházelo k propadům teploty v době vypnutí vozidla. To může být zapříčiněné častějším spínáním HVAC agregátu kabiny, jelikož byly otevřené dveře oddělující stanoviště strojvedoucího a salon pro cestující. Toto častější spínání (interval 1 až 2 minuty) ve srovnání s druhým hlavovým vozem, může být způsobeno počáteční teplotou ve vozu nebo aktivním stanovištěm strojvedoucího.

3.4.5 Srovnání výkonů topnic salonu

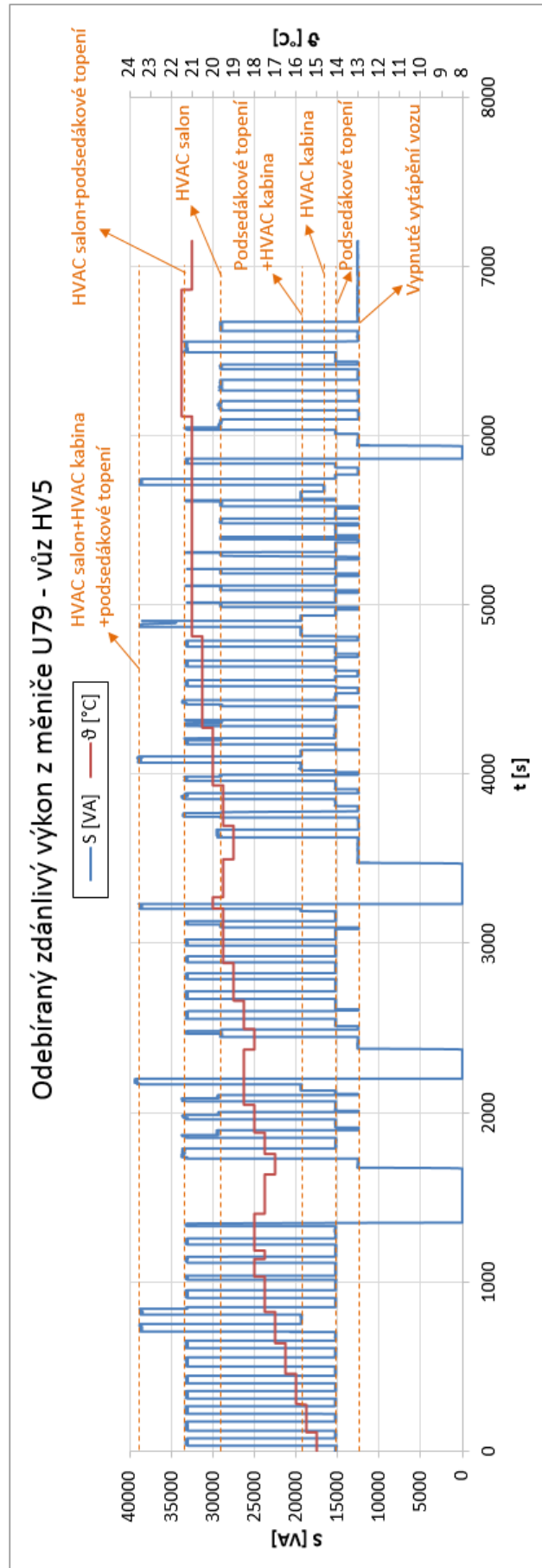
V průbězích topení tvoří pulzní spínání pouze připínání topnic. Jelikož topnice jsou pouze odpory, lze uvažovat činný výkon. V tab. 3.1 jsou z grafů vypsány výkony, které

dosahovaly pulzy topnic salonu. Ve srovnání s předpokladem činného výkonu HVAC agregátu salonu vidíme, že se všechny naměřené výkony vešly do tohoto parametru. Z tabulky je největší výkon topnic salonu na voze HV6. I přes patrně nejnižší teplotu na začátku se vůz stihl v relativně dobrém čase vytopit oproti jiným vozům. Nejrychleji byl vytopený vůz HV5, který začínal s nejvyšší počáteční teplotou. Také k tomuto přispěl i druhý největší výkon topnic salonu. Vložené vozy měly nižší vytápěcí výkon, a vůz VV6, který měl dokonce nejnižší (viz. tabulka), jen stěží vytopil vůz na 20,5 °C s nejhorším časem. Nižší výkon vložených vozů mohl být způsoben z důvodu jiného uspořádání interiéru a tím snadnějším proudění vzduchu. Také připadá možnost, že regulace vytápění nebyla plně odladěna.

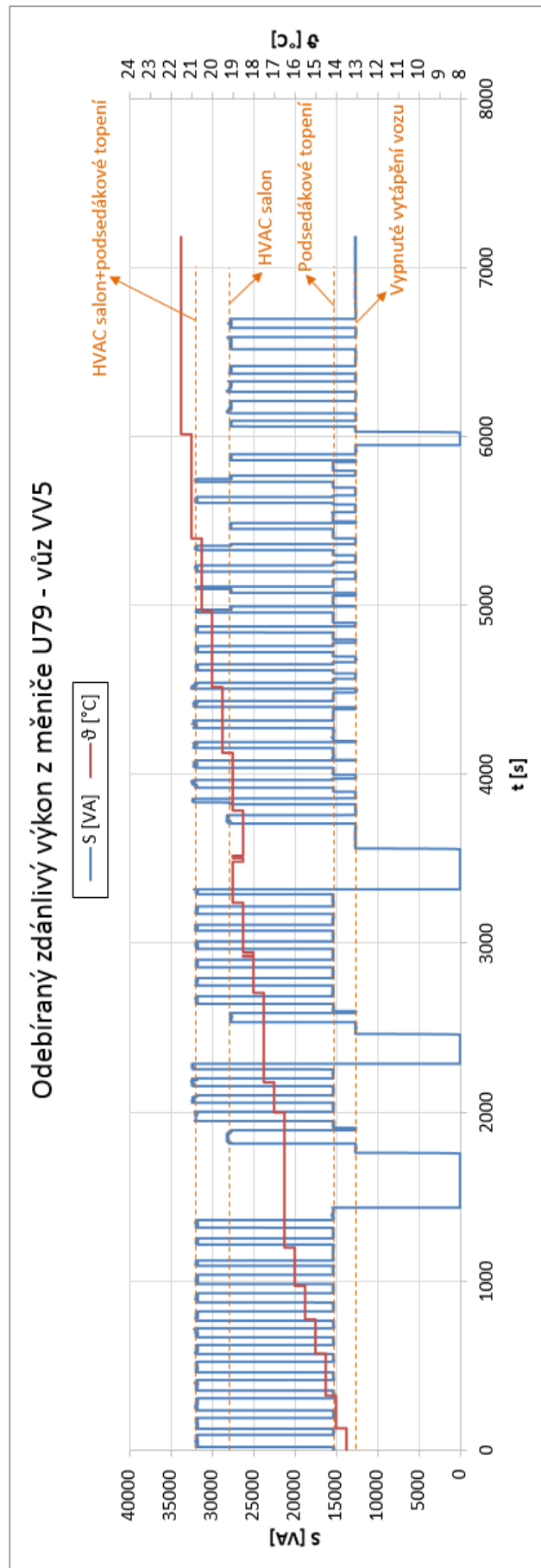
Je třeba říci, že vozy by na plně funkční elektrické jednotce, byly vytopeny rychleji, nebýt několikaminutových výpadků napájení.

Tab. 3.1 Srovnání výkonů topnic salonu.

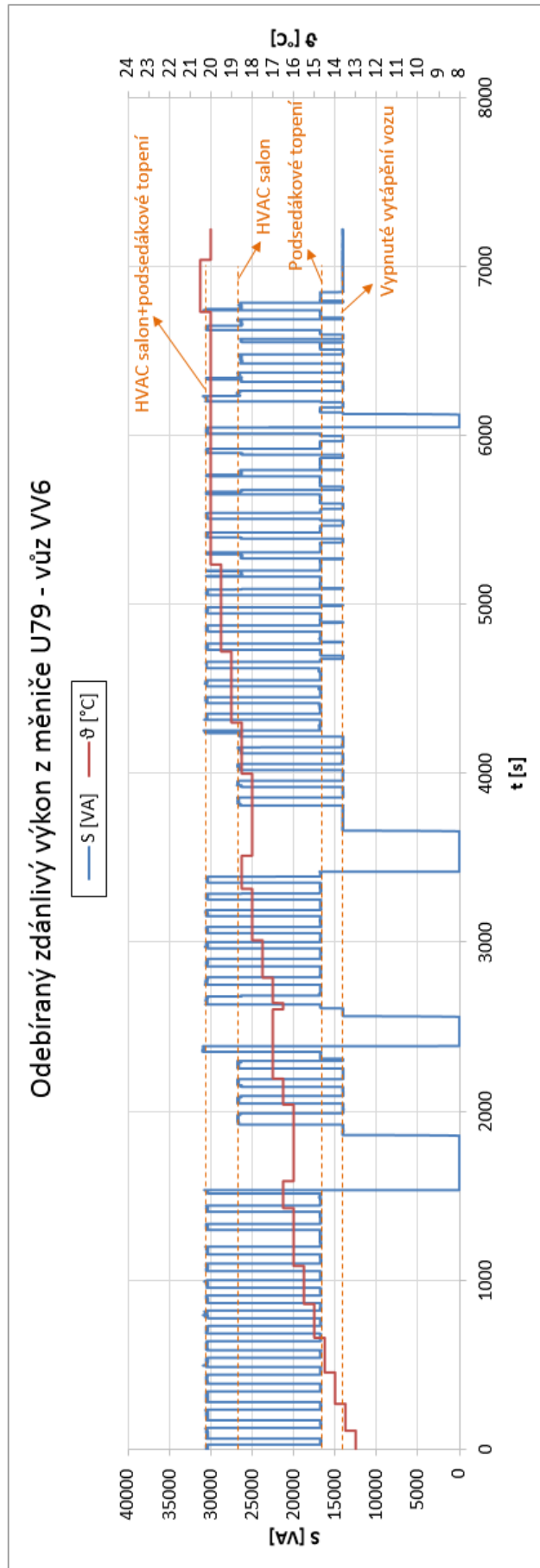
Srovnání výkonů topnic HVAC agregátu salonu	
Předpokládaný výkon - 20 kW	P [kW]
HV5	18,10
VV5	16,40
VV6	13,70
HV6	19,20



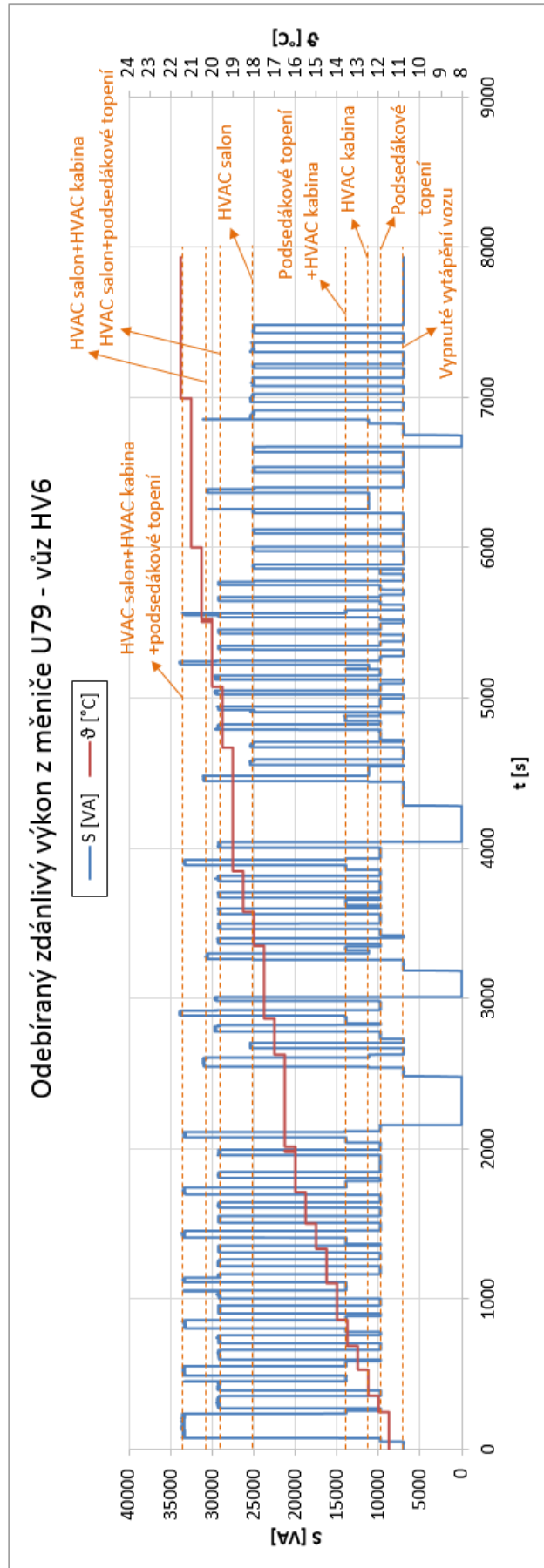
Obr. 3.8 Spotřeba výkonu měniče U79 při zapnutém topení na voze HV5.



Obr. 3.9 Spotřeba výkonu měniče U79 při zapnutém topení na voze VV5.



Obr. 3.10 Spotřeba výkonu měniče U79 při zapnutém topení na voze VV6.



Obr. 3.11 Spotřeba výkonu měniče U79 při zapnutém topení na voze HV6.

3.5 Měření spotřeb pomocných pohonů za jízdy při DC napájení

Měření trvalo 23 minut a elektrická jednotka byla napájena stejnosměrným napětím 3 kV. V tomto typu měření bylo vytápění vlaku vypnuto.

3.5.1 Spotřeba měniče U79

Je třeba říct, že spotřeba výkonu na tomto měniči za jízdy, odpovídá spotřebě při vypnutém vytápění vozidla za jeho stání. Jízda tedy v odběru nehraje v tomto měření žádnou roli.

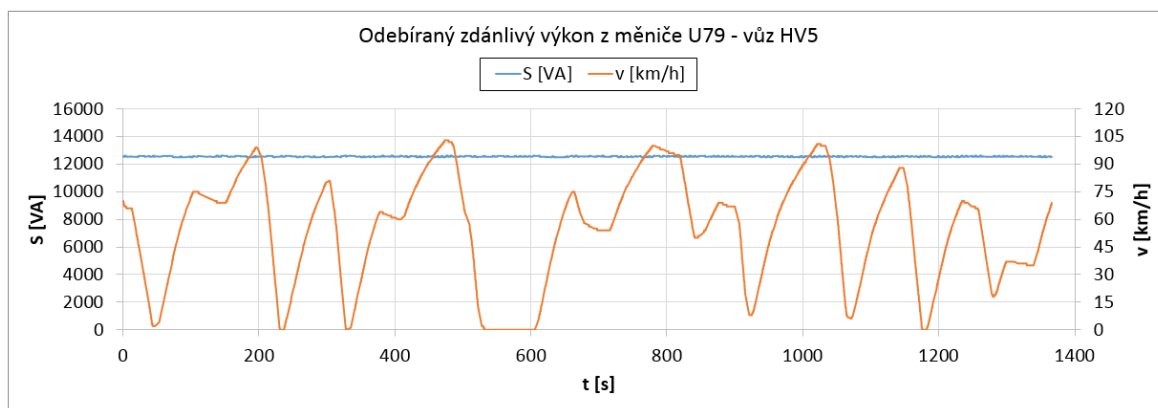
3.5.1.1 Vůz HV5

Z grafu (obr. 3.12) je vidět konstantní odběr výkonu po celou dobu jízdy. Hodnota dosahuje 12,5 kVA. V tab. 3.2 jsou vypsány předpokládané odběry výkonů (topnice bojleru na toaletě zanedbány).

Ve skutečnosti můžeme několik možných odběrů vyloučit. Čerpadlo trakčního transformátoru na systému stejnosměrného napájení nepoběží. Potom má vůz HV5 předpokládaný odběr 6,43 kVA.

Dále byly vypnuty ventilátory trakčního kontejneru a ventilátor kontejneru pomocných pohonů. Jelikož na vozidle jsou vždy sepnuty čerpadla, tak můžeme počítat s čerpadlem trakčního kontejneru a kontejneru pulzního usměrňovače, který je v činnosti i na stejnosměrném napájení vozidla z důvodu možnosti jeho zablokování, což nastaví stav zakázané rekuperace. Dohromady je jejich předpokládaná hodnota 3,28 kVA. Z obr. 3.4 je dále připojen už jen systém HVAC společně s klasickými topnicemi. Jelikož topení bylo vypnuté, dá se předpokládat, že zbylý výkon připadá HVAC systému, který zajišťuje větrání vozu. Po rozdílu konstantní hodnoty v grafu a hodnoty dvou čerpadel, připadá hodnota 9,2 (6,1) kVA HVAC systému.

V závorce vždy budou uváděny hodnoty výkonu HVAC systému při větrání, kdyby byly sepnuty po celou dobu jízdy i ventilátory. U všech hodnot jde pouze o přibližné hodnoty, jelikož musíme zvážit i fakt, že odečítáme naměřený zdánlivý výkon s teoretickými předpoklady z tab. 3.2.



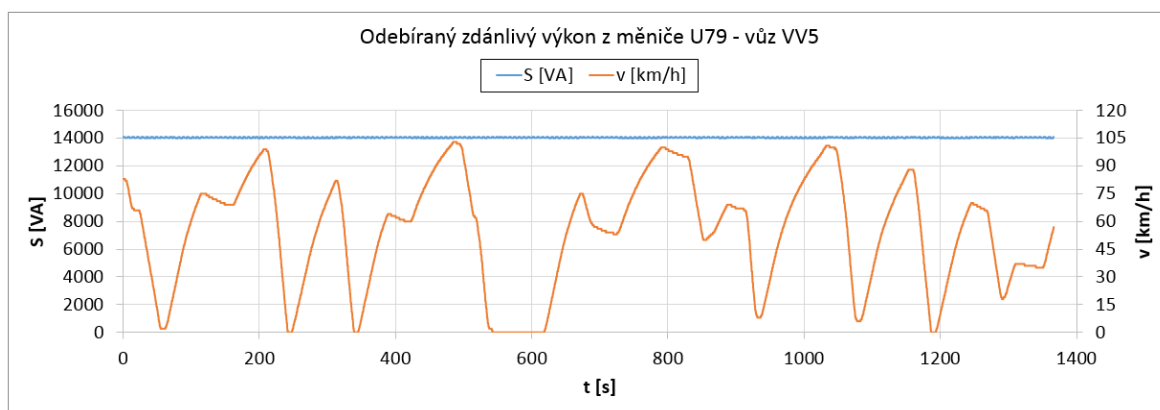
Obr. 3.12 Spotřeba výkonu měniče U79 při vypnutém topení na voze HV5.

Tab. 3.2 Předpokládané odběry výkonů z měniče U79 na vozech.

Součet předpokládaného výkonu na měniči U79					
Zařízení - U79	S [kVA]	HV5	VV5	VV6	HV6
Ventilátory trakč. kontejneru	2,75	6,43	4,79	0,40	6,43
Čerpadlo trakč. kontejneru	1,64				
Ventilátor kontejneru pomoc. pohonů	0,40				
Čerpadlo kontejneru usměřovače	1,64				
Čerpadlo trakč. transformátoru	5,32				

3.5.1.2 Vůz VV5

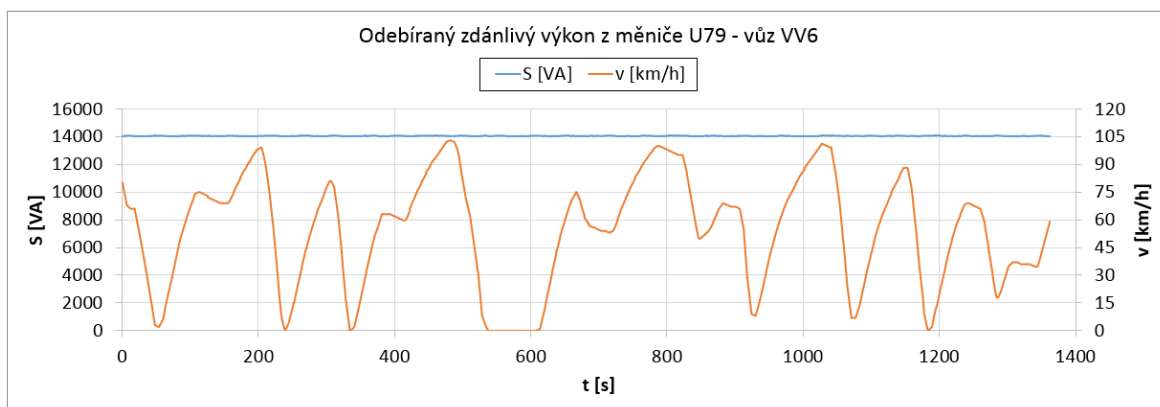
Na měniči vozu VV5 jsou připojeny dle obr. 3.5 ventilátor kontejneru pomocných pohonů s čerpadlem a ventilátory trakčního kontejneru. Z grafu (obr. 3.13) je vidět konstantní odběr výkonu 13,9 kVA. U všech průběhů vozů je výkon spočítaný z přesného výstupního napětí střídače 400 V, ale v reálném případě bylo napětí o pár jednotek voltů větší, proto je v grafu křivka lehce nad 14 kVA. Kvůli měnícímu se výstupnímu napětí střídače vidíme u všech grafů lehké zvlnění výkonu. Vůz má předpokládaný odběr 4,79 kVA (tab. 3.2). Na tomto voze lze uvažovat pouze výkon čerpadla trakčního kontejneru, jelikož všechny ventilátory, které jsou uvedeny v tabulce, jsou vypnuty. Stejně jako u předchozího vozu získáme rozdílem hodnot výkon 12,3 (9,1) kVA, který připadá větrání vozu.



Obr. 3.13 Spotřeba výkonu měniče U79 při vypnutém topení na voze VV5.

3.5.1.3 Vůz VV6

Při pohledu na graf (obr. 3.14) zjistíme, že konstantní hodnota odebíraného výkonu je stejná jako u vozu VV5, tedy 13,9 (13,5) kVA. Vůz má dle tabulky předpokládaný odběr 0,4 kVA, což odpovídá pouze ventilátoru pomocných pohonů. Jelikož je na tomto voze připojený jen tento ventilátor s malým odběrem a celkový odběr z měniče je velký, potvrzuje to předpoklad, že vyloučení ventilátorů, zmíněné v kapitole u vozu HV5, je správné. Hodnota z grafu v tomto případě pravděpodobně rovnou odpovídá větrání HVAC systému.

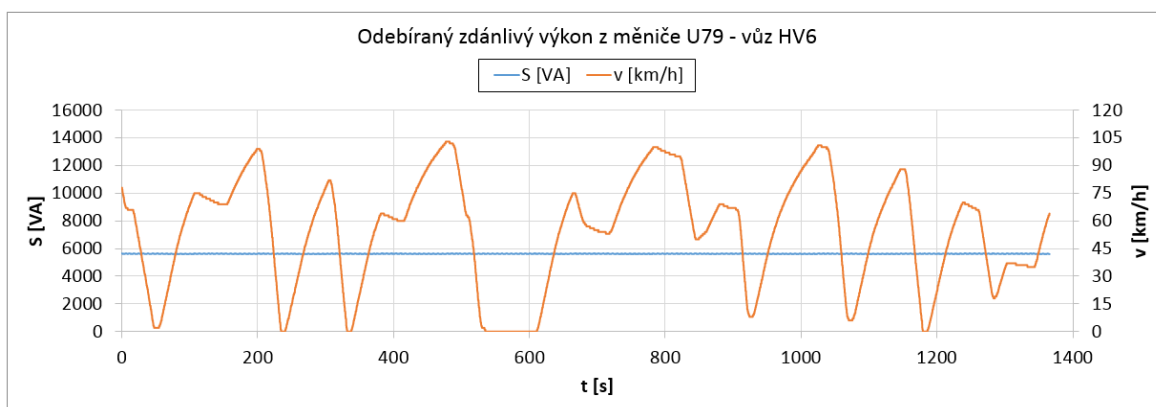


Obr. 3.14 Spotřeba výkonu měniče U79 při vypnutém topení na voze VV6.

3.5.1.4 Vůz HV6

Předpokládaný výkon z tabulky na tomto voze odpovídá stejné hodnotě, jako na předchozím hlavovém voze. Pokud se ale podíváme na graf (obr. 3.15), zjistíme že odebíraný výkon z měniče je daleko menší. Dosahuje hodnoty 5,5 kVA. Pakliže počítáme s předpokladem, že běžela jen zmíněná dvě čerpadla, pak výkon odvozený z tabulky bude

3,28 kVA. Z toho vyplývá hodnota pro HVAC systém 2,2 kVA. S ohledem na výsledky u předešlých vozů, je možné, že větrání tohoto systému fungovalo nesprávně nebo i vůbec.



Obr. 3.15 Spotřeba výkonu měniče U79 při vypnutém topení na voze HV6.

3.5.2 Spotřeba měniče U77 - kompresor

Na obrázku 3.16 vidíme zdánlivý výkon kompresoru v závislosti na průběhu jízdy vozidla. Při poklesu tlaku vzduchu v potrubí vozidla pod mezní hodnotu, dochází k sepnutí kompresoru, který doplní potrubí na určitou hodnotu tlaku. V grafu poté vzniká pulzní spínání kompresoru. Viditelné oscilace kolem hodnoty 8,3 kVA, může mít za následek topologie pneumatických obvodů, kde může docházet ke kolísání tlaku (např. ventily nebo různé záklopy), nebo funkcí samotného kompresoru. Dále z grafu vychází, že kompresor spínal častěji v první polovině jízdy. To může mít za následek několik příčin.

3.5.2.1 Zakázaná rekuperace

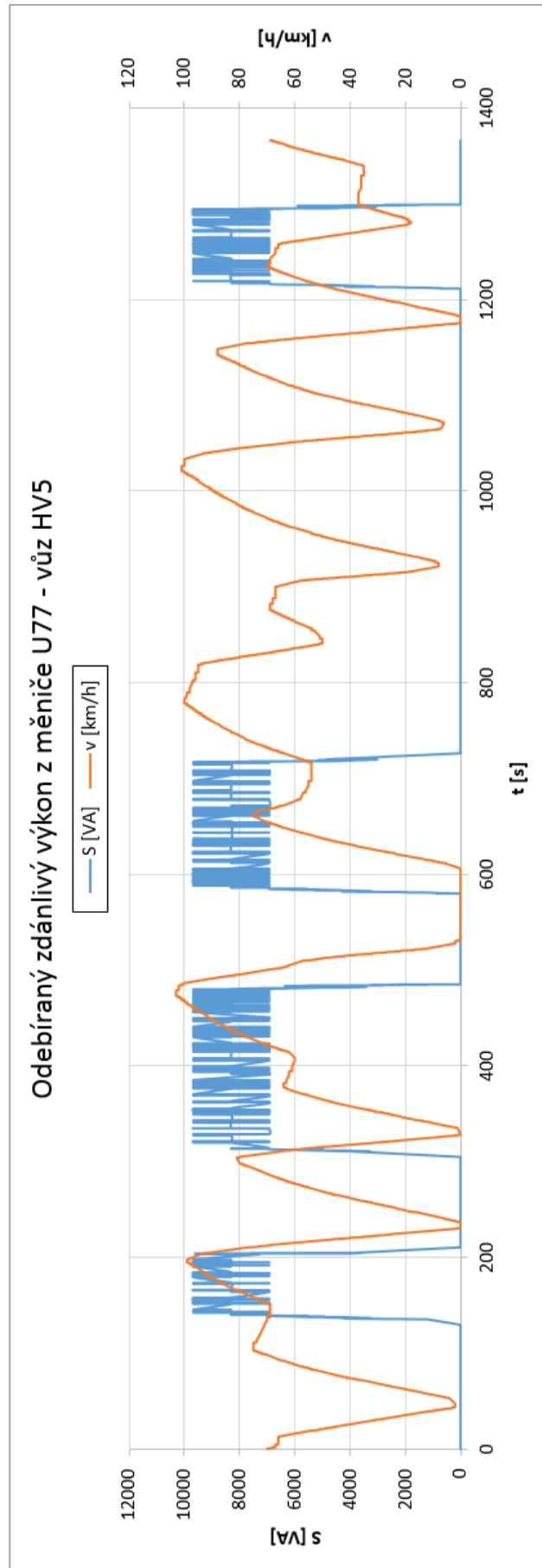
Při stavu, kdy je zakázaná rekuperace, může strojvedoucí použít pneumatickou brzdu (BP) a elektrodynamickou brzdu (BE). Při využití brzdy BE, je energie při zakázané rekuperaci mařena v odporníku. Strojvedoucí vždy volí vhodnou kombinaci těchto dvou brzd. V tomto případě je vidět z grafu, že v první polovině jízdy, byla BE brzda doplňována více brzdou BP, než je tomu v druhé polovině. Lze si to například vysvětlit větším počtem brzd do nulových rychlostí, kde přechází brzda BE do brzdy BP.

Mohl nastat také jednodušší stav, kdy strojvedoucí brzdil po celou dobu jízdy pouze brzdou BP (zakázané brzdění pomocí BE). Větší spínání kompresoru v první polovině by se poté dalo vysvětlit větší ztrátou vzduchu při častém brzdění do nulových rychlostí.

3.5.2.2 Povolená rekuperace

Zde mohl nastat stav, že se energie nedala mařit v odporníku, ale pouze rekuperovat. Měření probíhalo v areálu, kde jsou dva železniční okruhy (malý a velký okruh). Při měření se vozidlo pohybovalo na malém okruhu, a jelikož na velkém okruhu jezdilo jiné vozidlo, které mohlo samo rekuperovat, mohlo být napětí v troleji na určité hladině, kdy měřené vozidlo nemohlo vrátit energii do troleje. Poté musela být využívána v první polovině jízdy brzda BP. V druhé polovině jízdy by energie mohla být rekuperována.

Mohl ale nastat také stav, kdy energie mohla být rekuperována i mařena v odporníku. Poté by mělo být patrné z grafů níže (měnič U76 - kapitola 3.5.3) odpínání ventilátoru odporníku, kdy by po celou dobu brzdila brzda pneumatická i elektrodynamická. V první polovině grafu by byla více využívána rekuperace (energie by byla vrácena do troleje), a v druhé polovině grafu by převažovalo maření energie v odporníku. Spínání kompresoru v první polovině by muselo být zapříčiněno opět častějšími brzdami do nulových rychlostí.



Obr. 3.16 Spínání kompresoru v závislosti na rychlosti.

3.5.3 Spotřeba měniče U76

3.5.3.1 Vůz HV5

Ze schématu (obr. 3.4) vidíme, že odběry z měniče mohou způsobovat pouze ventilátory pulzního usměřovače, trakčních motorů a odporníku. V grafu (obr. 3.17) jsou na začátku a konci dva téměř identické propady výkonu, které mohly být způsobeny pouze ventilátory motorů a odporníku, jelikož společný výměník transformátoru a usměřovače je po celou dobu jízdy chlazený. Proto také v průběhu celého grafu nedojde nikdy k poklesu výkonu na nulu. Při prvním poklesu přibližně na 8 kVA, dochází ke snížení odběru proudu při stejném napětí 400 V. Z toho je jasné, že muselo být vypnuto chlazení odporníku nebo motorů. Jelikož ventilátory motorů (dále v textu budou ventilátory motorů brány jako jeden ventilátor) mají přibližně stejný předpokládaný výkon jako ventilátor odporníku, tak nelze určit přesně, který to byl. Poté pokles výkonu níže je důsledkem snížení napětí na 200 V kvůli opětovnému připojení ventilátoru. Tato regulace je udělána, aby ventilátor nebyl připojován do plného výkonu měniče, kdy by poté mohly zapůsobit ochrany při větším nárůstu proudu. Při snižování napětí dojde k odpojení i druhého ventilátoru. Při novém požadavku na chlazení dochází k připojení obou ventilátorů při polovičním výstupním napětí střídače, což je vidět překmitem v grafu, a poté k postupnému zvyšování napětí na 400 V. Mezi 500 a 600 sekundy dochází přibližně na 1,5 min. k úplnému zastavení vozidla. V tomto úseku není požadavek na chlazení trakčních motorů ani odporníku.

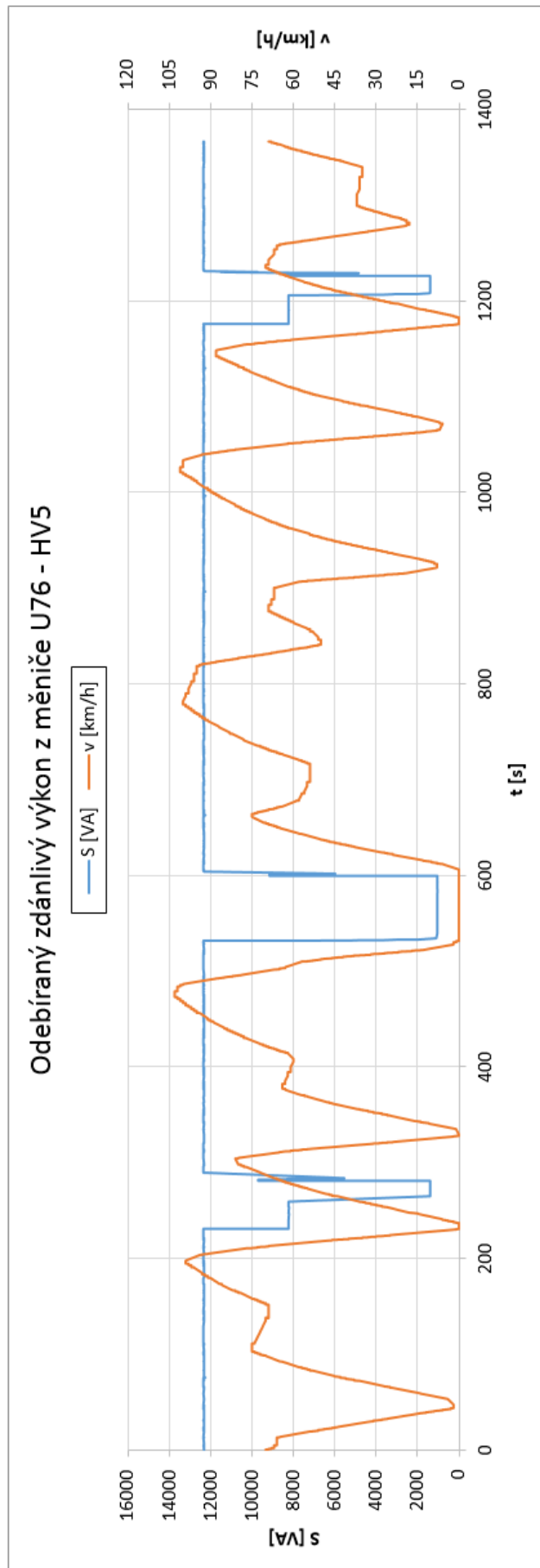
3.5.3.2 Vůz VV5

Na první pohled je z grafu (obr. 3.18) patrné, že při konstantním odběru je výkon daleko nižší než na voze HV5. To je způsobené nepřítomností transformátoru s usměřovačem na tomto voze. Všechny skoky v grafu jsou identické jako na voze HV5.

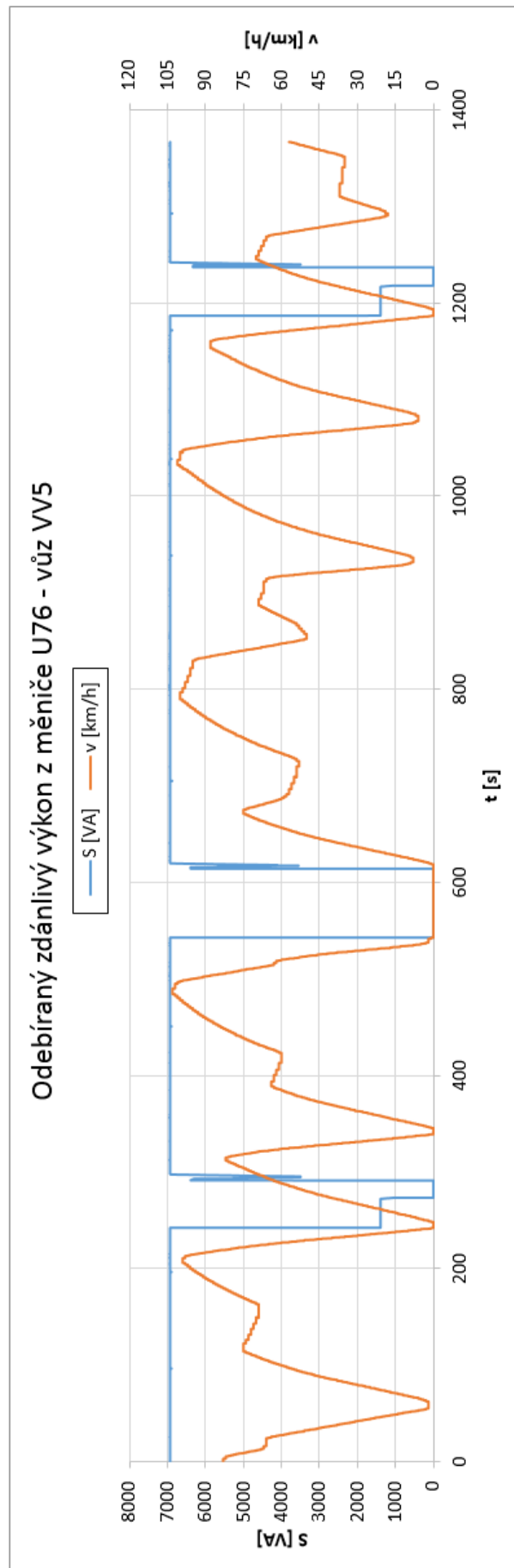
3.5.3.3 Vůz HV6

Jelikož vůz HV6 je konstruován téměř stejně jako druhý hlavový vůz, očekávali bychom i stejnou hodnotu výkonu při konstantním průběhu (obr. 3.19). Maximální hodnota výkonu, ale odpovídá maximální hodnotě na vloženém voze. Z toho je možné říci, že ventilátor výměníku na tomto voze po celou dobu nebyl sepnut. Při měření docházelo na displeji vozidla k výpisu diagnostické hlášky: přehřátí pulzního usměřovače. Později bylo

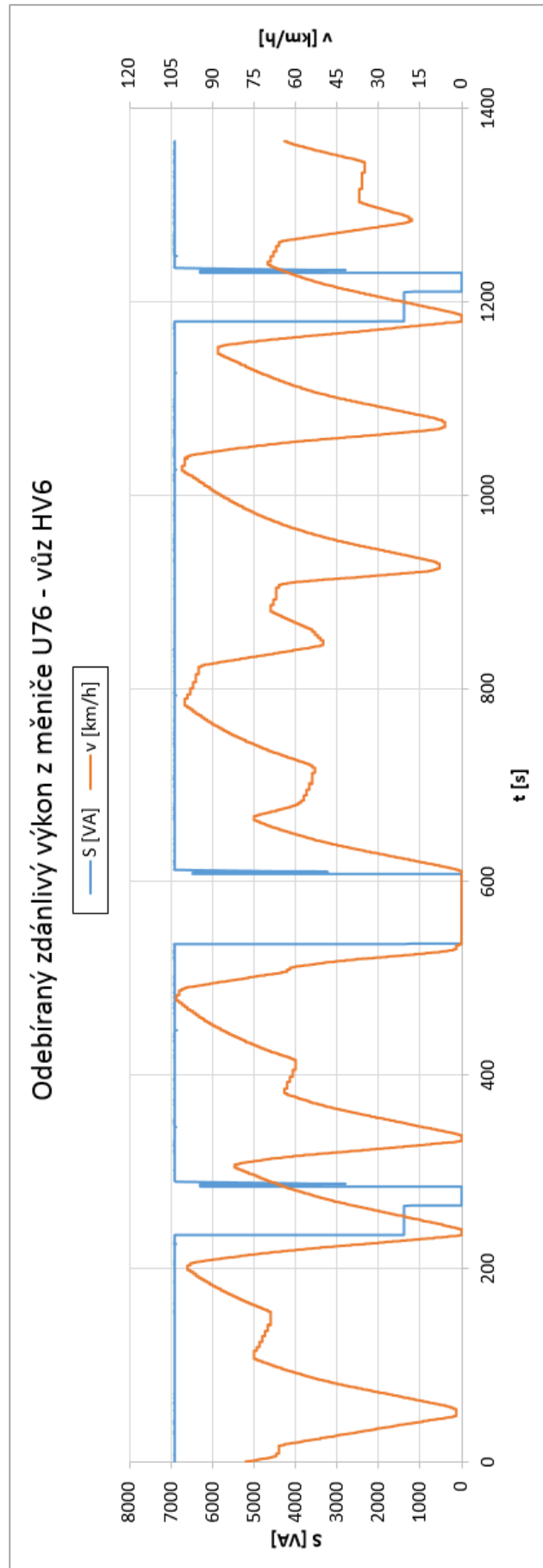
na vozidle zjištěné vadné čidlo teploty pulzního usměrňovače, které mohlo nesprávně ukazovat, že teplota usměrňovače je v pořádku. Při uvážení vypínání vozidla v prvním měření z kap. 3.4 je potvrzena skutečnost, že ventilátor výměníku usměrňovače opravdu nebyl sepnut.



Obr. 3.17 Výkon měniče U76 na voze HV5 v závislosti na rychlosti.



Obr. 3.18 Výkon měniče U76 na voze VV5 v závislosti na rychlosti.



Obr. 3.19 Výkon měniče U76 na voze HV6 v závislosti na rychlosti.

3.5.4 Porovnání průběhů spotřeb kompresoru a ventilátoru odporníku

V kapitole 3.5.2 bylo probrané spínání kompresoru při zakázané, nebo povolené rekuperaci. V této kapitole bude snaha porovnat spínání kompresoru ke chlazení odporníku. V tab. 3.3 jsou předpokládané zdánlivé výkony jednotlivých zařízení, kde pro vůz HV5 je předpokládán součtový výkon všech zařízení 9,94 kVA. Z grafu pro měnič U76 je poté při konstantním odběru výkon 12,3 kVA. U vloženého vozu je výkon z grafu 6,9 kVA, a předpokládaný výkon z tabulky 5,29. Z těchto srovnání vyplývá, že vždy na voze musely být sepnuté všechny možné spotřeby (kromě poruchového vozu HV6, kde budou sepnuty všechny spotřeby jako na vloženém voze).

Při zakázané rekuperaci mohly nastat dva stavy. Jeden z nich, kdy by při jízdě byla využívána pouze brzda BP, můžeme teoreticky vyloučit, protože by nedocházelo ke chlazení odporníku a v grafu bychom viděli menší konstantní odběr výkonu. Druhý zmíněný stav znamená, že strojvedoucí využíval kombinaci obou typů brzd, ale v první polovině převažovala brzda pneumatická, a proto by docházelo k odpínání ventilátoru vychlazeného odporníku. Přibližně v intervalu 600 až 1200 sekund by byla více využívána brzda elektrodynamická a ventilátor by celou dobu chladil odporník.

Při povolené rekuperaci mohly nastat také dva stavy. První z nich, kdy by energie nemohla být mařena v odporníku, se dá opět vyloučit (s ohledem na předpokládané hodnoty výkonů). U druhého stavu (odporník a rekuperace povolena) situace mohla nastat. Dalo by se říct, že energie se v první polovině více vracela do troleje (proto odpínání ventilátoru odporníku), a v druhé polovině by musela být více mařena v odporníku, kvůli vysoké hladině napětí v troleji. (interval 600 až 1200 sekund).

Tab. 3.3 Předpokládané odběry výkonů z měniče U76 na vozech.

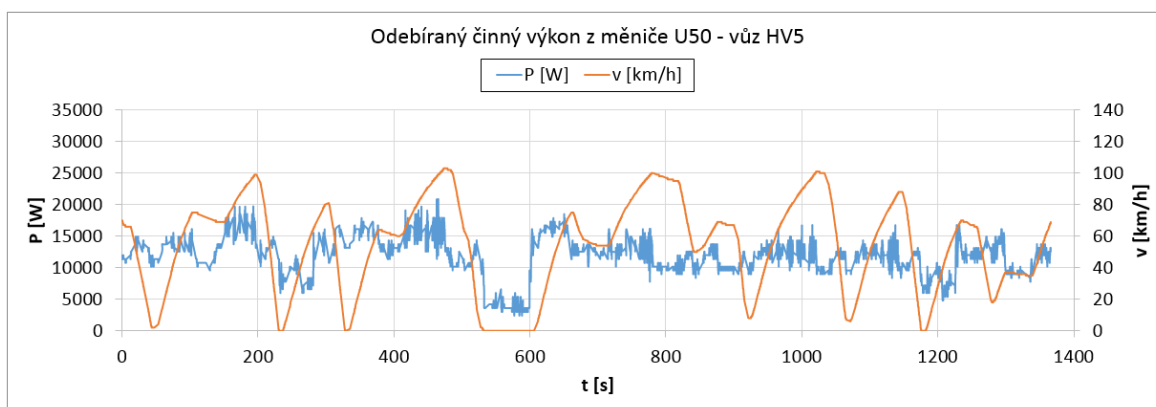
Součet předpokládaného výkonu na vozech				
Zařízení - U76	S [kVA]	HV5	VV5	HV6
Ventilátory usměřovače	4,65	9,94	5,29	9,94
Ventilátory trakč. motorů	2,79			
Ventilátor odporníku	2,50			

Celá teorie ale může být úplně jiná, a to taková, že odpínání bylo zapříčiněno ventilátory trakčních motorů, poklesem rychlosti vozidla k nule. A s ohledem na teoretické

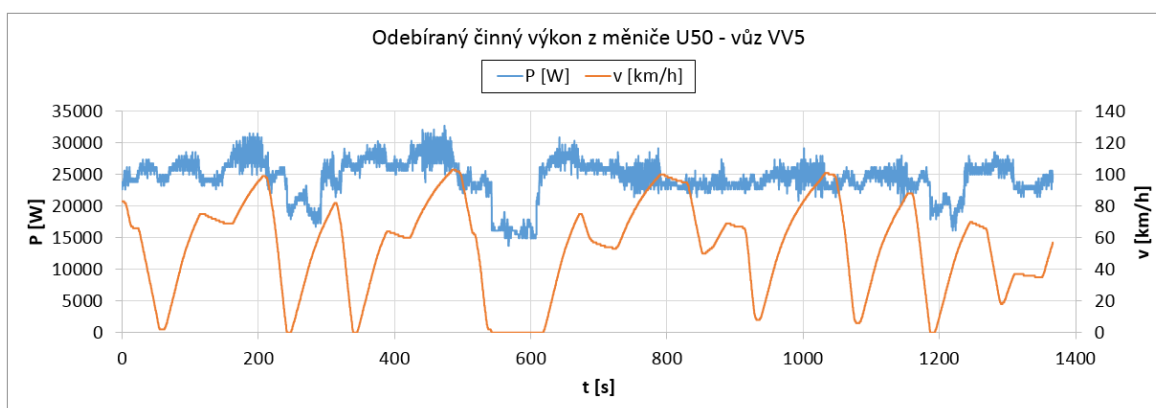
předpoklady, by odporník běžel po celou dobu jízdy, s výjimkou odepnutí obou ventilátorů najednou (při 1,5 minutové nulové rychlosti), což je velmi nepravděpodobné.

3.5.5 Spotřeba měniče U50

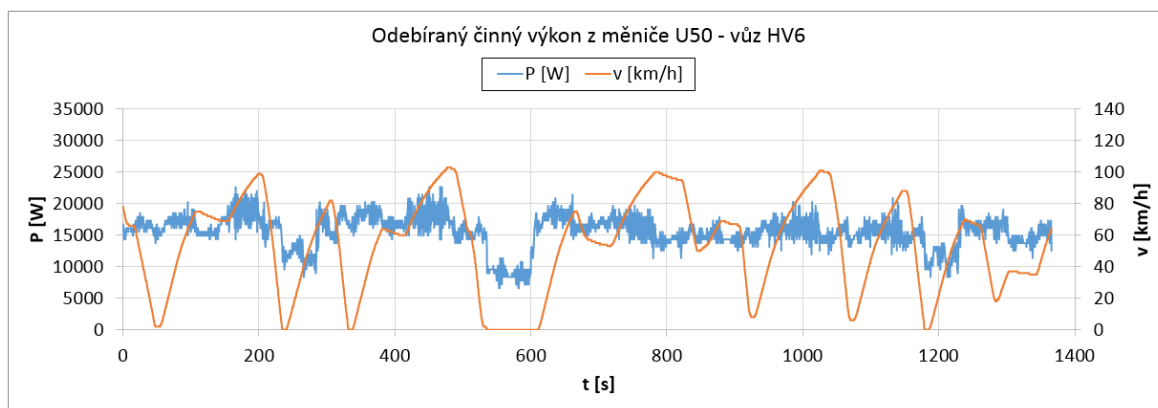
Všechny tři primární měniče U50 napájejí stejnosměrnou síť po celou dobu jízdy. Z toho vyplývá, že byly zapnuté všechny linkové stykače, tedy žádný měnič nezálohoval ten druhý. Z obrázků níže můžeme vidět průběhy napájení sítě jednotlivými měniči. Nejvíce ji napájel měnič na vloženém voze a nejméně na voze HV5. Můžeme si i všimnout třech poklesů v časových intervalech 200 až 300 s, 500 až 600 s, a kolem 1200 s, které jsou zapříčiněné odepnutím ventilátorů v měniči U76. Samozřejmě lze v grafech rozpoznat i spínání kompresoru v měniči U77, kde vidíme mírné špičky výkonů.



Obr. 3.20 Výkon měniče U50 na voze HV5 v závislosti na rychlosti.



Obr. 3.21 Výkon měniče U50 na voze VV5 v závislosti na rychlosti.



Obr. 3.22 Výkon měniče U50 na voze HV6 v závislosti na rychlosti.

3.6 Vyhodnocení spotřeby energie

V tab. 3.4 jsou vidět vypočítané spotřeby, vždy pro konkrétní měření, měnič a vůz. Políčko v tabulce, které je proškrtnuté křížkem, značí nepřítomnost daného měniče na voze. Proškrtnuté políčko pomlčkou znamená, že pomocný měnič neměl žádnou nebo zanedbatelnou spotřebu. U měničů U76, U77, U79 a jejich následného součtu U7X je spotřeba vyjádřena v jednotkách kVAh. Tento způsob vyhodnocení byl zvolen kvůli dostupné měřicí technice, pomocí které se na výstupu pomocných měničů měřilo sdružené napětí a fázový proud se vzorkovací periodou 50 ms. Hodnoty v těchto jednotkách slouží alespoň pro přibližné vyjádření spotřeby jednotlivých pomocných měničů. Hodnoty spotřeb primárních měničů U50 jsou vyjádřeny v běžných jednotkách pro spotřebu elektrické energie. U měření za stání, kdy bylo vozidlo vytápěno, docházelo k nulové či zanedbatelné spotřebě měničů U76 a U77, jelikož nebyl důvod ke chlazení např. trakčních motorů pomocí ventilátorů, nebo ke spínání kompresoru (stlačený vzduch se nespotřeboval pro brzdění). Dá se říct, že ke spotřebě měřených pomocných měničů docházelo pouze na měničích U79. U měření za jízdy docházelo ke spotřebě u všech pomocných měničů. Nejmenší spotřeba byla naměřena u měniče U77, který napájí pouze kompresor. Dále bychom předpokládali větší spotřebu na voze HV6 u měničů U76 a U79, ale tato nižší spotřeba je zapříčiněna už zmíněnými poruchami v dřívějších kapitolách.

Při součtu dílčích výsledků U7X v měření během jízdy, vyjde hodnota 27,51 kVAh. Součet dílčích spotřeb primárních měničů poté vychází 19,67 kWh. Pokud tyto dvě hodnoty podělíme, získáme průměrný účinník 0,72. Tato hodnota říká, že pokud by byl nulový odběr všech nabíječů, pak s tímto průměrným účinníkem pracují všechny pomocné

zařízení dohromady. Pakliže se nabíječe podílely na celkové spotřebě stejnosměrné sítě, tak by se logicky průměrný účinník zmenšil.

Nyní je zapotřebí vyhodnotit, kolik spotřebují všechny pomocné měniče a zařízení připojené na stejnosměrnou síť. To lze zjistit součtem spotřeb měničů U50, kde u měření za stání se zapnutým vytápěním napájely tuto síť jen dva primární měniče. Tento součet činí 2,3 MWh. U měření za jízdy s vypnutým vytápěním vychází celková spotřeba 19,7 kWh. Pakliže bychom uvažovali měření za jízdy, které by trvalo stejně dlouhou jako měřicí čas u vozidla za stání, tak by se celková spotřeba jedoucího vozidla s vypnutým vytápěním ani zdaleka nepřiblížila celkové spotřebě, když vozidlo stojí a vytápí. Tento rozdíl je samozřejmě způsoben vytápěním, kde největší spotřebu tvoří konvekční topnice připojené na napětí 600 V stejnosměrné sítě. Z toho je jednoznačně vidět, že topnice mají daleko větší spotřebu oproti HVAC agregátům. Při respektování stejně dlouhých měřicích časů (2,2 h), lze na závěr říci přibližnou úvahu, že spotřeba pomocných pohonů s vytápěním vozidla (při jízdě i stání) se pohybuje v řádu jednotek megawatthodin, a bez vytápění vozidla (při jízdě) maximálně v řádu desetin megawatthodin.

Tab. 3.4 Shrnutí spotřeb pomocných měničů a primárních měničů.

Měniče	Jednotky	Měření za stání (2,2 h)				Měření za jízdy (23 min)			
		HV5	VV5	VV6	HV6	HV5	VV5	VV6	HV6
U50	[kWh]	38,60	2261,36	X	-	4,50	9,27	X	5,90
U76	[kVAh]	-	-	X	-	4,26	2,32	X	2,31
U77		-	X	X	X	1,07	X	X	X
U79		36,17	35,99	36,83	31,87	4,76	5,33	5,32	2,13
U7X		36,17	35,99	36,83	31,87	10,10	7,65	5,32	4,44

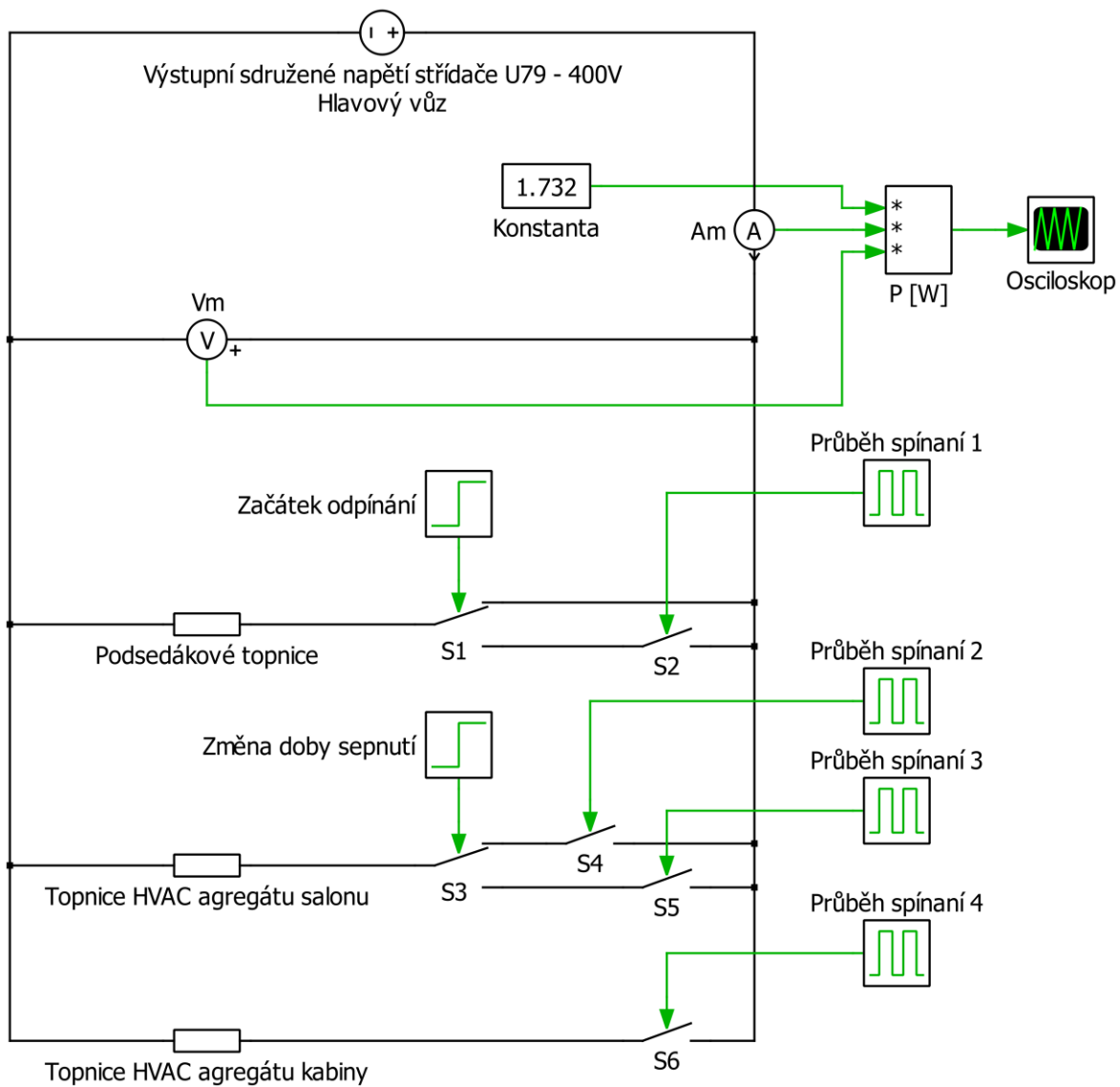
4 Simulační model pomocných spotřeb

Simulační model vychází z úvah a typických průběhů představených ve třetí kapitole. Ve všech simulacích je použitý zdroj, jehož hodnota představuje střídavou, efektivní a sdruženou hodnotu napětí na výstupu měniče. Hodnoty odporů byly voleny tak, aby výstupní fázové proudy měničů přibližně odpovídaly skutečnému měření. Následně jsou v blocích součinu vypočítány výkony měničů, jejichž průběhy jsou zobrazeny v osciloskopu. Tato simulace slouží pro detailnější analýzu pomocných spotřeb z předchozí kapitoly, kde vidíme například různé odpínání topnic či ventilátorů. Spotřebu měniče U79 měřenou za jízdy, není potřeba simulovat z důvodu konstantních výkonů.

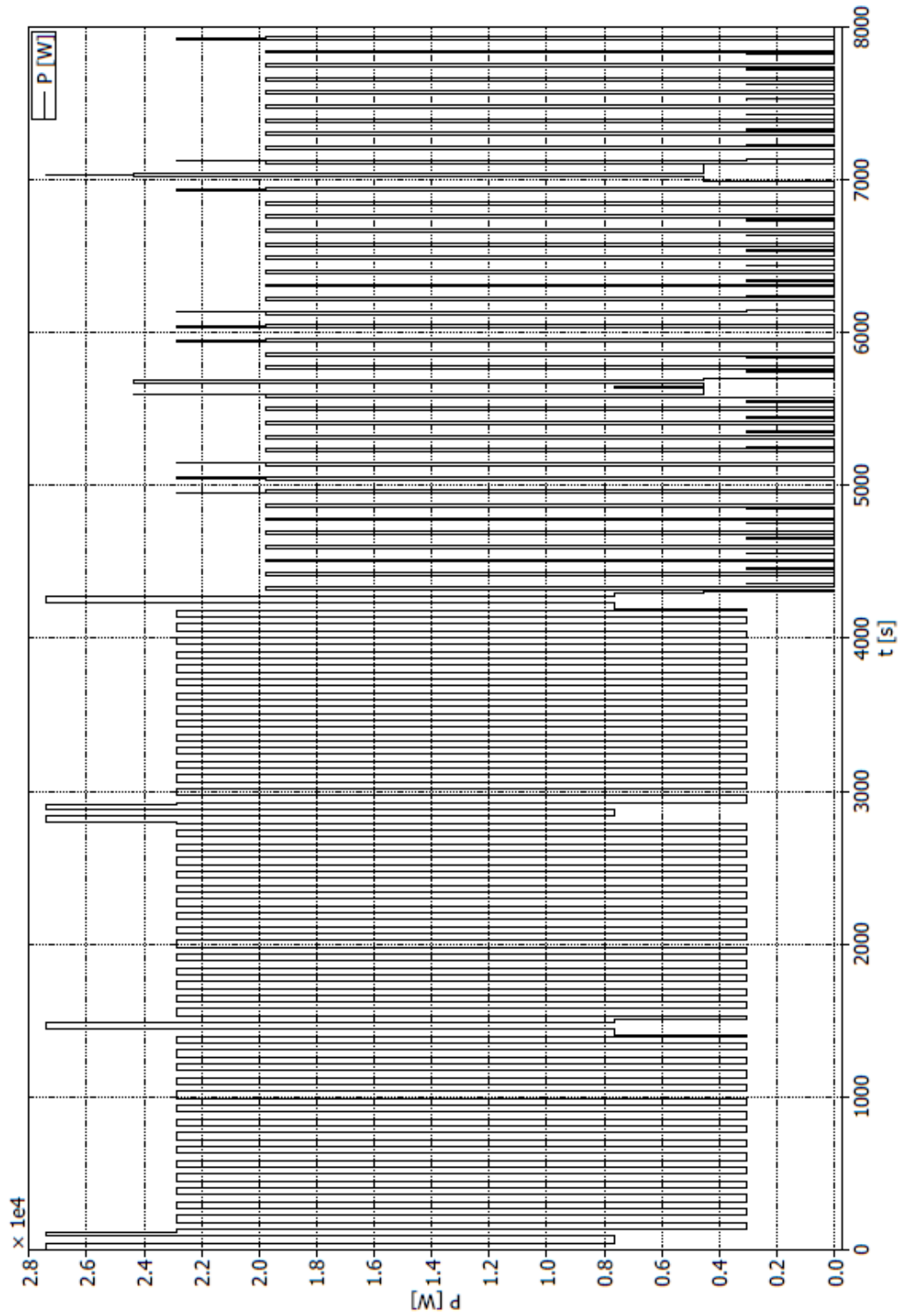
4.1 Simulace spotřeby elektrického topení

Na obr. 4.1 vidíme schéma zapojení, které představuje simulační model topení hlavového vozu, které je připojené na střídač U79. Do bloku součinu vstupuje sdružené napětí, fázový proud a konstanta $\sqrt{3}$. V tomto případě lze říci, že se jedná pouze o činný výkon (ventilátory agregátu salonu a teplovzdušných podsedákových topnic zanedbáme). Dále jsou zde odpory, které znázorňují registry topnic podsedáků, agregátu salonu a kabiny. Všechny tyto odpory jsou spínány blokem definující pulzy. Přepínač S1 je připojen trvale až do doby, kdy se na téměř vytopeném voze začnou odpínat topnice pod sedadly. Tato doba je určena spínacím blokem s názvem „Začátek odpínání“. Pro zjednodušení bylo řečeno, že se s tímto časem sníží doba sepnutí topnic agregátu HVAC salonu. Doba sepnutí je definována blokem s názvem „Změna doby sepnutí“, který řídí přepínač S3. Výsledný simulovaný průběh (obr. 4.2) se podobá svým tvarem naměřenému grafu (obr. 3.8).

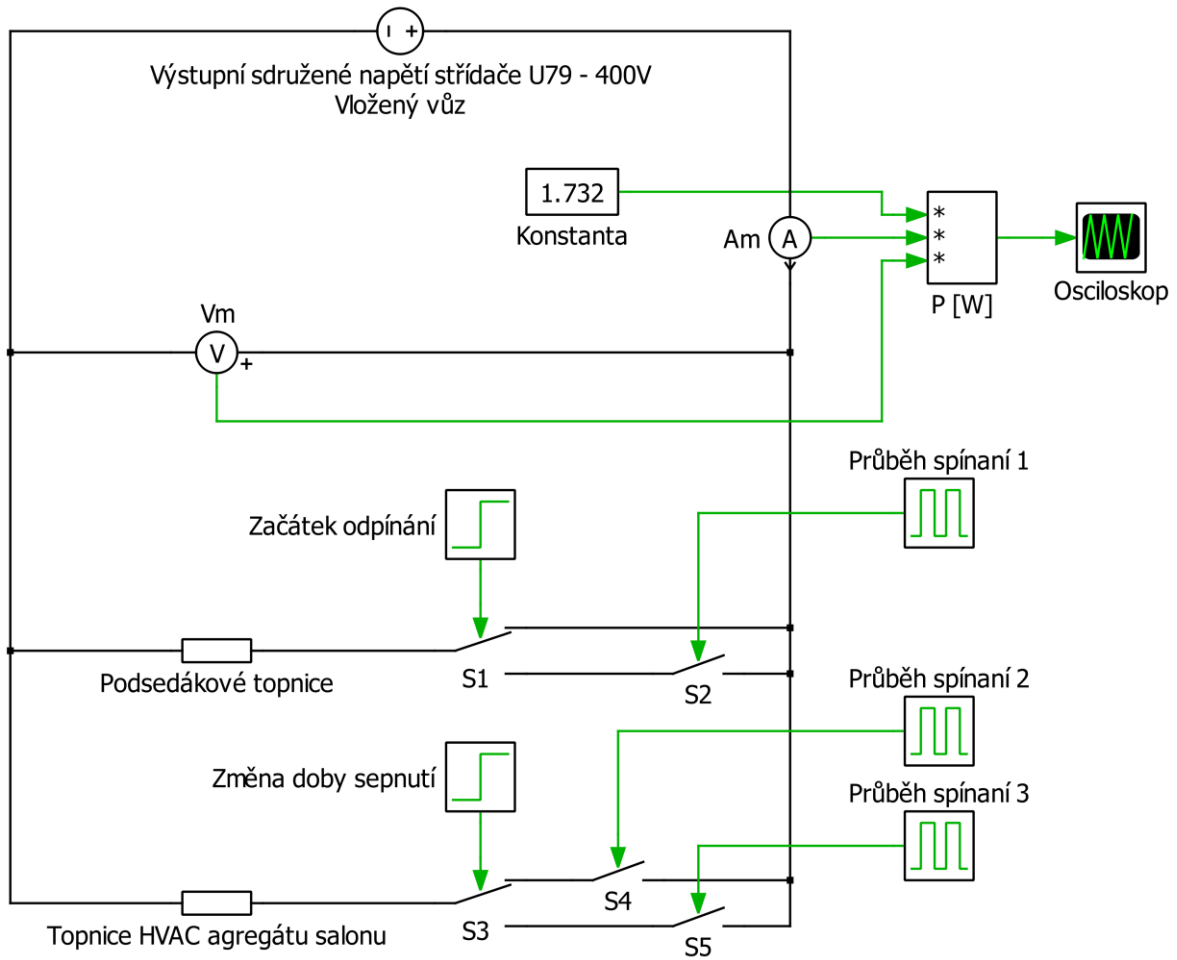
Schéma zapojení topení vloženého vozu je vidět na obr. 4.3, které je téměř stejné jako u hlavového vozu, ale zde chybí odpor definující topnice HVAC agregátu kabiny. Simulovaný průběh z obr. 4.4 vychází z naměřených dat dle obr. 3.9.



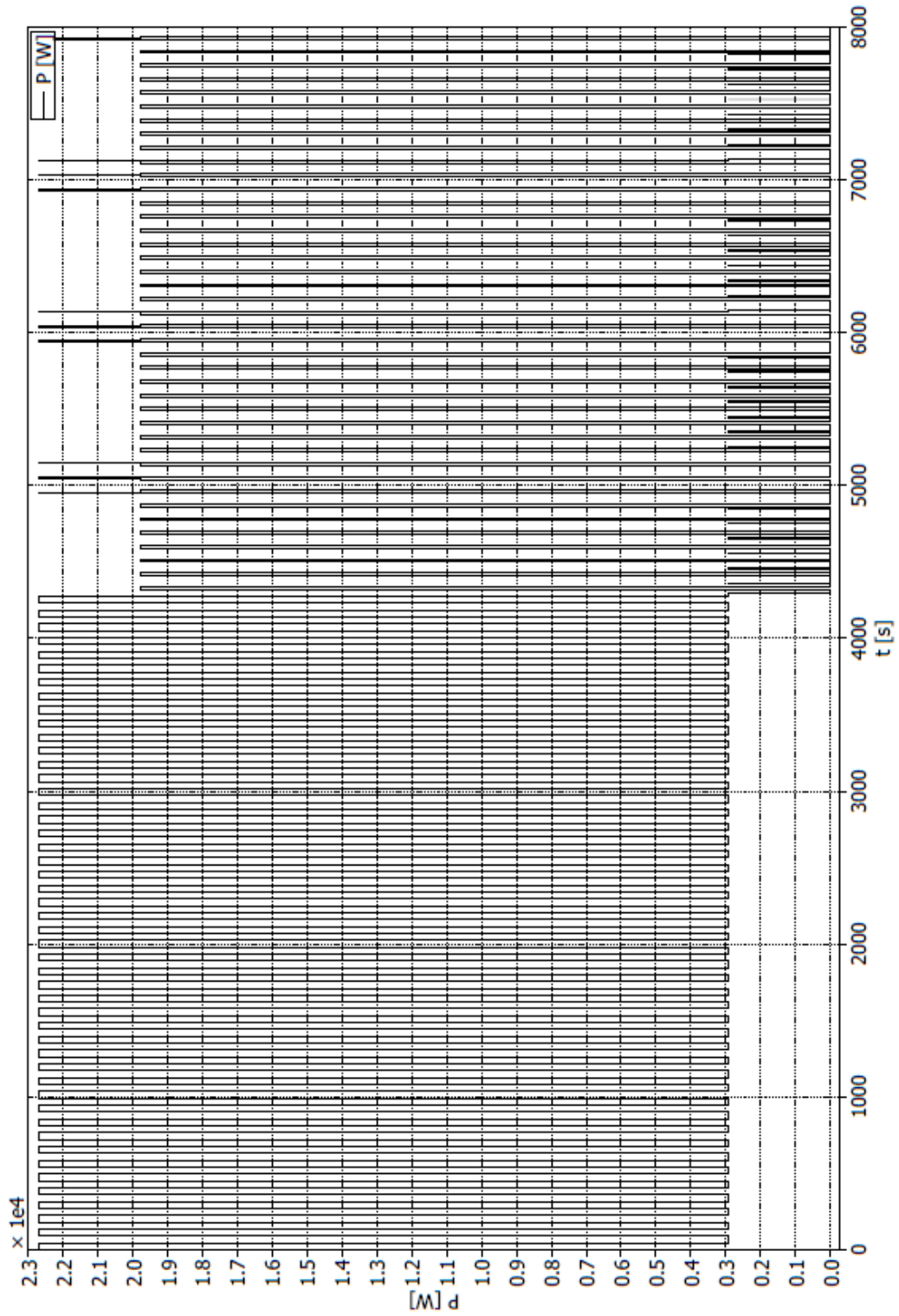
Obr. 4.1 Simulační schéma topení hlavového vozu.



Obr. 4.2 Simulovaný průběh činného výkonu topení na hlavovém voze.



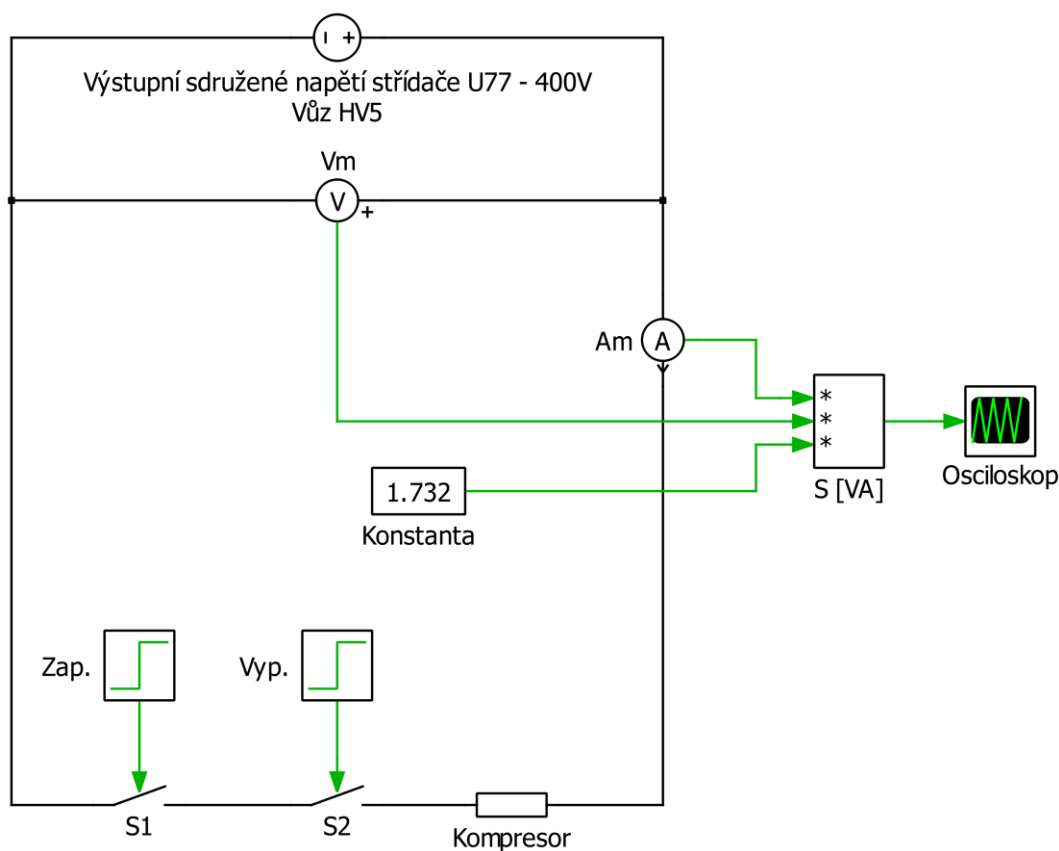
Obr. 4.3 Simulační schéma topení vloženého vozu.



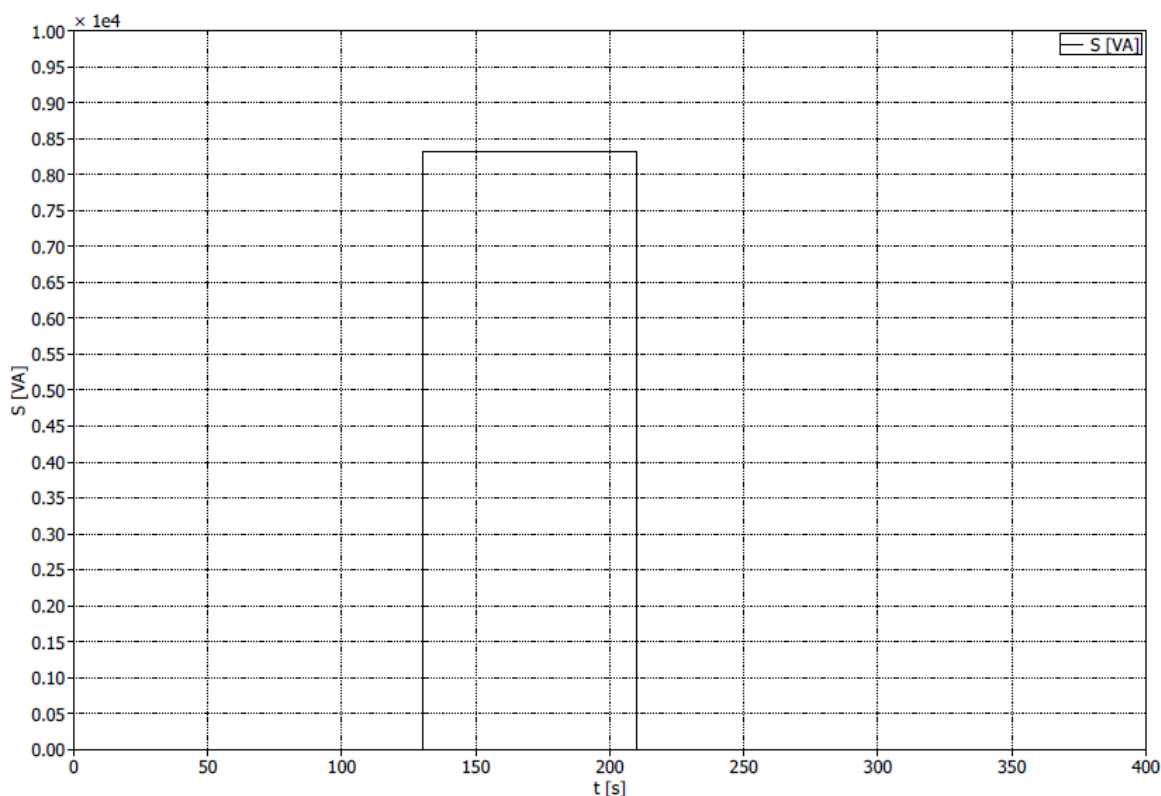
Obr. 4.4 Simulovaný průběh činného výkonu topení na vloženém voze.

4.2 Simulace spotřeb pomocných pohonů

V simulacích spotřeb pomocných pohonů byla simulována vždy jen část naměřeného průběhu, jelikož docházelo ke stejnému chování spotřeb během jízdy. Všechny schematické značky (kromě odporu) mají stejný význam, jako u předešlých simulací. Odporů představují jednotlivé pomocné pohony. Na obr. 4.5 je simulační schéma, kde střídač U77 napájí kompresor. Regulaci kompresoru na vozidle zajišťuje tlakový spínač, který je v simulaci realizovaný spínači S1 a S2. Když dojde k poklesu tlaku v potrubí, dochází k sepnutí kompresoru (spínač S1), a tím k postupnému nárůstu tlaku až na požadovanou hodnotu. Při této hodnotě tlakový spínač (S2) zastaví kompresor. Při porovnání simulovaného pulzu z obr. 4.6 a naměřeného grafu (obr. 3.16), kde je vidět spínání kompresoru za celou jízdu, zjistíme dva rozdíly. Oscilace výkonu při funkci kompresoru a pomalý náběh výkonu při jeho zapnutí, který je způsoben regulací měniče. Oba rozdíly se v simulaci zanedbávají. Mohou být cílem dalšího vývoje na simulačním modelu.



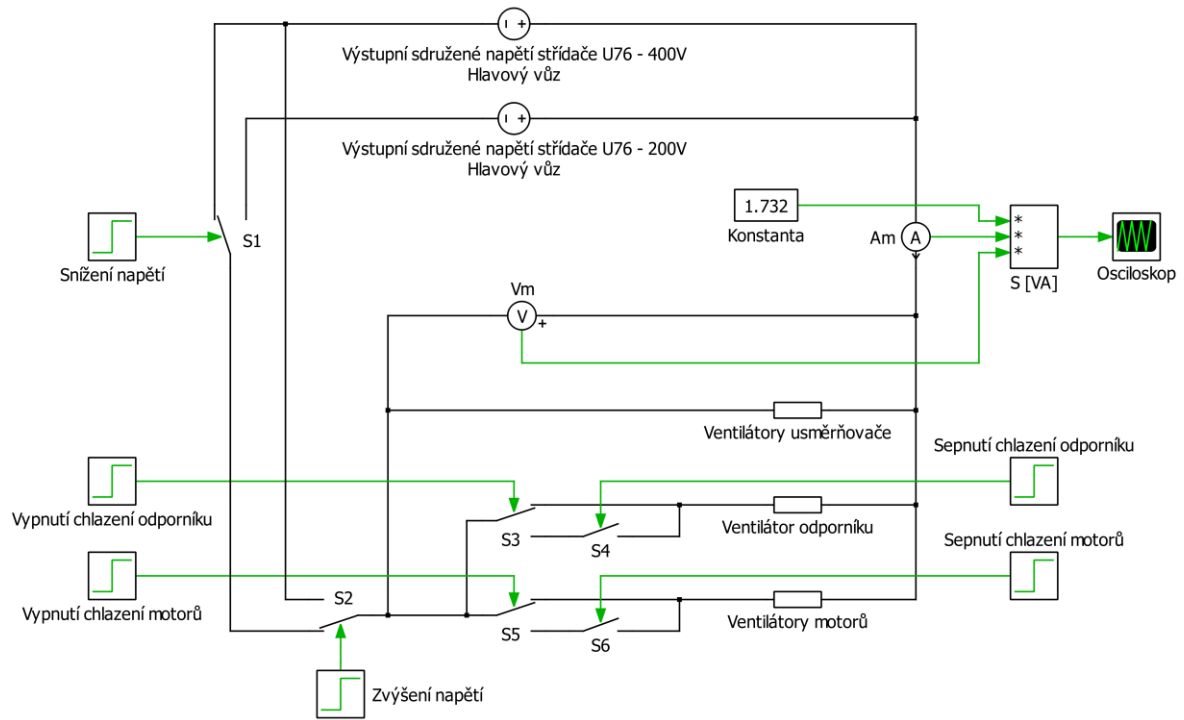
Obr. 4.5 Simulační schéma spotřeby kompresoru na voze HV5.



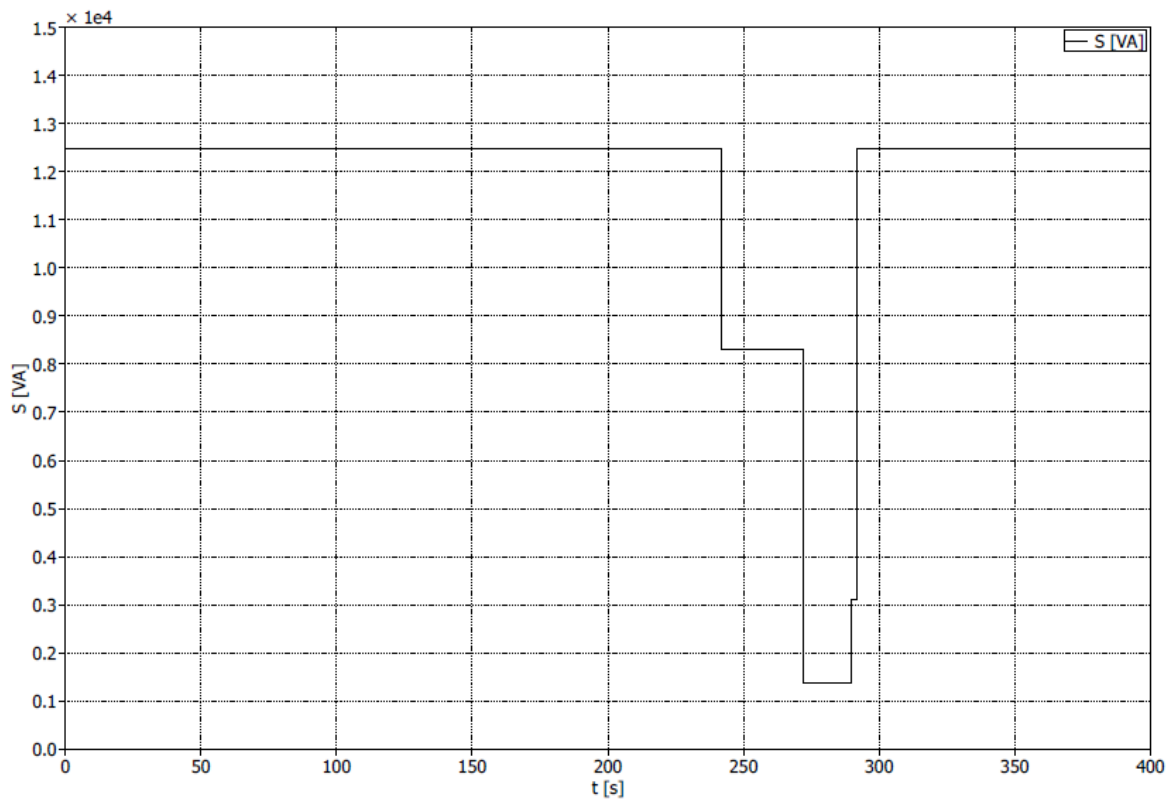
Obr. 4.6 Simulovaná část průběhu zdánlivého výkonu měniče U77 na voze HV5.

Na obr. 4.7 vidíme simulační schéma, kde napájí střídač U76 ventilátory u třech různých zařízení. V kap. 3.5.3 bylo řečeno, že ventilátory výměníku chladí po celou dobu jízdy, proto jsou ventilátory usměrňovače připojeny trvale k napětí. Oproti předchozím simulacím jsou zde dva zdroje napětí, které pro zjednodušení představují měnič s proměnným kmitočtem. Pokud budeme sledovat zároveň i simulovanou část průběhu na obr. 4.8, tak si můžeme objasnit celou regulaci. Nejprve dojde pomocí přepínače S3 k vypnutí chlazení odporníku. Následně při snížení napětí se prostřednictvím přepínače S5 vypne chlazení trakčních motorů. Pro zjednodušení dojde ke snížení napětí přepínačem S1 ve stejný okamžik jako při vypnutí chlazení. Poté přepínačem S2 se zvýší napětí, a k připojení všech ventilátorů najednou dojde později. A to z důvodu, aby tento krátký interval představoval proudovou špičku a následné zvýšení napětí, jako je tomu v naměřeném grafu na obr. 3.17.

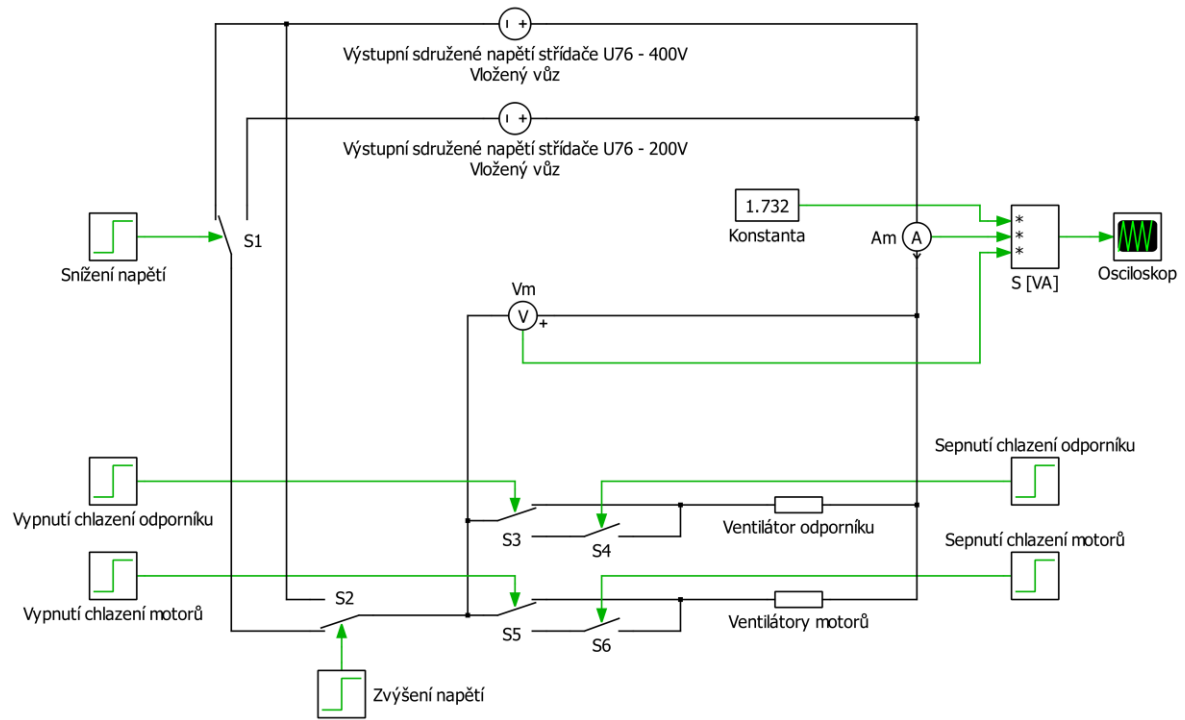
U simulačního schématu vloženého vozu (obr. 4.9) je celý princip stejný jako na hlavovém voze, ale s nepřítomností chlazení výměníku usměrňovače. Při vypnutí obou zbylých chlazení je na obr. 4.10 vidět nulový zdánlivý výkon měniče.



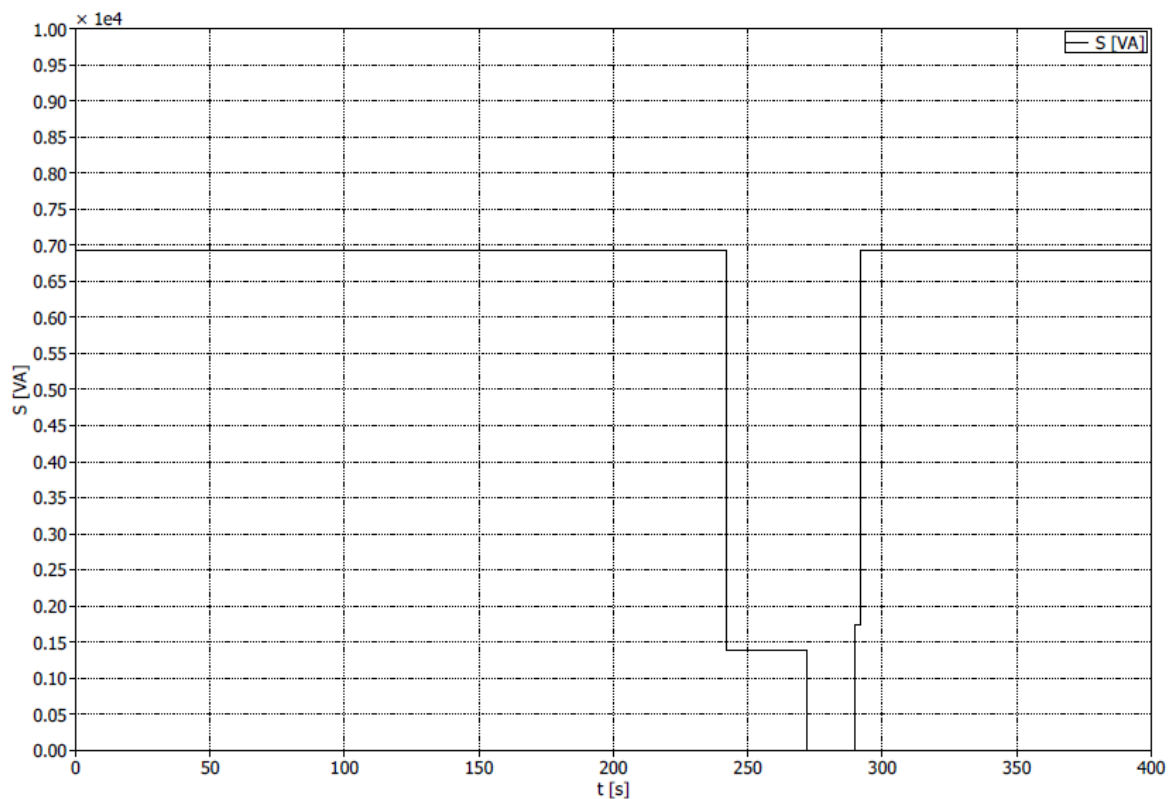
Obr. 4.7 Simulační schéma spotřeb pomocných pohonů měniče U76 na hlavovém voze.



Obr. 4.8 Simulovaná část průběhu zdánlivého výkonu měniče U76 na hlavovém voze.



Obr. 4.9 Simulační schéma spotřeb pomocných pohonů měniče U76 na vloženém voze.



Obr. 4.10 Simulovaná část průběhu zdánlivého výkonu měniče U76 na vloženém voze.

5 Možnosti optimalizace spotřeby

V kap. 2.1 byl podrobněji popsán systém HVAC, který sice tvoří největší spotřebu elektrické energie z pomocných zařízení elektrické jednotky, ale pořad je to systém, který je řízen takovým způsobem, aby se jeho celková spotřeba dostala na co nejmenší možnou hodnotu. Měl by být tedy nezbytnou součástí dnešních vozidel. I přesto jsou možnosti, jak optimalizovat spotřebu HVAC systému. V první kapitole bylo uvedeno několik způsobů, jako např. využití tepelných čerpadel, které nahradí alespoň část klasických topnic. Dále by ke snížení mohlo přispět větší množství teplotních čidel, umístěných do všech lokalit vozidla, které by zajistily přesnější vyhodnocení vnitřní teploty. Podle tohoto vyhodnocení by systém vytápěl odpovídajícím výkonem.

Dále ke snížení spotřeby by mohla vést regulace vnitřního osvětlení elektrické jednotky. Každý segment o čtyřech sedadlech by byl vybavený vlastním světelným osvětlením a samozřejmě jeho ovládáním. Tím by byla nejen snížena spotřeba, ale byla by zajištěna vyšší úroveň pohodlí cestujících. Pakliže by chtěl někdo z cestujících spát, a u jiného segmentu sedadel si číst knihu, tak by bylo vyhověno oběma cestujícím. Samozřejmě by nebylo splněno přání všech cestujících při zaplnění všech segmentů sedadel, ale při zvažování, že po většinu času není vozidlo plně obsazeno, by tento způsob vyhověl většině. Osvětlení odkládacích polic a ulička mezi sedadly by byla osvětlena odděleně, a byla by regulována strojevedoucím.

Ke snížení spotřeby energie odebírané z trolejového vedení by mohly pomoci fotovoltaické panely. V tomto případě by se neoptimalizovala spotřeba pomocných zařízení, ale byly by napájeny z těchto panelů. Fotovoltaické panely by byly umístěny na střeše vozidla, a vyráběly by energii pro pomocné zařízení. Byla by nutnost zařídit regulaci napájení, kdy by pomocné zařízení byly napájeny přímo z troleje nebo prioritněji z fotovoltaických panelů. V době, kdy by vozidlo nebylo napájeno z troleje, by vyrobená energie dobíjela baterie či rovnou napájela pomocné zařízení. Podobný způsob napájení pomocných zařízení využívá Indie na dieselových vlacích. Celý systém by měl na jednom vlaku ušetřit až 210 000 litrů nafty za rok, což uspoří nejen provozní náklady, ale dojde i ke zlepšení klimatu. A to se skvěle hodí, jelikož Indie (hlavně jižní oblast) patří mezi nejvíce ohrožené země světa, kde by s koncem 21. století měla být tak vysoká teplota, že by zde člověk nemohl pobývat. [25]

Závěr

V první kapitole byla shrnuta dosavadní fakta o spotřebě pomocných zařízení, kde systém HVAC tvoří největší část z celkové pomocné spotřeby.

V druhé kapitole práce byla představena pomocná zařízení vlaku. Byly popsány z hlediska využití, vlastností a principů. Všechna zařízení popisovaná v této kapitole se využívají na elektrické jednotce, která byla v této práci vyhodnocována. Také byly vylíčeny napájecí systémy a provozní režimy, ve kterých se vozidlo může nacházet.

Ve třetí kapitole byl vysvětlen princip měření, a poté byla popsána měřená elektrická jednotka. Byla zde zpracována obecná schémata zapojení pomocných pohonů. Následně bylo vyhodnoceno měření při stejnosměrném napájení vozidla. Vyhodnocení bylo pojato za pomoci grafů, které znázorňovaly odebírané výkony z měničů.

První měření se zaměřovalo na vytápění vozů pomocí HVAC agregátů a přídavných topnic připojených na jeden z pomocných měničů na voze. V průbězích byly odhaleny pulzní poměry při spínání těchto zařízení, a byly srovnány výkony topnic HVAC agregátů salonů. Toto měření probíhalo za stání vozidla.

Druhé měření se věnovalo pomocným pohonům, které jsou napájeny ze třech různých pomocných měničů. Bylo sledováno spínání a odpínání ventilátorů či kompresoru. Následně byly probrány možné stavy, které mohly nastat při jízdě. Tyto stavy byly identifikovány na základě porovnání spínání kompresoru a spínání ventilátoru odporníku. V tomto typu měření byly také znázorněny grafy činného výkonu primárních měničů napájející stejnosměrnou síť.

Nakonec byla stanovena elektrická spotřeba stejnosměrné sítě v obou částech měření. Značná spotřeba stejnosměrné sítě je přisuzována konvekčním topnicím připojených rovnou na tuto síť. Kromě toho byla spočítána i spotřeba jednotlivých pomocných měničů.

Ve čtvrté kapitole byly provedeny simulace, jejichž simulované průběhy se při porovnání s naměřenými průběhy shodují. Dále byla simulována část průběhu výkonu měniče napájející kompresor a měniče napájející ventilátory určené pro chlazení

usměřovače, trakčních motorů a odporníku. Simulační modely dosahují relativně velké přesnosti ve srovnání s experimentálními daty, lze je tedy využít pro analýzu dalších možných stavů pomocných pohonů uvažovaného vlaku.

V poslední kapitole byly navrženy možné optimalizace, které by mohly dopomoci ke snížení celkové spotřeby pomocných zařízení, a tedy i celého vozidla.

Hlavní přínosy práce:

- Byly popsány základní komponenty elektrických vlaků.
- Byly provedeny experimenty na stojícím a jedoucím vlaku.
- Byly vyvinuty simulační modely, které analyzují stavy pomocných zařízení.
- Byla vyhodnocena celková elektrická spotřeba pomocných zařízení při vytápění (stání vozidla) a bez vytápění (jízda vozidla).

Perspektivní směry dalšího výzkumu:

- Návrh teplotního modelu vytápění v kombinaci konvekčních topnic a tepelných čerpadel. Následné ekonomické zhodnocení.
- Návrh a regulace napájení pomocných zařízení vlaku z fotovoltaických panelů.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Elektrická jednotka RegioPanter pro Slovensko. [online]. Poslední změna 4.4.2020. [Cit. 4.4.2020]. Dostupné z: <https://www.skoda.cz/reference/elektricka-jednotka-pro-slovensko/?from=prod>
- [2] Princip klimatizace. [online]. Poslední změna 24.4.2020. [Cit. 24.4.2020]. Dostupné z: <http://www.klima-classic.cz/lp-klimaporadna/slovnicek-pojmu/princip-klimatizace.html>
- [3] Zimu či teplo ve vlaku moc cestující neovlivní. [online]. Poslední změna 24.4.2020. [Cit. 24.4.2020]. Dostupné z: https://www.denik.cz/z_domova/zimu-ci-teplo-ve-vlaku-moc-cestujici-neovlivni.html
- [4] Škoda Transportation a.s. (2012). Zkouška klimatizace (větrání a chlazení) salonu hlavového vozu HV 4 elektrické jednotky 7Ev. Interní dokument podniku Škoda Transportation a.s. se sídlem v Plzni. Poslední změna 24.4.2020. [Cit. 24.4.2020].
- [5] Škoda Transportation a.s. (2009). Uživatelská příručka pro koncové uživatele. DISMON. Interní dokument podniku Škoda Transportation a.s. se sídlem v Plzni. Poslední změna 24.4.2020. [Cit. 24.4.2020].
- [6] Kompresory všech typů pro železnici. [online]. Poslední změna 25.4.2020. [Cit. 25.4.2020]. Dostupné z: <http://www.techmagazin.cz/46406>
- [7] Reliability is our strength. [online]. Poslední změna 25.4.2020. [Cit. 25.4.2020]. Dostupné z: <https://www.duerr-technik.eu/railway.html>
- [8] Meeting Standards for Compressed Air for Railway Systems. [online]. Poslední změna 25.4.2020. [Cit. 25.4.2020]. Dostupné z: <https://www.quincycompressor.com/meeting-standards-compressed-air-railway-systems/>
- [9] DANZER, JIŘÍ. *Elektrická trakce II*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2001. ISBN 80-7082-814-5.
- [10] DANZER, JIŘÍ. *Elektrická trakce III*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2003. ISBN 80-7082-945-1.
- [11] Pneumatická část brzdy kolejových vozidel. [online]. Poslední změna 25.4.2020. [Cit. 25.4.2020]. Dostupné z: <https://www.vagony.cz/pojezdy/brzda/pneumatik.html>
- [12] Problematika brzd. [online]. Poslední změna 25.4.2020. [Cit. 25.4.2020]. Dostupné z: <https://www.educon.zcu.cz/view.php?cislomodulu=2015050202>
- [13] FLAJTINGR, JIŘÍ. *Elektrické pohony se střídavými motory a polovodičovými měniči*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2005. ISBN 80-7043-354-X.

- [14] Zabezpečovací technika v dopravě (vlakový zabezpečovač). [online]. Poslední změna 29.4.2020. [Cit. 29.4.2020]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/191/20.html>
- [15] DANZER, JIŘÍ. *Elektrická trakce I*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-7082-633-9.
- [16] 25 kV AC railway electrification. [online]. Poslední změna 1.5.2020. [Cit. 1.5.2020]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/25_kV_AC_railway_electrification#/media/File:Europe_rail_electrification_en.svg
- [17] DANZER, JIŘÍ. *Elektrická trakce IV*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2007. ISBN 978-80-7043-586-1.
- [18] Návod k obsluze vozidla řady 640. [online]. Poslední změna 1.5.2020. [Cit. 1.5.2020]. Dostupné z: <http://www.strojvedouciplzen.cz/index.php?page=menu&id=83>
- [19] Návod k obsluze lokomotivy řady 162/163 WTB. [online]. Poslední změna 1.5.2020. [Cit. 1.5.2020]. Dostupné z: <http://www.strojvedouciplzen.cz/index.php?page=menu&id=84>
- [20] Systémy pro kolejovou dopravu. [online]. Poslední změna 1.5.2020. [Cit. 1.5.2020]. Dostupné z: <https://www.azd.cz/admin-data/storage/get/219->
- [21] Vozy v čele vlaku. [online]. Poslední změna 2.5.2020. [Cit. 2.5.2020]. Dostupné z: https://www.vagony.cz/vozidla/ridici_vozy.html
- [22] Návod k obsluze dvousystémové elektrické lokomotivy. [online]. Poslední změna 2.5.2020. [Cit. 2.5.2020]. Dostupné z: http://telegrafroad.sweb.cz/71em_verze1.pdf
- [23] “Technologies and potential developments for energy efficiency and CO₂ reductions in rail systems”. [online]. Poslední změna 3.5.2020. [Cit. 3.5.2020]. Dostupné z: https://uic.org/IMG/pdf/_27_technologies_and_potential_developments_for_energy_efficiency_and_co2_reductions_in_rail_systems._uic_in_colaboration.pdf
- [24] Informer-The customer magazine of Knorr-Bremse rail vehicle systems. [online]. Poslední změna 3.5.2020. [Cit. 3.5.2020]. Dostupné z: https://www.knorr-bremse.com/remote/media/documents/railvehicles/informer/Informer-0042_EN_final.pdf
- [25] Indie má první solární vlak. Panely na střeše ušetří miliony za naftu. [online]. Poslední změna 25.5.2020. [Cit. 25.5.2020]. Dostupné z: <https://www.obnovitelne.cz/cz/clanek/112/indie-ma-prvni-solarni-vlak-panely-na-strese-usetri-miliony-za-naftu/>

- [26] Škoda Transportation a.s. (2015). Technické podmínky řídicího systému INTELO+. Interní dokument podniku Škoda Transportation a.s. se sídlem v Plzni. Poslední změna 25.5.2020. [Cit. 25.5.2020].
- [27] České železnice a spotřeba energií. [online]. Poslední změna 29.5.2020. [Cit. 29.5.2020]. Dostupné z: <http://www.enviweb.cz/76512>
- [28] Jednotná napájecí soustava v Česku?. [online]. Poslední změna 29.5.2020. [Cit. 29.5.2020]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/inzenyrskestavby/doprava/jednotna-napajeci-soustava-v-cesku>
- [29] Elektrifikace českých železnic. [online]. Poslední změna 29.5.2020. [Cit. 29.5.2020]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/technologie/elektrifikace-ceskych-zeleznic>
- [30] SŽDC informovala dopravce o dodávkách trakční elektřiny v příštím roce. [online]. Poslední změna 29.5.2020. [Cit. 29.5.2020]. Dostupné z: <https://www.spravazeleznic.cz/pro-media/tiskovy-servis-tiskove-zpravy-prohlaseni/setkani-k-elektre>
- [31] Emise CO₂ z aut: fakta a čísla (infografika). [online]. Poslední změna 30.5.2020. [Cit. 30.5.2020]. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/society/20190313STO31218/emise-co2-z-aut-fakta-a-cisla-infografika>