

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Telemetrie nákladního železničního vozu

Antonín Vávra

Bakalářská práce

2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Antonín Vávra**
Osobní číslo: **D15199**
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**
Studijní obor: **Elektrotechnické a elektronické systémy v dopravě**
Název tématu: **Telemetrie železničního nákladního vozu**
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 :

Vzhledem k rozmachu elektronické výzbroje drážních vozidel a je nutné zabývat se myšlenkou elektrifikace nákladního železničního vozu z pohledu monitoringu a případně i elektro-pneumatické brzdy, která je již standardem na vozech osobní železniční dopravy.

Doporučený postup:

1. Uveďte důvody, které vedou k nasazení telemetrie na nákladním voze.
2. Navrhněte veličiny vhodné ke sledování na železničním nákladním voze.
3. Navrhněte architekturu monitorovacího systému, specifikujte požadavky na monitorovací systém.
4. Vyberte vhodné snímače pro měření specifikovaných veličin.
5. Spolupracujte s firmou zajišťující výrobu řídicí jednotky.
6. Ověřte funkci prototypu monitorovacího systému na zkušebním stavu.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

- [1] HELLER, Petr. Kolejová vozidla I. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2017. ISBN 978-80-261-0693-7.
- [2] KUBEC, Jiří. Brzda nákladních vozů ČSD. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1991. ISBN 80-7030-120-1.
- [3] KUBEC, Jiří. Brzdová výstroj nových železničních vozů ČSD. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1981. ISBN 80-7030-120-1.
- [4] Produktové materiály DAKO-CZ, a.s. pro komponenty nákladního vozu.
- [5] LACKO, Bornislav, Pavel BENEŠ a Ladislav MAIXNER. Automatizace a automatizační technika 1: Systémové pojetí automatizace. Brno: Computer Press, 2012. ISBN 9788025136287.
- [6] BENEŠ, Pavel a kolektiv. Automatizace a automatizační technika 2: Automatické řízení. Brno: Computer Press, 2014. ISBN 9788025141069.
- [7] CHLEBNÝ, Jan. Automatizace a automatizační technika 3: Prostředky automatizační techniky. 5., aktualiz. vyd. Brno: Computer Press, 2014, vii, 296 s. ISBN 9788025137475.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Zdeněk Mašek, Ph.D.

Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě

Datum zadání bakalářské práce:


19. listopadu 2018

Termín odevzdání bakalářské práce:

24. května 2019


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

L.S.


Ing. Dušan Čermák, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 12. března 2019

Prohlášení autora

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 20. 5. 2019

Vávra Antonín

Poděkování

Zejména bych chtěl poděkovat panu Ing. Janu Korejtkovi, M.ENG., za umožnění spolupráce na tomto projektu a za cenné rady a předání rozsáhlých zkušeností z této problematiky. Dále bych chtěl poděkovat kvalifikovaným pracovníkům a kolegům z firmy DAKO-CZ, za poskytnutí důležitých informací během vypracovávání této práce. Také chci poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce, panu Ing. Zdeňkovi Maškovi, Ph.D., za jeho ochotu, řadu důležitých připomínek a rad.

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem konceptu zařízení pro monitoring telemetrie nákladních železničních vozů. Nejprve je zhodnocena dosavadní situace kontrol a sledování u těchto vozů. Druhá část se zabývá studií a návrhem jednotlivých parametrů, vhodných ke sledování. Dále jsou specifikovány jednotlivé požadavky na systém, návrh architektury systému, výběr jednotlivých snímačů a návrh základních softwarových funkcí.

Klíčová slova

Telemetrie, monitoring, nákladní železniční vůz

Title

Telemetry system for freight train car

Annotation

The goal of this bachelor thesis is to design a concept of device for freight wagons telemetry monitoring. At first, the evaluation of inspection and monitoring situation of these cars, is done. The second part deals with the study and design of individual parameters suitable for monitoring. Furthermore, the system requirements, system architecture design, selection of individual sensors and basic software functions are specified.

Keywords

Telemetry, monitoring, freight train car

OBSAH

Úvod	10
1 Co je telemetrie?.....	11
2 Nákladní železniční doprava	12
3 Návrh veličin vhodných ke sledování.....	13
3.1. Náklad.....	13
3.2. Vůz	14
3.3. Brzda	15
4 Systém pro monitoring telemetrie	16
4.1. Monitorovací systémy vyvíjené jinými společnostmi.....	16
4.3.1. Bosch AMRA (Asset monitoring for railway applications).....	16
4.2. Požadavky na telemetrii nákladního vozu železniční dopravy	17
4.3. Návrh architektury monitorovacího systému.....	18
4.3.1. Řídicí jednotka.....	19
4.3.2. A/D převodník	20
4.2.3. GSM/GPRS modul.....	20
4.3.4. Zdroje energie	21
5 Způsoby vyhodnocování jednotlivých veličin	24
5.1. Teplota (nákladu, okolí, ložisek).....	24
5.1.1. K termočlánek.....	24
5.1.2. DS18B20	25
5.1.3. Pt100.....	25
5.1.4. Zhodnocení a výběr snímačů teploty	27
5.2. Vlhkost	27
5.3. Detekce rázů a vibrací + zploštění kol	28
5.4. Poloha a rychlost vozu	28
5.5. Stav ložení vozu, rozložení nákladu a tlak v brzdovém systému	29

5.6.	Stav brzdového obložení	31
5.6.1.	Přerušení drátu zalitého v brzdové desce	31
5.6.2.	Vzdálenost brzdových desek (snímač vzdálenosti)	31
5.6.3.	Koncový spínač.....	32
5.7.	Přehled snímačů	32
6	Spotřeba elektrické energie systému	33
6.1.	Odhadovaný výpočet spotřeby elektrické energie monitorovacího systému	33
6.2.	Způsoby probuzení řídicí jednotky	34
a)	Vibrace (G).....	34
b)	Poloha vozu.....	34
c)	Tlak v brzdovém válci	34
d)	Uživatel	34
7	Návrh softwarových funkcí.....	35
8	Realizační poznatky.....	42
8.1.	Detekce plochého kola	42
8.2.	Řešení generátoru.....	42
8.3.	Prototyp řídicí jednotky.....	43
9	Měření.....	45
9.1.	Měření spotřeby energie	45
9.2.	Záznam měření na zkušebním stavu	47
	Závěr.....	50
	Seznam použitých zdrojů.....	52
	Seznam obrázků	55
	Seznam tabulek	57
	Seznam příloh	58
	Příloha A – architektura systému pro monitoring telemetrie.....	59
	Příloha B – spotřeba řídicí jednotky GC 095 v režimu hibernace	60

Příloha C – spotřeba řídicí jednotky GC095 během aktivity	61
Příloha D – záznam tlaků v brzdové soustavě – měřeno na 16-ti vozovém zkušebním stavu DAKO-CZ.....	62
Příloha E – záznam tlaků v brzdové soustavě (hlavní potrubí) – měřeno pomocí řídicí jednotky	63
Příloha F – záznam tlaků v brzdové soustavě (brzdový válec) – měřeno pomocí řídicí jednotky	64

ÚVOD

Železniční doprava se může navenek jevit jako jednoduchý způsob dopravy, ale má také svá úskalí. Po celém světě, nejenom v železniční dopravě, je nutno řešit problém náročnosti tratí, zejména proměnlivých podmínek provozu z hlediska kolísání extrémních teplot, vlhkosti, povětrnostních vlivů a vznikajících rázů a vibrací na tratích. Tyto skutečnosti kladou vysoké nároky na vývoj a údržbu jednotlivých systémů. Zařízení musí být odolná a plně funkční i v extrémních podmínkách. Z toho vyplývá fakt, že výrobci musí stále řešit otázky zlepšení výroby jednotlivých komponent a konstrukce, aby byli náležitě konkurenceschopní. Zákazník požaduje nejen spolehlivou dopravu zboží, ale i dostatečný přehled a spolehlivé informace o přepravovaném nákladu i dopravním prostředku.

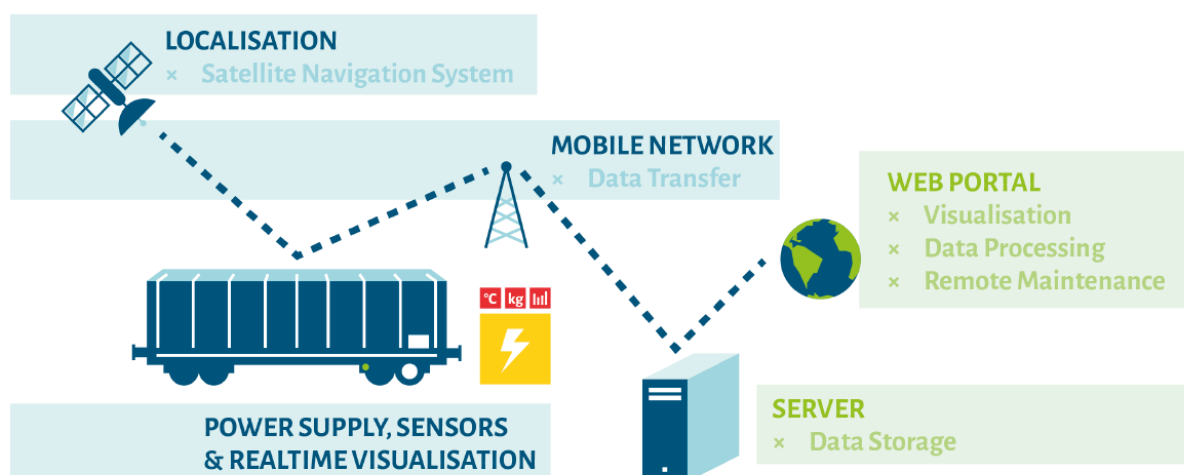
V dnešní době nejsou nákladní vozy železniční dopravy vybaveny žádnou elektrickou výzbrojí ani rozvodem elektrické energie. Kontrolu vozu provádí obsluha (posunovač) vizuálně a mechanicky (poklepem kladívkem). Lidský faktor způsobuje chybovost a nedůslednost kontroly. Tento systém kontrol klade nároky na obsluhu, dochází k časovému zpoždění a provozovatel nemá dostatečné informace v reálném čase. Může dojít k poškození nákladů, poškození některých důležitých systémů a samotného vozu, což vede k vysokým finančním ztrátám, v horším případě k nebezpečí a ohrožení. Tyto problémy mohou nastat a provozovatel o nich přesto do další kontroly neví. Tyto nežádoucí účinky je nutno řešit. Systémem, který by byl schopen podávat dostatečné informace o nákladních vozech železniční dopravy a to bezporuchově a dlouhodobě. S možností tento systém dal náležitě konfigurovat v závislosti na požadavcích zákazníka, přepravce, výrobce kolejového vozu, výrobce brzdového systému a samotného druhu nákladního vozu a nákladu.

S rozmachem elektrické výzbroje je nutno řešit i otázku elektrifikace nákladních železničních vozů a automatizace systémů. V návaznosti na výše uvedený fakt plyne otázka kompatibility. V některých případech není tak úplně jednoduché najít společné řešení elektrifikace pro různé druhy železničních nákladních vozů. Z hlediska jednoduššího řešení a daného problému kompatibility, by měl tento systém obsahovat alternativní způsoby elektrického napájení. Nasazení takových zdrojů energie, které budou dostatečně spolehlivé za každých podmínek. Ať už by se jednalo o zdroj energie akumulátorového typu, zařízení pro výrobu elektrické energie pro danou jednotku za chodu anebo jejich kombinací. Podle požadavků přístupu k informacím (jak často vyhodnocovat data) se také musí uvažovat o velikosti spotřeby energie tohoto systému.

1 CO JE TELEMETRIE?

Pod pojem telemetrie můžeme řadit veškerá na dálku přenášená data, která chceme znát o provozu daného systému a jeho okolí. Musíme tedy nějaká data měřit a ty poté přenášet dálkově. Tyto informace potřebujeme znát nejen z důvodu identifikace bezporuchového stavu, ale hlavně kvůli bezpečnosti. [1]

Musí se určit, jaká data chceme přenášet, resp. určit, jaké veličiny chceme sledovat. Může to být sledování pozice, stavu, klimatických jevů, rychlosti a řada dalších důležitých parametrů. V návaznosti na to se musí řešit způsoby vyhodnocování (použití určitých snímačů) a poté přenos dat na dálku. Může se jednat o bezdrátové přenosy, přenosy pomocí radiových, telefonních, počítačových sítí i dalších komunikačních technologií. Nějakým způsobem se také musí získaná data zpracovat a vyhodnotit. Vyhodnocování dat v reálném čase nebo v určitém intervalu a řešení záznamu dat a jeho zabezpečení. [1]



Obrázek 1 – princip telemetrie – poskytnuto firmou DAKO-CZ

2 NÁKLADNÍ ŽELEZNIČNÍ DOPRAVA

Nákladní vozy v železniční dopravě jsou tažené kolejové vozy, které nemají žádný vlastní pohon dvojkolí. Určení těchto vozů je ke snadné a spolehlivé přepravě různých druhů nákladů, zejména se využívá jako velkoobjemová doprava zboží, která je vhodná spíše pro delší vzdálenosti přes tisíc kilometrů. Očekává se u nich snadné nakládání/vykládání. [2]

Nevýhodou železniční dopravy je poloha výchozích a cílových stanic. Není možné náklad dopravit na přesně určená místa, jako například u silniční dopravy. V dnešní době ale jsou většinou v každém menším městě železniční stanice. Větší firmy to pak řeší způsobem vlastního terminálu připojeného přímo na železniční síť.

Tyto skutečnosti jsou spíše omezující. Zdaleka největší nevýhodou a rizikem je nedosažení informací o nákladech a vozech v reálném čase. Zabezpečení nákladů a vozů je pak u nákladní železniční dopravy poměrně složité (hrozí zde riziko ztráty či poškození přepravovaného zboží nebo poškození vozů samotných) a o této problematice v podstatě pojednává tato bakalářská práce. Se zabezpečením nákladů a vozů pak souvisí i **požadavky na telemetrii nákladního vozu**. V této práci budou postupně navrhovány jednotlivé parametry vhodné ke sledování a jejich možné způsoby vyhodnocování.



Obrázek 2 – nákladní železniční vůz [3]

3 NÁVRH VELIČIN VHODNÝCH KE SLEDOVÁNÍ

3.1. Náklad

Pro různé druhy nákladů se využívá specifických nákladních vozů, o čemž pojednává kapitola 3.2. Vůz. Taktéž podle přepravovaného druhu nákladu a přání zákazníka, je pak důležité sledovat různé parametry. Zásadní dopad na stav nákladů mají klimatické i mechanické vlivy. Náchylnost na poškození je pak závislá nejenom na okolním prostředí ale i na odolnosti jednotlivých druhů přepravovaných nákladů a použití vozu.

Prvním, velice důležitým, sledovaným parametrem, je v závislosti na druhu nákladního vozu a samotného nákladu **teplota**. Pokud se náklad převáží v krytých vozech nebo cisternových, je potřeba znát teplotu uvnitř nákladního vozu, která se může výrazně lišit od teploty okolí. Některé druhy nákladů jsou velice náchylné na různé teploty, či velkou změnu teplot. Může docházet k chemickým, biologickým ale i mechanickým změnám materiálů. Sledovaná teplota se primárně mění vlivem okolí, ale může být ovlivněna i nákladem a jeho teplotou. S tímto faktorem se musí počítat a je potřeba tento parametr sledovat a vyhodnocovat z více hledisek (teplota uvnitř vozu ale i jeho okolí) a s určitým intervalem. Velikost teploty by se měla sledovat s přesností na jednotky °C v rozsahu přibližně od -50 °C do 100 °C (sledovaná teplota okolí může být v o něco menším rozsahu).

V návaznosti na sledování teploty by se nemělo opomenout ani sledování **vlhkosti**. Každý náklad potřebuje určitou úroveň relativní vlhkosti. Při vysoké relativní vlhkosti může docházet např. k zapaření zboží, plísnivění, korozi apod. V některých případech hrozí riziko samovznícení. Tzn., že primárně se musí sledovat a chránit náklad před vysokou relativní vlhkostí. Ale i při velmi nízké relativní vlhkosti může docházet k nevratnému poškození nákladu. Dochází pak k tvrdnutí, vysychání, vypařování některých druhů nákladu apod. Náklad pak ztrácí svou hodnotu a mnohdy je prakticky k ničemu.

Další parametry, které nelze přehlédnout, vzhledem k bezpečnosti a stavu nákladů, je **detekce rázů a vibrací**. K těmto jevům může docházet při poškození jak jednotlivých vozů (zploštění kol), tak i při poškození tratí, případně vlivem okolí. K častým vznikům rázů dochází při sestavování nákladních vozů (při posunu vozů a následně sestavení vlaku). Nápis na nákladních vozech „NESPOUŠTĚT NEODRÁŽET“ jsou v běžné praxi často ignorovány. Detekcí rázů a vibrací můžeme vyhodnotit i havárii a rozjezd vozu (možný způsob probuzení jednotky z hibernace viz kapitola 6.2.) Dle ČSN EN 61373 jsou maximální povolená zrychlení: 50 ms⁻² na skříní vozu, 300 ms⁻² na podvozku vozu a 1000 ms⁻² na nápravě vozu. [25]

Všechny tyto již probrané parametry mají vliv na stav nákladů a nelze je v žádném případě podcenit.

3.2. Vůz

Jednotlivé vozy nákladní železniční dopravy mají široká uplatnění dle druhů vozů. Lze je rozdělit do mnoha skupin. Jednak podle konstrukce vozů, určení atp. U jednotlivých druhů vozů se mohou požadavky na telemetrii lišit. U konkrétních typů nákladních vozů nemusí být některé funkce sledovány, kvůli jejich konstrukci/využití (nemají význam). V závislosti na tom, je potřeba nastavit vhodný způsob vyhodnocování. Např. u cisternových nákladních vozů odpadá sledování rozložení, protože tento typ vozu smí jezdit pouze prázdný nebo plný. Dále u nekrytých vozů odpadá sledování teploty nákladu. Měli bychom uvažovat i různé zdroje energie a způsoby instalace jednotky. V tomto případě bylo rozhodnuto pro rozdělení do **pěti základních skupin**.

- a) Cisternové
- b) Vysypné
- c) Plošinové a nízkostěnné
- d) Vysokostěnné
- e) Kryté

Z celkového hlediska nákladních vozů je nutno řešit zásadní otázku **polohy vozidel**. Uživatel musí v reálném čase vědět, kde se jednotlivé vozy nachází. Pokud by došlo k rozpojení vozů, k neplánované trase vozů atp. Což je zásadní požadavek na systém telemetrie nákladního vozu. Tento parametr potřebuje znát nejen vlastník vozu, ale i zákazník. Je jasné, že požadované zařízení musí obsahovat systém, pomocí kterého se dá určit geografická poloha s přesností, která nemusí být příliš vysoká.

Stav ložení vozu a rozložení nákladu jsou dva velice problémové parametry. Dopravce má normou jasně dané maximální zatížení. Často dochází k nerovnoměrnému rozložení nákladu a tím k přetížení některé z náprav. Největší přípustná hmotnost na nápravu loženého vozu je 22,5 tuny. Dále to jsou parametry, na kterých závisí brzdný účinek vozu. Působením většího tlaku vyvozeného zatížením nákladu mohou jednotlivé vozy využívat větší brzdou sílu. Naopak, pokud by byla brzdná síla příliš velká, oproti váze vozu, mohlo by dojít k zablokování kol – což je nežádoucí. S touto problematikou souvisí i poškození kol. Například se mohou na jednotlivých kolech vytvořit plošky. Z toho vyplývá, že sledování stavu **zploštění**

kol by se také mělo kontrolovat. Pan Ing. Radek Jandora ve své práci [4] uvádí, že ke zploštění kol dochází nejen při smyku, ale i při dlouhodobém stání.

Maximální **rychlost vozu** je u nákladních vozů dána konstrukcí vozu a nákladem. Dle normy se smí s vozem prázdným jezdit vyšší rychlostí, než loženým. Železniční nákladní vozy jsou provozovány ve dvou režimech a to režim S (do 100 km/h) a režim SS (do 120 km/h). Uvažovat se musí i rychlost v oblouku, vlivem odstředivých sil by mohlo dojít k posunu/poškození nákladů.

3.3. Brzda

Z hlediska sledování stavu brzdy patří k velmi důležitým parametrům **stav odbrzděno/zabrzděno**. Jízda celé soupravy s plně zabrzděným vozem není pro lokomotivu vůbec žádný problém. Takováto jízda je nežádoucí. Jednak dochází k poškození kolejnic, ale i k zploštění kol (viz kapitola 3.2).



Obrázek 4 – poškození kola vozu – poskytnuto firmou DAKO-CZ



Obrázek 3 – poškození kolejnic – poskytnuto firmou DAKO-CZ

Stav brzdy dle tlaku je nutné znát k zajištění vyvození správného výkonu brzdy. Jak už plyne z principu brzdy kolejových vozidel, hlavní tlakové potrubí musí být při plném odbrzdění tlakováno na 5 bar a při plném brzdění na 3,5 - 4 bar (dle typu brzdového rozvaděče).

Jako další – **stav obložení**, potřeba znát z důvodu plánování výměny. Lze jednoduše vyvodit, že brzdny účinek se špatným obložením, nebo dokonce „bez obložení“ je nepřijatelný. Dodnes se musí sledovat vizuálně, což není komfortní, vyžaduje obsluhu a vzniká zde další časová ztráta.

Vhodným parametrem ke sledování je také **teplota ložisek**. Při zvýšení teploty ložiska, než je provozní, dochází k indikaci poškození ložiska (např. může docházet k zadírání ložisek, nebo nedostatečnému domazávání). Teplota by se měla sledovat přibližně od 80 °C až do 400 °C (za hranicí destrukce). S přesností na jednotky °C až 10 °C.

4 SYSTÉM PRO MONITORING TELEMETRIE

4.1. Monitorovací systémy vyvíjené jinými společnostmi

4.1.1. Bosch AMRA (Asset monitoring for railway applications)

Německá firma Bosch vyvinula své vlastní zařízení pro monitoring telemetrie nákladních železničních vozů. Jejich řešení této konkrétní aplikace vychází převážně ze zkušeností v automobilové výrobě firmy Bosch. Zařízení AMRA sleduje podobné veličiny, jako jsou navržené v této bakalářské práci (sledování polohy, stavu najetých km, detekce rázů a vibrací, rychlosti, teploty, vlhkosti, stav brzdy a detekce otevřených dveří). Vyznačuje se malými rozměry, malou hmotností (700 g) a soběstačností (pouze integrovaná baterie). [5]



Obrázek 5 – Monitorovací zařízení Bosch AMRA [5]

V datasheetu [5] není uvedeno, zda zařízení sleduje tlaky v brzdové soustavě a tlaky vypružení pro sledování ložení vozu/rozložení nákladu, což jsou velmi důležité parametry. Zároveň není uvedeno, zda při sledování teploty, dokáže zařízení AMRA sledovat i teplotu ložisek. Ke sledování těchto parametrů, by stačilo jen připojit několik dalších snímačů. S těmito snímači ale značně vzroste spotřeba elektrické energie. Baterie by tedy musela mít daleko větší kapacitu. Hmotnost systému AMRA 700 g je pravděpodobně uvedena bez integrované baterie, nebo je kapacita jejich baterie velmi malá a počítá se s malou vzorkovací frekvencí snímačů, protože jinak by zařízení nemohlo vydržet až 6 let v provozu.

Zásadní pochybnost tohoto systému vyvstává při přenášení dat z wireless snímačů do řídicí jednotky pomocí Bluetooth low energy technologie a to v důsledku elektromagnetického rušení (popsáno v 5.5). Zároveň tato technologie má další nezanedbatelnou spotřebu zatěžující

baterii (menší než 15 mA). V datasheetu [5] se také nehovoří o zdroji energie pro bezdrátovou technologii. Bezdrátové snímače musí mít nějaký další zdroj energie.

Z výše uvedených informací by se monitorovací jednotka AMRA dala použít spíše pro sledování nákladu s omezenou vzorkovací frekvencí.

4.2. Požadavky na telemetrii nákladního vozu železniční dopravy

Navrhovaný systém by měl splňovat následující požadavky:

- podání dostatečných informací o vytíženosti přepravní kapacity vozu, o poloze vozu a o stavu vozu z hlediska servisu a také o stavu nákladu
- snadná instalace zařízení (pevné připojení sledovací jednotky nebo připevnění na magnet)
 - připojení systému na vůz není jednoduché, jsou zde některá omezení vůči zásahu do konstrukce vozů
- bezúdržbový provoz
- dlouhá životnost (několik let)
- bezdrátový přenos informací (softwarové rozhraní pro „nepřetržitý“ přenos a kontrolu informací)
- teplotní odolnost od -40 °C do +70 °C
- snímače musí vydržet požadované rozsahy teplot
- zabezpečení systému - správa přístupů a licencí, zálohování databází
- možnost konfigurace řídicí jednotky a sledování veličin
 - uživatel bude mít možnost zadat krajní meze měřených veličin
- vyhodnocování, jestli parametry vyhovují - ALARM pokud jsou mimo meze
- možnost stavu hibernace - za účelem snížení spotřeby energie

Řada výše uvedených parametrů patří k velmi důležitým, aby nedocházelo k ohrožení na tratích, k poškození vlakových cest atp. Jiné sledované parametry naopak zajišťují bezúhonnost nákladů/přepravovaného zboží, napomáhá k eliminaci finančních ztrát, a také odpadá nutnost kontrol, což vede k časovému urychlení dopravy.

Seznam měřených veličin:

a) Stav nákladu

- Teplota a vlhkost (klimatické podmínky)
- Detekce rázů a vibrací

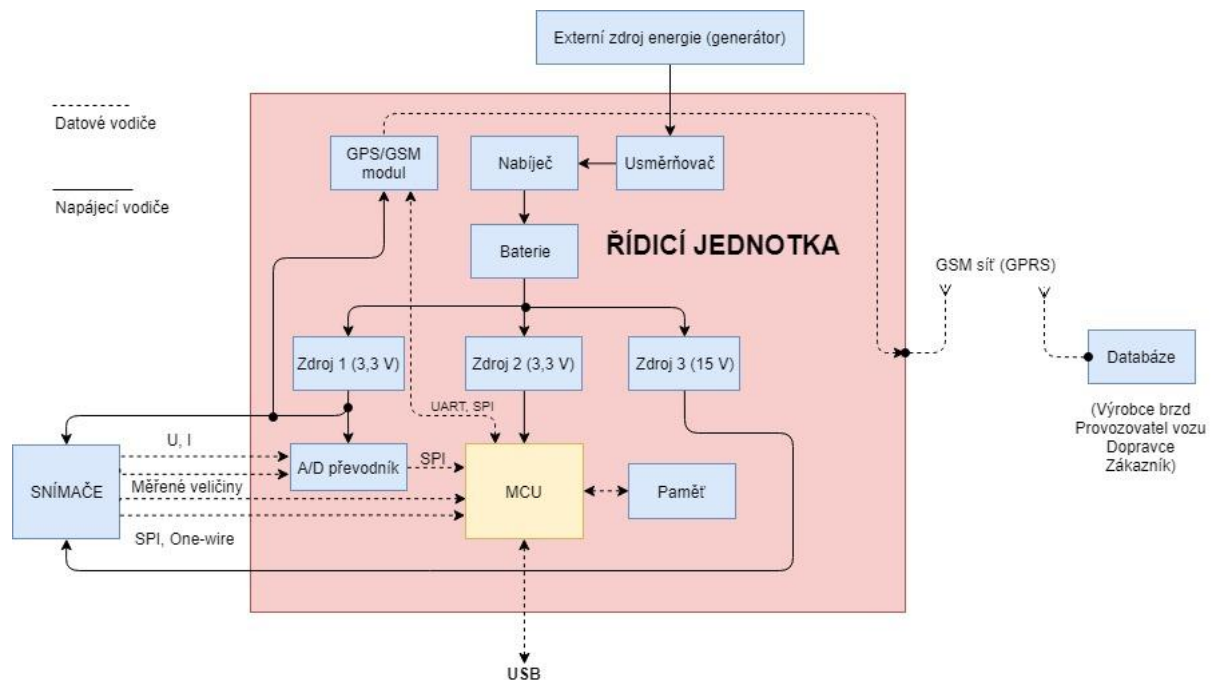
b) Stav vozu

- Poloha vozu
- Stav ložení vozu a rozložení nákladu
- Zploštění kol
- Rychlost vozu

c) Stav brzdy

- Tlak v brzdovém systému
- Stav obložení
- Teplota ložisek

4.3. Návrh architektury monitorovacího systému

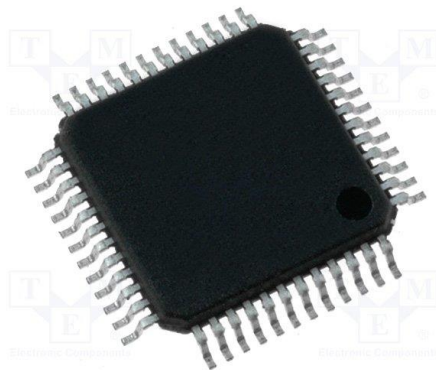


Obrázek 6 – architektura systému pro monitoring telemetrie

4.3.1. Řídicí jednotka

V dnešní době pokročilé elektroniky je jasné, že srdcem řídicí jednotky bude mikrokontrolér, který bude mít za úkol základní analýzu dat a následně jejich vyhodnocení. Data budou porovnávána v mikrokontroléru, jestli vyhovují přípustným hodnotám, které uživatel zadá. Následně se data přenesou a uloží na server. Zároveň, musí dojít k určité redukci dat, aby se nepřenášelo velké množství nedůležitých informací. Přípustné hodnoty zadá uživatel na server (z důvodu různých druhů nákladů a vozů), ze kterého si tyto informace řídicí jednotka stáhne. Pokud naměřená data překročí maximální zadané hodnoty, musí mikrokontrolér vyhodnotit chybu - ALARM. Dále se musí řešit měřicí algoritmy, tzn. četnost získávání, vyhodnocování a přenosu dat a jaké veličiny chceme sledovat u daného typu vozu. Hardware musí být postaven tak, aby některé hodnoty „vzbudily“ mikrokontrolér a tím i řídicí jednotku. (viz 6.2).

Hlavní důležité požadavky na vybraný mikrokontrolér jsou, aby obsahoval použité sběrnice (UART, SPI, 1-Wire), musí mít dostatečný počet vstupů/výstupů, dostatečnou rychlost a IDLE režim. Takovéto parametry splňuje např. mikrokontrolér ARM Cortex M0 ATSAM21G15B-AU.



Obrázek 7 – Mikrokontrolér ARM Cortex M0 [6]

Vlastnosti:

- Mikrokontrolér ARM Cortex M0
- Šířka datové sběrnice 32 bit
- Kapacita paměti SRAM 4 kB
- Kapacita paměti Flash 32 kB
- Pracovní kmitočet 48 MHz
- Počet vstupů/výstupů 38 I/O
- Rozhraní I2C, SPI, UART [6]

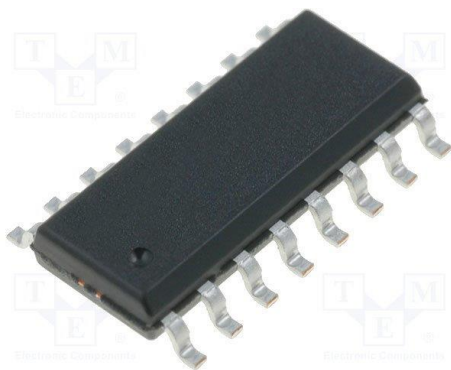
Napájení celého vnitřku řídicí jednotky bude řešeno přes kaskádu několika zdrojů, pro zajištění stability napájecího napětí jednotlivých subsystémů a snímačů (běžně u mikrokontrolérů 3,3V). Přes sběrnici SPI, bude k mikrokontroléru připojen výstup z A/D převodníků a výstup z digitálních snímačů. K připojení budou sloužit komunikační sběrnice 1-Wire a SPI. Řídicí jednotka bude mít možnost USB připojení, z důvodu lokální konfigurace řídicí jednotky a případné dobíjení. Součástí řídicí jednotky bude GPS modul (sledování polohy), který je detailněji probrán v kapitole 5.4., GSM/GPRS modul (zasílání dat na server) a zdroj energie.

Řídicí jednotka bude zalita do zalévací hmoty (např. zalévací hmota Sylgard 170 Fast Cure) a vložena do ochranného pouzdra, které již nemusí být vodotěsné. Může být tedy umístěna klidně na rám podvozku vozu. Zalévací hmota bude použita i pro ochranu některých dalších, níže popsaných snímačů.

4.3.2. A/D převodník

A/D převodník převádí spojitou (analogovou) formu dat, získaných ze snímačů, na diskrétní (digitální) formu. Tento proces se provádí z důvodu snazšího zpracování původně analogového signálu ze snímačů v mikroprocesoru. V této formě se pak dají data lépe zpracovávat a následně přenášet přes GSM síť. [7]

V řídicí jednotce budou umístěné externí A/D převodníky, z důvodu galvanického oddělení snímačů od mikrokontroléru, a jejich počtu. Řídicí jednotka bude mít možnost modifikace počtu vstupů pro konkrétní vozy a konfiguraci počtu snímačů. Jednotka bude vybavena analogovými proudovými kanály v rozsahu 4-20 mA a napěťovými kanály 0-10 V. Pro připojení až 21 analogových snímačů (viz Tabulka 1 – přehled veličin a snímačů, které budou použity), byl vybrán 8-mi kanálový převodník MCP300-I/SL, který bude v řídicí jednotce použit 3x. A/D převodníky budou k MCU připojeny přes sběrnici SPI. Cena 50 Kč za jeden kus.



Obrázek 8 – A/D převodník MCP300-I/SL [8]

Vlastnosti:

- Počet kanálů 8
- Rozlišení převodníku 10 bit
- Rozhraní SPI
- Rychlost vzorkování 200 ksps
- Pracovní teplota -40 až 85 °C
- Pracovní napájení 2,7 až 5,5 V [8]

4.3.3. GSM/GPRS modul

Úlohou GSM/GPRS modulu bude přenášení dat pomocí služby GPRS (která umožňuje GSM přenos dat a připojení k internetu), a to ve vhodně zvoleném intervalu, z důvodu snížení spotřeby energie. GSM síť je forma digitálního přenosu, tzn., že pro přenos je zapotřebí mít data v digitální formě. Pro příjem dat bude koncovým terminálem webová aplikace, která bude vytvářet databáze zaslaných dat a ke které se bude možné kdykoliv připojit

přes webové rozhraní. Uživatelé tedy bude stačit např. mobilní telefon pro získání potřebných informací.

Pro účely této bakalářské práce byl vybrán modul QUETCEL M95 (cena cca 200 Kč).



Obrázek 9 – GSM/GPRS modul [9]

Vlastnosti:

- Vysoce kompaktní čtyř-pásmový GSM/GPRS modul
- Spotřeba energie 246 mA během přenosu
- Sběrnice UART
- Napájecí napětí 3,3 – 4,6 V [9]

4.3.4. Zdroje energie

Řídicí jednotka bude mít dva zdroje energie. Akumulátor, který bude nabíjecí, a druhý generátor, který bude sloužit pro dobíjení akumulátoru. Zároveň bude generátor při jízdě napájet řídicí jednotku včetně snímačů. Akumulátor tedy bude používán pouze při stání vozu.

Akumulátorem bude lithiový článek. Tyto akumulátory jsou vhodné pro zařízení, které mají dlouhodobě nízký odběr. Výhodou těchto akumulátorů je jejich malé samovybití, které je ideální v případě odstavení vozu. Jsou lehké, malé a výkonné. Akumulátor bude ve formě 3S článku (3 články sériově zapojeny, pro napětí vyšší jak 9 V).

Bude nutné stanovit kapacitu, která bude dána v závislosti na spotřebě jednotlivých subsystémů, vzorkovací frekvenci měření a výběru vhodného způsobu nabíjení (typ generátoru).

Kapacita baterie také závisí na volbě inteligentního měřicího algoritmu, pro minimalizaci spotřeby energie.



Obrázek 10 – Li-ion akumulátory [10]

Generátor může být řešen více způsoby, v úvahu připadá:

a) *Využití sluneční energie*

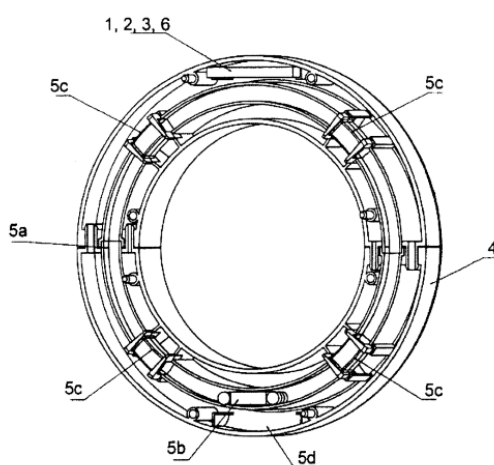


Obrázek 11 – solární panel [11]

Solární panel

- Jednoduché, cena závislá na výkonu
- Možné dobíjení i při stání vozu
- Nízká spolehlivost – závislost na okolním prostředí, nízká účinnost
- Stárnutí panelu – nutná výměna
- Malá mechanická odolnost, potřeba údržby
- Problém umístění a zajištění panelu

b) *Využití otáčení osy dvojkolí*

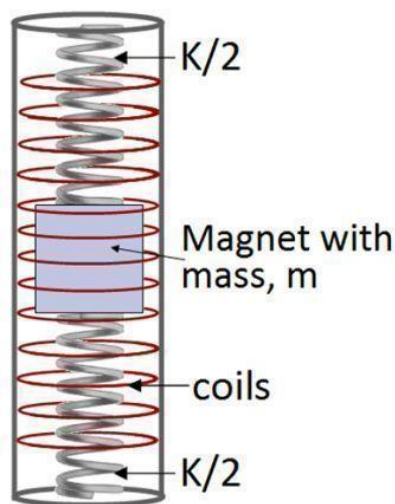


Obrázek 12 – elektromagnetický generátor (rotační) [12]

Princip elektromagnetické indukce

- Upevnění na ose dvojkolí vozu nebo jako součást ložiskové skříně
- Robustní zařízení – mechanicky odolné a stabilní (vibrace, teploty)
- Vysoká životnost
- Nepotřebuje údržbu
- Dostatečné množství energie (desítky až stovky W)
- Dodává energii jen od určité rychlosti
- Vyšší cena
- Složitá instalace

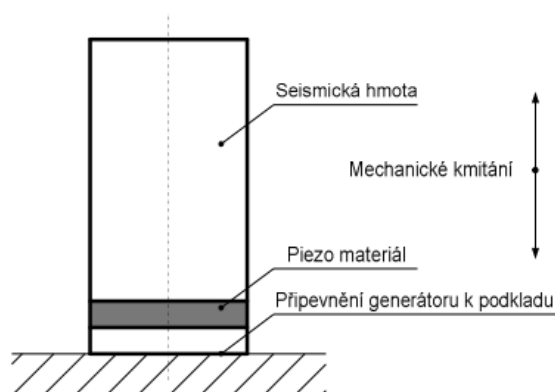
c) Využití mechanického kmitání



Obrázek 13 – elektromagnetický generátor (kmitavý) [13]

Princip elektromagnetické indukce

- Převádí kinetickou energii vibrací (svisé kmitání) na elektrickou energii
- Vysoká životnost
- Instalace v prostoru nápravy vozu
- Výkon závislý na vibracích, respektive zrychlení (g), nedokonalosti trati a vlivu okolí
- Dodává energii jen za provozu vozu
- Spíše pro menší výkony – jednotky až desítky mW
- Drahé řešení



Obrázek 14 – piezoelektrický generátor [14]

Piezoelektrický princip

- Vlastnostmi podobný, jako princip elektromagnetické indukce
- Úzká šířka pásma vibrací pro dostatečný výkon – nižší energetický zisk, nižší účinnost
- Vytváří vysokonapěťové špičky
- Problém vstřebání energie

Jako nejvhodnější způsob výroby elektrické energie pro dobíjení akumulátoru řídicí jednotky se jeví využití otáčení osy dvojkolí – elektromagnetický generátor. Způsob použití piezoelektrického generátoru je velice závislý na složených vibracích v různých provozních podmínkách. Solární panel se jeví jako jednoduché řešení, je zde ale veliký problém umístění panelu a dalších nevýhod.

5 ZPŮSOBY VYHODNOCOVÁNÍ JEDNOTLIVÝCH VELIČIN

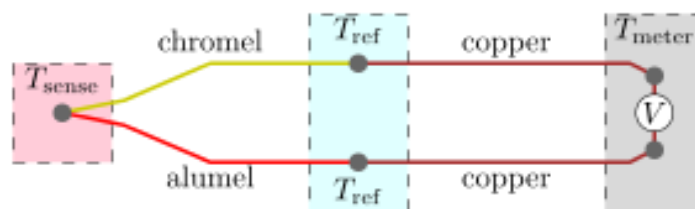
Při návrhu vyhodnocování jednotlivých veličin byly vybrány způsoby měření, které připadají v úvahu. V případě více možností došlo k porovnání a výběru vhodnějšího způsobu.

Zásadním požadavkem, který by měla jednotlivá řešení splňovat, je nízká spotřeba energie, z důvodu úvahy, že zařízení bude při stání napájeno z akumulátoru. Spotřeba energie závisí především na aktivitě některých subsystémů. Výhodou, při výběru snímačů, je požadavek nízké vzorkovací frekvence. Dle jednotlivých požadavků bude vytvořen algoritmus pro vyhodnocování veličin. K řídicí jednotce se bude moci připojit uživatel, který bude mít možnost číst aktuální stav a případně i nahrávat intervaly přípustných hodnot pro daný náklad a jízdu vlaku. Z celkového hlediska zájmu zákazníků musí být i cena co nejnižší. Dále se musí uvažovat bezúdržbový provoz a dlouhá životnost v běžných podmínkách provozu (viz kapitola 4.2.)

5.1. Teplota (nákladu, okolí, ložisek)

5.1.1. K termočlánek

Teplotní senzor složený ze dvou různých, vodivých materiálů, které jsou na jednom konci spojeny. Mezi tímto spojem vzniká rozdíl elektrických potenciálů a nastává tzv. Seebeckův jev. „V neuzavřeném obvodu lze mezi oběma spoji dvou kovů naměřit **termoelektrické napětí** ΔU , které je dáno rozdílem kontaktních napětí vznikajících na obou spojích daných kovů.“ [15]. Takto funguje termočlánek za předpokladu, že se teplota spoje liší, od teploty na druhém konci vodičů. Termočlánek poté produkuje napětí v závislosti na rozdílu teplot. Výstupem je poté napětí řádově v milivoltech. Pro přesná měření je potřeba termočlánek kompenzovat (např. kompenzační pouzdro IO).



Obrázek 15 – Termočlánek [16]

K termočlánek dokáže spolehlivě měřit teplotu v rozsahu od $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dal by se využít pro měření všech potřebných teplot (nákladu, okolí i ložisek). K instalaci jsou potřeba pouze dva vodiče, nepotřebuje napájení. Cena je závislá na přesnosti, pro toto použití řádově desítky korun.

5.1.2. DS18B20

Jde o digitální teplotní čidlo od firmy Maxim (dříve Dallas), které dokáže spolehlivě s přesností ± 2 °C měřit teplotu v rozsahu od -55 °C do 125 °C. V tomto případě se dostaneme na vyšší přesnost, protože nepotřebujeme měřit krajní meze. Napájecí napětí 3 – 5,5 V. Rozlišení závisí na nastavení A/D převodníku tohoto čidla (9, 10, 11 a 12-bit). Při vyšší požadované přesnosti je doba vyhodnocení čidla delší, ale v tomto použití nebude vadit. Výhodou těchto čidel je, že se dají zapojit za sebou „na jeden vodič“ (rozhraní 1-Wire), protože každé čidlo má svou specifickou adresu. Dalo by se použít jak pro měření teploty okolí, tak i nákladu. Velice levné (20 Kč), jednoduché zařízení.



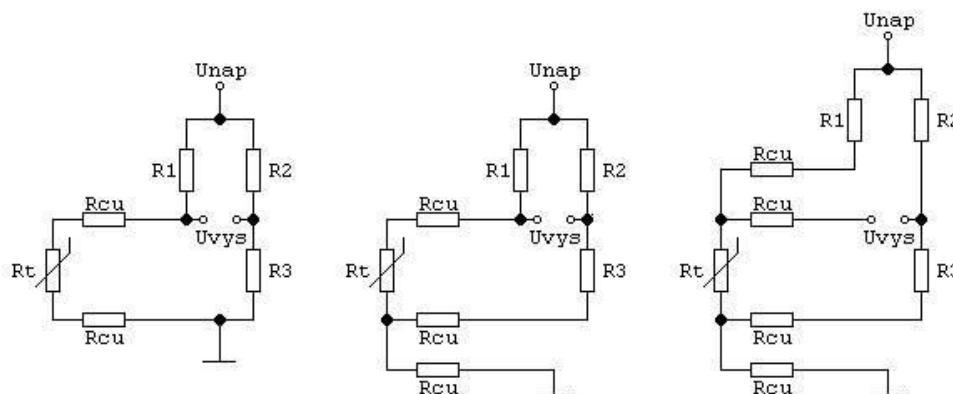
Obrázek 17 – Teplotní čidlo DS18B20 [17]



Obrázek 16 – Teplotní čidlo DS18B20 v ochranném, vodotěsném pouzdře [18]

5.1.3. Pt100

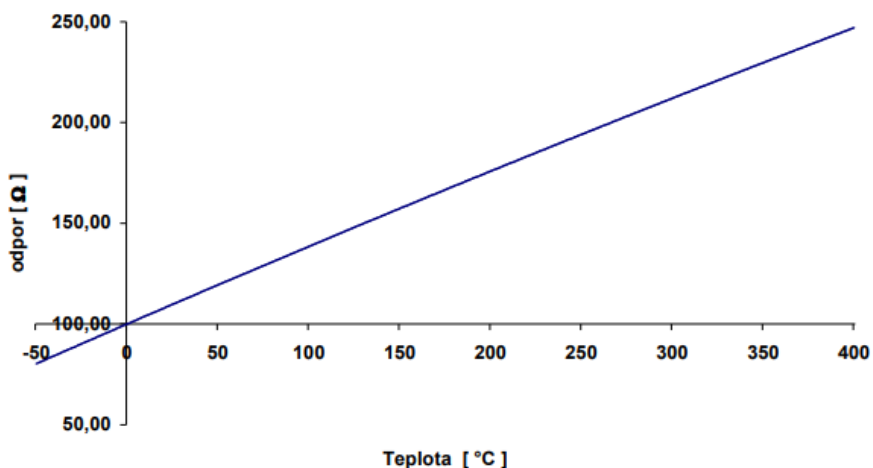
Odporový snímač pracující na principu změny elektrického odporu kovu v závislosti na teplotě. Kovový materiál je zde ze směsi platiny a číselná hodnota 100 znázorňuje hodnotu odporu při teplotě 0 °C, tedy 100 Ω . Čidlo Pt100 dokáže měřit teplotu v rozsahu od -200 °C do 850 °C s odchylkou $\pm 0,3$ °C při 0 °C. Používá se v můstkovém zapojení třemi způsoby: dvouvodičové, třívodičové a čtyřvodičové – Obrázek 18. Odporových můstků se zde využívá ze dvou důvodů. Jednak ke kompenzaci parazitních odporů (R_{cu}), kdy při delším vedení vodičů vznikají nezanedbatelné hodnoty odporu a také kvůli teplotní stabilizaci, kdy dochází k zahřívání odporů R_1 , R_2 a R_3 , které vlivem teploty mění svůj odpor. [19]



Obrázek 18 – Tři možnosti připojení senzoru k odporovému můstku, zleva: dvou vodičové, tří a čtyřvodičové propojení [19]

Pomocí Pt100 se dají měřit veškeré potřebné teploty – okolí, nákladu i ložisek. Při měření teplot od 0 °C do 100 °C, je závislost odporu materiálu na teplotě téměř lineární viz Obrázek 19, ale pro vyšší rozsahy teplot by se musely závislé parametry aproximovat polynomem vyšších řádů. Dvouvodičové zapojení by se dalo použít pro měření teploty ložisek (není potřeba vysoká přesnost) a čtyřvodičové zapojení pro měření teploty nákladu a okolí. Oproti předešlým uvažovaným snímačům je tento způsob poněkud dražší (do 100 Kč v klasickém pouzdře anebo dražší např. v kovovém šroubovacím pouzdře).

Charakteristika čidla



Obrázek 19 – závislost odporu na teplotě čidla Pt100 [30]

5.1.4. Zhodnocení a výběr snímačů teploty

Pro měření teploty okolí a nákladu bude použito digitální čidlo **DS18B20**, které je pro toto použití ideální, má dostatečnou přesnost, je levné a nepotřebuje A/D převodník. Pro měření teploty ložisek se jeví jako vhodné řešení K termočlánek, ale problémem u nákladních vozů jsou rušivé elektromagnetické vlivy, které se na vozech vyskytují (více rozvinuto v 5.5). K termočlánek generuje napětí v řádech milivoltů a mohlo by docházet k velkým chybám měření vlivem délky vedení od snímače k řídicí jednotce. Proto pro měření teploty ložisek budou použity snímače **Pt100** s integrovaným převodníkem na proudovou smyčku 4-20 mA (více rozvinuto v 5.5).

Snímač DS18B20 bude umístěn na plošném spoji a kontakty budou zality v zalévací hmotě anebo se použije přímo snímač v chráněném pouzdře (Obrázek 16), který bude objímkou připevněn v prostoru měření, či lepený. Jeden snímač pak bude uvnitř vozu, poblíž nákladu a druhý na podvozku vozu. Snímače Pt100 budou pravděpodobně použity v šroubovacím pouzdře, které budou zašroubovány do ložiskových skříní.

5.2. Vlhkost

K měření vlhkosti bude použit kapacitní vlhkoměr, který je nejen vysoce odolný proti chemicky agresivním látkám, ale má i dobrou teplotní odolnost. Dielektrikem je polymer, který vysoce mění své dielektrické vlastnosti v závislosti na relativní vlhkosti okolí, se kterým je v kontaktu. Výstupem je pak kapacita, ale vyrábějí se i čidla s integrovaným obvodem, jejichž výstupem je poté přijatelnější veličina, napětí. Závislost relativní vlhkosti na kapacitě je téměř lineární. Pro účely této bakalářské práce bylo vybráno čidlo **HIH-5030-001**.



Obrázek 20 – vlhkoměr
HIH-5030-001 [20]

Vlastnosti:

- Napájecí napětí 2,7 V – 5,5 V DC
- Měření vlhkosti v rozsahu 0 až 100 % RH
- Pracovní teplota -40 °C až 85 °C
- Analogový výstup, napěťový, téměř lineární
- Vysoká přesnost ± 3 %
- Rychlá odezva
- Chemická odolnost [20]

U tohoto snímače je složitější umístění, protože „vstupní otvor“ musí být v přímém styku s okolním vzduchem a kontakty musí být zality v zalévací hmotě. Jeden snímač pak bude uvnitř vozu, poblíž nákladu a druhý na podvozku vozu.

5.3. Detekce rázů a vibrací + zploštění kol

Jako senzor dynamického a statického zrychlení byl vybrán 3-osý akcelerometr (dokáže měřit v ose X, Y i Z). Tento senzor je vhodný nejen pro detekci rázů a vibrací, ale i pro detekci náklonu, odstředivých a setrvačných sil. V podstatě pracuje na principu přeměny pohybu hmoty na elektrický signál. Vhodným řešením je senzor **LIS3DE**, protože maximální povolené rázy na skříní vozu jsou přibližně 5g (viz 3.1 Náklad). Toto čidlo má digitální výstup, nízký výkon, vysokou přesnost a nízkou cenu, pohybující se okolo 25 Kč.



Obrázek 21 – akcelerometr LIS3DE [21]

Vlastnosti:

- Napájecí napětí 1,71 V – 3,6 V DC
- Rozsah konfigurovatelný ± 2 g až ± 16 g
- 8-bit digitální výstup, rozhraní I2C/SPI
- Teplotní odolnost -40 °C až 85 °C
- Vysoký šok přežití 10 000 g [21]

Tento senzor se nedá použít pro detekci zploštěného kola. Musel by být použit akcelerometr, který dokáže zaznamenat daleko vyšší rázy a musel by být umístěn blízko kola vozu. Tento snímač bude umístěn uvnitř nákladního vozu, poblíž nákladu. Bude umístěn na plošném spoji, který bude zalit v zalévací hmotě a umístěn v plastovém pouzdře.

5.4. Poloha a rychlost vozu

K určování polohy přímou metodou se již dlouhodobě využívají radiové vlny. Zapotřebí je přijímače umístěného v zařízení, které chceme sledovat a výběr vhodného družicového polohového systému (přijímač měří vzdálenost k několika družicím a svoji vzdálenost pak měří protínáním). Nejběžnější používané systémy pak jsou systémy **GPS**, **Glonass** a **Galileo**. Tyto systémy dokáží přesně (na jednotky metrů) určit geografickou polohu zařízení kdekoliv na Zemi. V nynější době se používá i kombinace těchto systémů, které ještě zvyšují přesnost určování polohy, v dostání za stejnou cenu.

Systém GPS (Global Positioning System) je provozován armádou USA, ale funguje i pro civilní účely. Má relativně vysokou polohovou přesnost (jednotky metrů pro civilní účely). Dokáže určit polohu i čas, tzn., že se dá použít i pro měření rychlosti. Signál je dostupný kdekoliv na Zemi, téměř za každého počasí, 24 hodin denně. Polohu je možné určovat v třírozměrném prostoru. Naproti tomu systém GLONASS využívá ruská armáda, ale také má

i civilní využití. Hlavní výhodou je, že se dá lépe použít ve vysokých zeměpisných šířkách (sever, jih) oproti systému GPS. Nevýhodou pak je nižší přesnost. Systém Galileo vznikl za účelem nezávislosti na systémech GPS a GLONASS a je provozován Evropskou unií. Tento systém je vysoce přesný, dokáže určit polohu i v místnostech a tunelech. Byl vytvořen především pro civilní účely. Za příplatek se dostaneme na nejvyšší přesnost v civilním využití, desítky centimetrů. Pro účel sledování železničního nákladního vozu není přesnost určování polohy tolik důležitá.

GPS GLONASS modul **SIMCON SIM68V** je modul, který podporuje kombinaci všech tří výše probraných navigačních systémů a navíc obsahuje systém QZSS, což je družicový navigační systém pro Japonsko. Přesnost měření polohy $\pm 2,5$ m je dostačující, navíc se dá pomocí tohoto modulu měřit i rychlost vozu s přesností $\pm 0,1$ m/s. Cena cca 300 Kč.



Obrázek 22 – GPS GLONASS modul
SIMCON SIM68V [22]

- GPS, GLONASS (Galileo, QZSS)
- Přesnost měření polohy $\pm 2,5$ m
- Pracovní teplota -40 °C až 85 °C
- Napájecí napětí $2,8$ V – $4,3$ V
- Přesnost měření rychlosti $\pm 0,1$ m/s
- Studený start < 28 s
- Rozhraní SPI, I2C, UART, PPS [22]

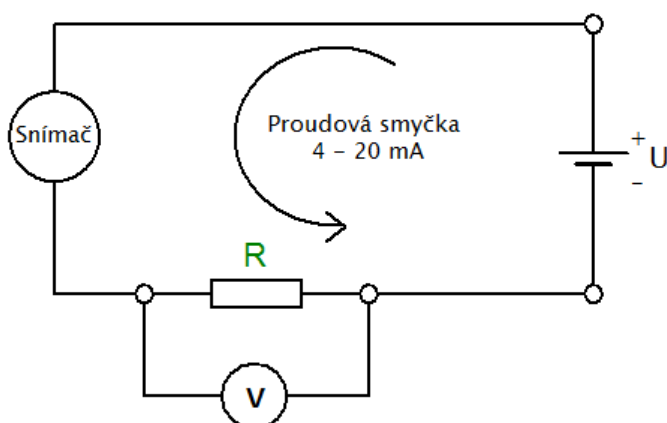
Měření rychlosti vozu pomocí tohoto modulu je vhodným řešením. Je zde sice určitá šance ztráty signálu, ale tento faktor není v tomto případě až tak důležitý. Nevýhodou je zde doba studeného startu, až 28 s. Z tohoto faktu vyplývá, že bude nutné dále řešit měření rychlosti vozu při rozjezdu. Tento modul bude součástí řídicí jednotky.

5.5. Stav ložení vozu, rozložení nákladu a tlak v brzdovém systému

Ke zjištění stavu ložení vozu, rozložení nákladu a potažmo i tlaku v brzdovém systému budou použity proudové analogové snímače tlaku. Napěťové snímače tlaku nepřipadají v úvahu z důvodů elektromagnetického rušení vyskytujícího se v okolí vozů (např. průjezd elektrické lokomotivy po druhé koleji, nebo přímo z kolejí – kolejové obvody, počítače náprav, detektory vozidel apod.) a delších vodičů vedoucích ze snímačů do řídicí jednotky, kvůli úbytkům napětí na vedení. Z tohoto důvodu by vznikaly vysoké nepřesnosti měření. Standardem u proudových snímačů je pak užití proudové smyčky 4 až 20 mA, pomocí které se eliminuje rušení a vzniku chyb. Velkou nevýhodou těchto snímačů je jejich spotřeba elektrické energie.

Proudová smyčka 4 až 20 mA se používá pro přenos naměřených veličin ze snímačů na delší vzdálenosti (desítky metrů). Hodnota 4 mA značí spodní hranici měřené veličiny a hodnota 20 mA pak horní hranici. Proudová smyčka se vyznačuje svou vysokou odolností proti elektromagnetickému rušení a svou jednoduchostí, kdy stačí pouze dva vodiče pro přenos signálu, které zároveň slouží pro napájení snímače. Velkou výhodou je detekce přerušení vodiče, kdy proud klesne na 0 mA. Měřená veličina je nejprve převedena na elektrický proud a přijímač pak obvykle neměří přímo proud, ale měří úbytek napětí na bočníku.

Tato proudová smyčka by mohla být použita i pro měření teploty ložisek pomocí snímačů Pt100 (kapitola 5.1.3).



Obrázek 24 – proudová smyčka 4 až 20 mA



Obrázek 23 – snímač tlaku MBS 3000 0-10 bar [23]

Příkladem je proudový snímač tlaku **MBS 3000 0-10 bar** (Obrázek 23). Dokáže měřit relativní nebo absolutní tlak v rozsazích od 0 – 10 bar do 0 – 600 bar. Tento tlak poté převede pomocí proudové smyčky 4 – 20 mA na elektrický proud. Tento snímač má vysokou odolnost. Pouzdro a smáčené komponenty jsou vyrobeny z kyselinovzdorné nerezové oceli (AISI 316L). Teplotní rozsahy jsou od -40 °C do +80 °C. Nevýhodou tohoto snímače je vysoká cena (3500 Kč), navíc těchto snímačů bude na voze několik. [23]

Počet snímačů na nákladních vozech je závislý na počtu podvozků. Na každý vůz pak připadá jeden snímač tlaku v hlavním potrubí (HP) a na každý podvozek navíc další dva snímače, v brzdovém válci (BV) a snímači zatížení DAKO SL2. U nejběžnějších dvoupodvozkových vozů tedy bude: 1 x HP, 2 x BV a 2x SL2 = 5 snímačů tlaku.

5.6. Stav brzdového obložení

5.6.1. Přerušení drátu zalitého v brzdové desce

Tento způsob kontroly opotřebení brzdového obložení je velice oblíbený v automobilové dopravě. Jde o velice jednoduchý princip. Dva vodiče jsou zavedeny a zality do brzdové destičky, kde nejsou vodivě propojeny. Důležité je, aby došlo k uzavření elektrického okruhu, který bude signalizovat opotřebení brzdového obložení. K tomuto jevu dojde, když brzdový kotouč opotřebí obložení na minimum a odkryje vodiče, které se vodivě propojí o kotouč. Výhodou je, že se může vytvořit i více úrovní této detekce. Relativně spolehlivé a jednoduché řešení.



Obrázek 25 – zalití drátu v brzdové desce u automobilu [24]

Největší nevýhoda se jeví při poškození vodičů, kdy při opotřebeném obložení nedojde k žádné signalizaci. Zalití vodičů do brzdových destiček je poměrně nákladné a nové obložení musí obsahovat opět nové zalité vodiče.

5.6.2. Vzdálenost brzdových desek (snímač vzdálenosti)

V případě snímače vzdálenosti by se musel použít indukční snímač vzdálenosti, který dokáže spolehlivě detekovat vzdálenost vodivého materiálu až na desítky mm a to i v náročném prostředí brzdové soupravy (prach, vlhkost, teploty, elektromagnetické rušení...).

Hlavním aktivním prvkem snímače je cívka navinutá na konci tohoto snímače. Průchodem proudu vytváří cívka magnetické pole, které generuje elektromotorické napětí ve vodivém materiálu. Tím dojde ke vzniku vířivých proudů. Vířivé proudy vyvolávají magnetické pole, které působí vůči magnetickému poli, jež je vyvolalo. Dochází k potlačení původního

magnetického pole a změně proudu protékajícího obvodem snímače. K tomuto jevu dochází při velmi malých vzdálenostech, řádově jednotky až desítky mm.

5.6.3. Koncový spínač

Koncový spínač pracuje na principu spínání a rozpínání elektrických obvodů v koncových polohách. Je tvořen mechanickou a elektrickou částí. Vlivem změny polohy mechanické části dochází v koncových polohách ke spínání a rozpínání kontaktů. Podle potřeby použití je pak mechanická část tvořená např. pákou, lankem, plunžrem apod.

Největším problémem u použití koncového spínače a snímače vzdálenosti je „nepřesnost“ tohoto měření. Oba tyto snímače pracují s určitou hysterezí. Dalším problémem se jeví umístění těchto snímačů a odolnost proti vysokým rázům vznikajícím na brzdové soupravě.


Sledování stavu obložení je velice důležitý parametr, který je potřeba sledovat s vysokou přesností, proto bude použit způsob **zalitého drátu v brzdové desce**.

5.7. Přehled snímačů

V tabulce níže je vypsán přehled snímačů pro nejnáročnější a zároveň ještě běžně používané nákladní vozy, třípodvozkové a počítá se s nasazením na nejpoužívanější podvozky Y25. Třípodvozkové vozy nejsou plně rozšířené, ale do budoucna se počítá s nárůstem jejich počtu. Je nutné počítat i s nárůstem ceny řídicí jednotky, resp. ceny počtu snímačů, pro tyto vozy.

Tabulka 1 – přehled veličin a snímačů, které budou použity (pro jeden třípodvozkový vůz)

Přehled snímačů	Typ snímače	Počet	Umístění
Teplota okolí	DS18B20	1	podvozek
Teplota nákladu	DS18B20	1	skříň – blízko nákladu
Teplota ložisek	Pt100	12	součást ložiskové skříně
Vlhkost okolí	HIH-5030-001	1	podvozek
Vlhkost nákladu	HIH-5030-001	1	skříň – blízko nákladu
Rázy/vibrace nákladu	LIS3DE	1	skříň – blízko nákladu
Poloha vozu GPS	SIMCON SIM68V	1	v řídicí jednotce
Odesílání dat GSM/GPRS	QUECTEL M95	1	v řídicí jednotce
Ložení vozu (tlak)	MBS 3000 0-10 bar	3	vypružení rámu
Tlak brzdové soustavy	MBS 3000 0-10 bar	4	rozvaděč
Rychlost vozu	SIMCON SIM68V	1	v řídicí jednotce
Stav obložení	vodič v brzdové desce	12	brzdová deska

 Tyto snímače budou připojeny do externích A/D převodníků

6 SPOTŘEBA ELEKTRICKÉ ENERGIE SYSTÉMU

6.1. Odhadovaný výpočet spotřeby elektrické energie monitorovacího systému

Při výpočtu spotřeby energie monitorovacího zařízení byl brán v úvahu maximální možný počet použitých snímačů. Výsledná spotřeba energie systému je shrnuta v tabulce níže.

Tabulka 2 – odhad maximální spotřeby energie monitorovacího systému [9], [20], [21], [26], [27], [28], [29]

		spotřeba max. [mA]	počet	celková spotřeba max. [mA]	napájení [V]	spotřeba [mW]
Brzd. obložení	vodič	→0	12	→0	15	0
Tlaky	MBS 3000 0-10 bar	20	7	140	15	2100
Vlhkosti	HIH-5030-001	0,5	2	1	3,3	3,3
Zrychlení	LIS3DE	0,011	1	0,011	3,3	0,0363
GPS	SIMCON SIM68V	30	1	30	3,3	99
Teploty	DS18B20	1,5	2	3	3,3	9,9
Teploty	Pt100	20	12	240	15	3600
GSM/GPRS	QUECTEL M95	246	1	246	3,3	811,8
Převodníky	MCP3008-I/SL	0,55	3	1,65	3,3	5,45
MCU	ARM Cortex M0	3,64	1	3,64	3,3	12
Celkově				665		6642

Spotřeba energie některých subsystému a snímačů (převážně spotřeba proudových snímačů) zde není malá. Při napájení proudové smyčky 4-20 mA 15 V, vychází maximální spotřeba snímače 300 mW a navíc zde může být až 19 snímačů s touto proudovou smyčkou. V závislosti na uvažované spotřebě energie některých subsystémů je potřeba počítat s uvedením monitorovacího systému do stavu hibernace. Není potřeba vyhodnocovat některé veličiny nepřetržitě a zároveň při odstavení vozu by sledování většiny veličin bylo zbytečné.

Celková spotřeba monitorovacího systému dle výsledné Tabulka 2, vychází přibližně 6,6 W a maximální odběr proudu 665 mA. Tabulka zohledňuje pouze trvalé maximální odběry zařízení nikoli odběrové špičky, které snímače mohou způsobovat během startu. Je nezbytné uvažovat i účinnost napájecích zdrojů uvnitř jednotky, která se pohybuje okolo 80% (např. TRACO POWER TDN 1WISM Series, nebo TEN 6WIN Series). [31][32] Vzhledem k tomu, že systém kalkuluje s dobou provozu v řádu let a je předpoklad probuzení řídicí jednotky z režimu hibernace a měření parametrů i několikrát za den, mohou tyto špičky mít významný dopad na celkovou spotřebu systému v dlouhodobém měřítku. Z toho důvodu bude nezbytné jak akumulátor, tak generátor dimenzovat s dostatečnou mírou bezpečnosti k.

6.2. Způsoby probuzení řídicí jednotky

a) Vibrace (G)

Při rozjezdu soupravy vznikají na jednotlivých vozech rázy, které je možné detekovat akcelerometrem. Problémem je potřeba vysoké citlivosti akcelerometru, který by byl příliš drahý a u použitého akcelerometru LIS3DE by nemusela být zaručena detekce rozjezdu. Z tohoto důvodu nebude možné tento způsob použít.

b) Poloha vozu

Využití GPS GLONASS modulu SIMCON SIM68V, který bude součástí výzbroje vozu, se jeví jako vhodný způsob řešení. Tento modul sice dokáže zaznamenat změnu polohy $\pm 2,5$ m a rychlost měřit s přesností $\pm 0,1$ ms⁻¹, ale doba studeného startu modulu je až 28 s. V takovémto případě by mohlo dojít např. k jízdě se zabrzděným vozem po tuto dobu.

c) Tlak v brzdovém válci

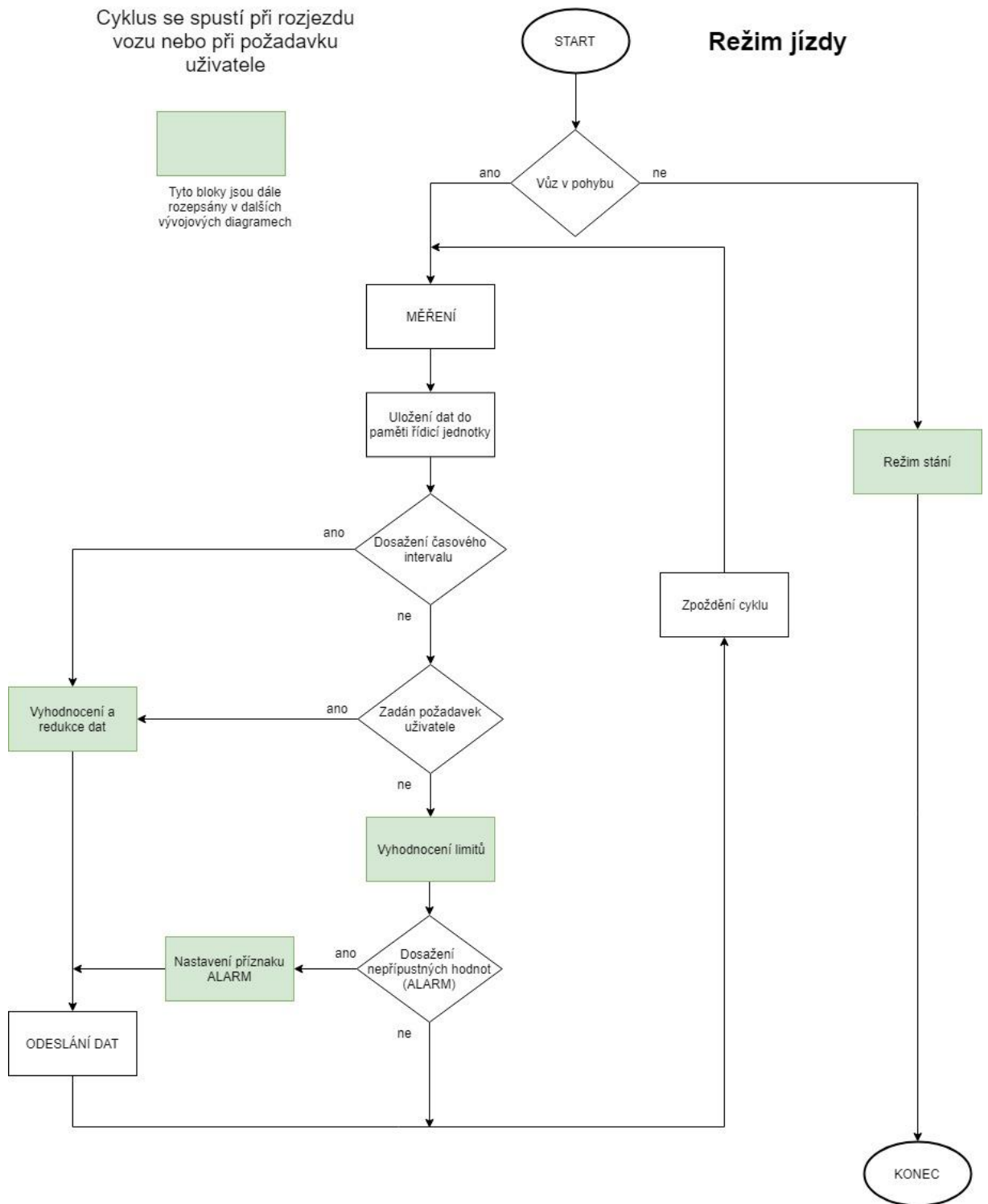
Pravděpodobně nejvhodnější způsob. Při delším stání vozu je tlak v brzdových válcích nulový = plně zabrzděný vůz. Před rozjezdem vozu je potřeba nejprve tlakovat brzdovou soupravu na hodnotu tlaku, při kterém má vůz stále maximální brzdný účinek (3,5 bar až 4 bar) a poté dojde postupně k odbrzdění. Takovýto proces trvá desítky sekund. Řídicí jednotka tedy bude mít nastavenou určitou hodnotu tlaku, při kterém dojde k probuzení řídicí jednotky a následně bude postupovat dle vytvořeného měřicího algoritmu.

d) Uživatelem

Probuzení monitorovacího systému uživatelem musí být nedílnou součástí. I při delším stání vozu je potřeba jednou za určitý čas zjistit potřebné informace, které řídicí jednotka nemá za úkol sledovat ve stavu hibernace.

7 NÁVRH SOFTWAREVÝCH FUNKCÍ

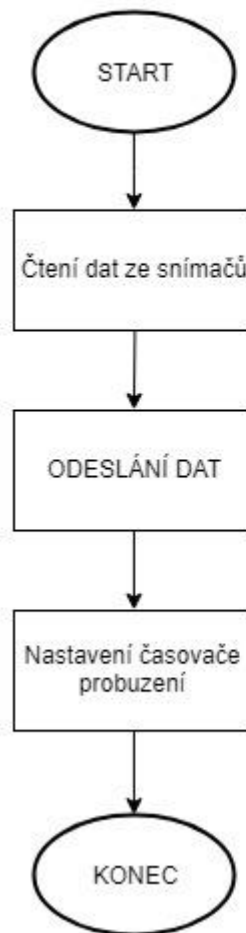
V této kapitole jsou vývojovými diagramy popsány navrhované softwarové funkce monitorovacího systému. Uvedené vývojové diagramy neřeší do detailu strukturu programu, slouží pouze k blokovému znázornění funkcí. Na jejich základě firma LEVEL SYSTEMS vytvoří reálné algoritmy pro jednotku GC095.



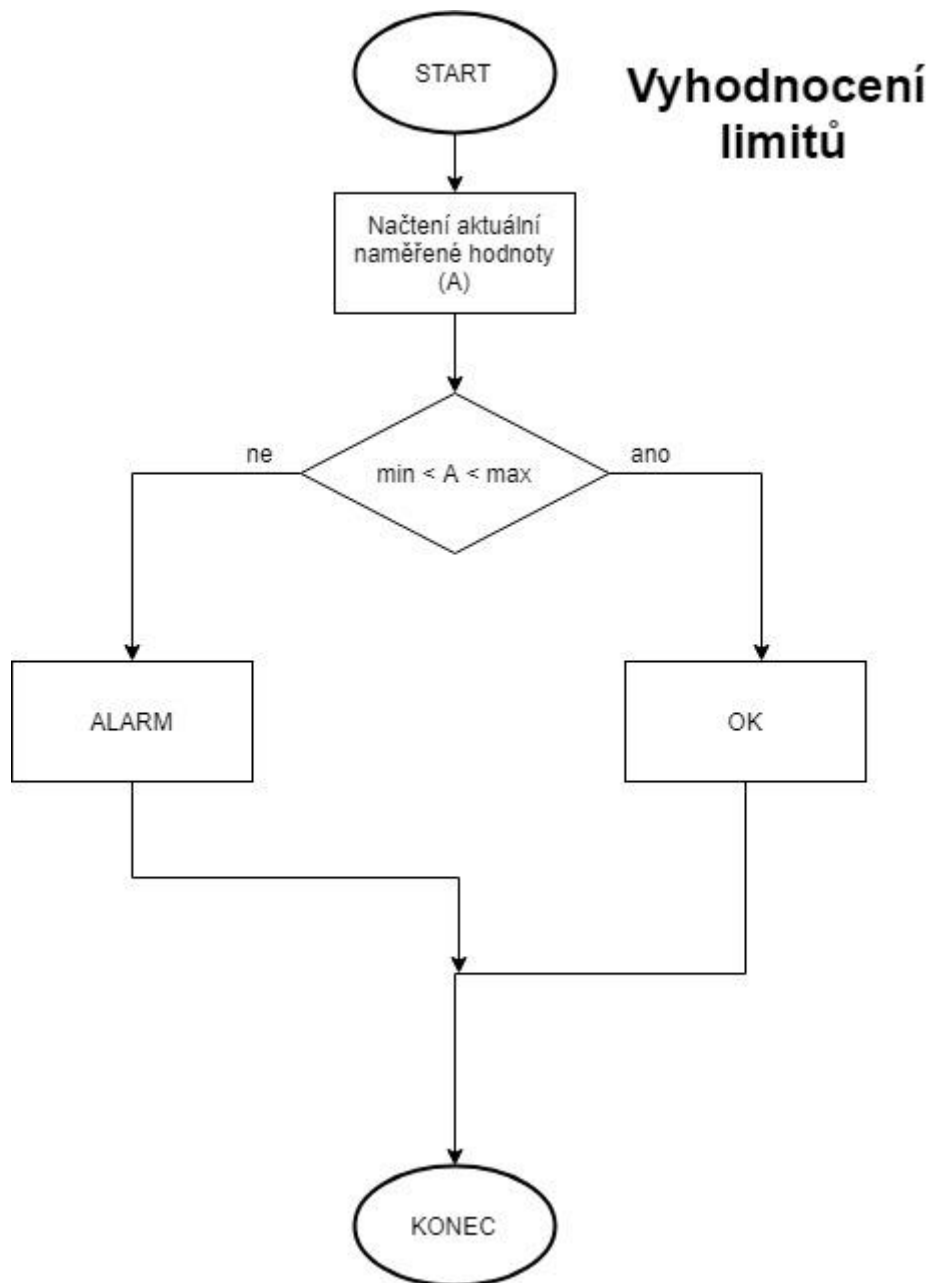
Obrázek 26 – Vývojový diagram 1 – režim jízdy

Režim stání

Cyklus se spustí po uplynutí časového intervalu



Obrázek 27 – Vývojový diagram 2 – režim stání

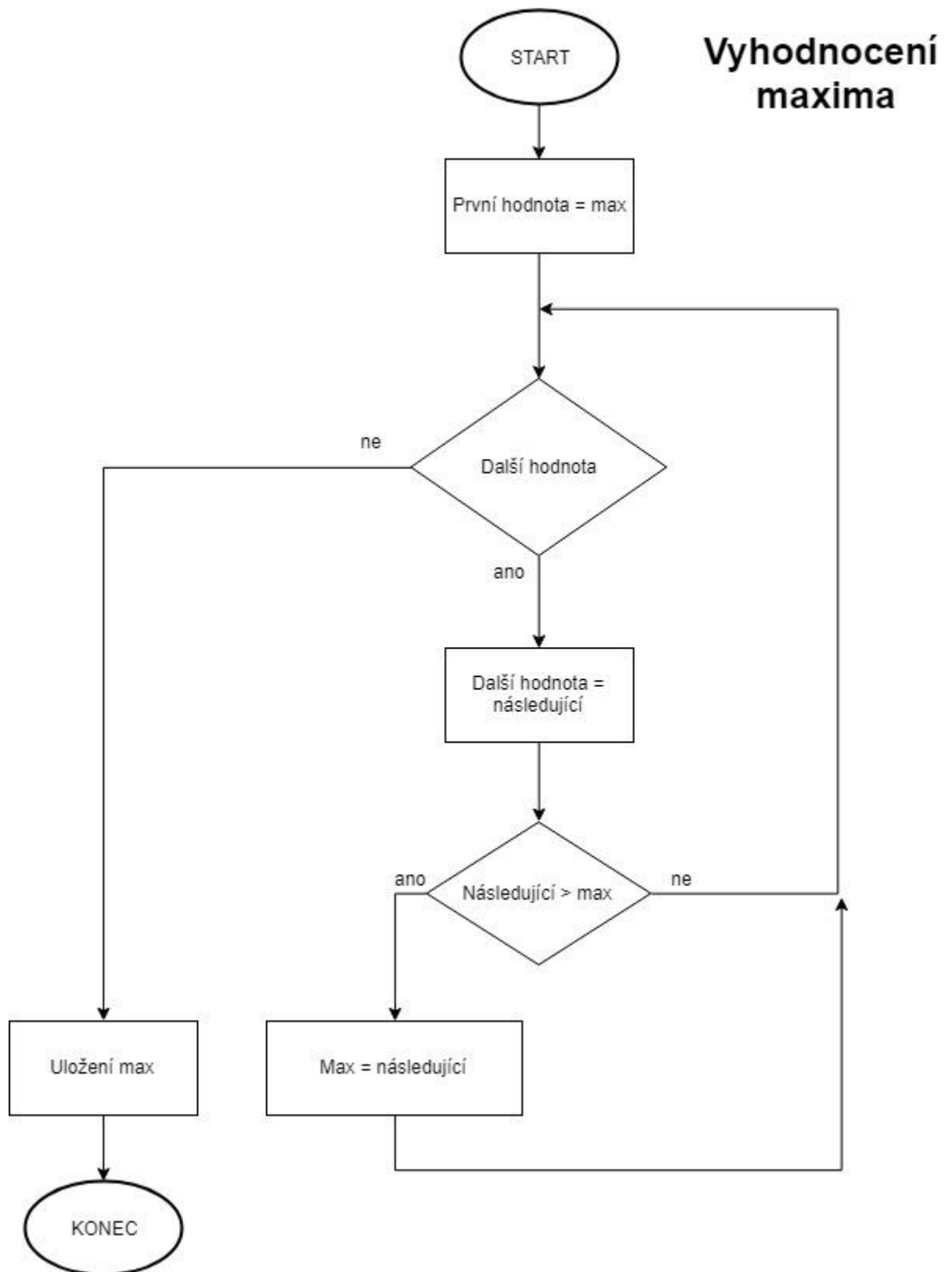


Obrázek 28 – Vývojový diagram 3 – vyhodnocení limitů

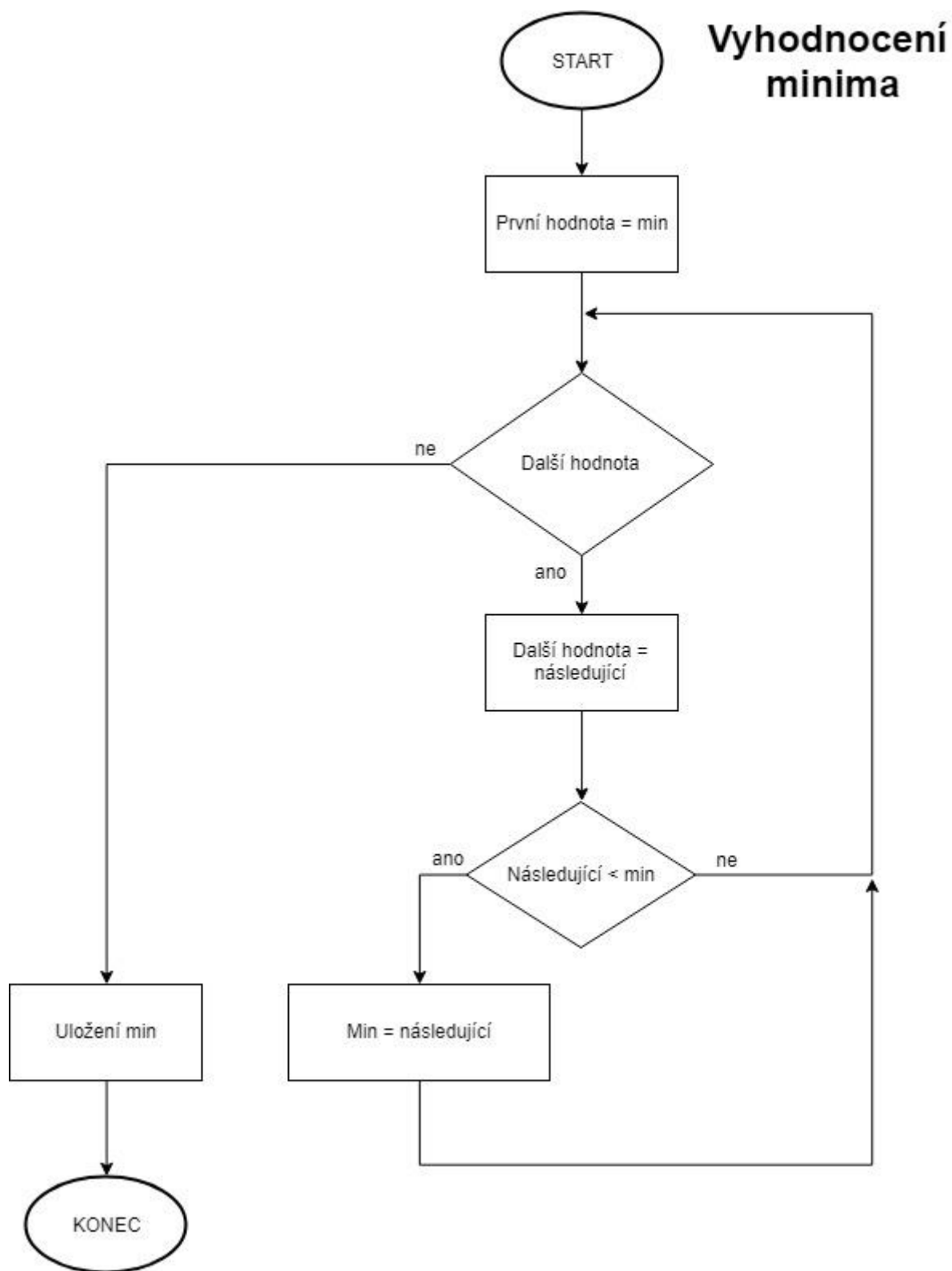
Vyhodnocení a redukce dat



Obrázek 29 - Vývojový diagram 4 - vyhodnocení a redukce dat



Obrázek 30 – Vývojový diagram 5 – vyhodnocení maxima



Obrázek 31 – Vývojový diagram 6 – vyhodnocení minima

8 REALIZAČNÍ POZNATKY

8.1. Detekce plochého kola

Během práce na projektu bylo po konzultaci s firmou Tatravagónka Poprad rozhodnuto, že detekce plochého kola není parametr, který má vliv na předčasný servis nebo odstavení vozu. Z tohoto důvodu není tento parametr nadále považován za prioritní a je řešen již pouze jako informativní měření. Přesná detekce tohoto jevu by kladla vysoké technické i ekonomické nároky na systém.

Z toho vyplývá, že nebudou kladeny vysoké nároky na použitý akcelerometr LIS3DE a odpadají i algoritmy pro detekci plochého kola.

8.2. Řešení generátoru

Ve spolupráci s NCKJB (Národní centrum kompetence Josefa Božka) bylo rozhodnuto, že Západočeská Univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická (FEL ZČU) zahájí vývoj generátoru do ložiskové skříně podvozku Y25 (standardní podvozek pro čtyřnápravové nákladní vozy) a jejich modifikace.

Generátor bude obsahovat:

- Snímač zrychlení – detekce rázů na kole vozu
- Snímač teploty – měření teploty ložisek
- Snímač otáček

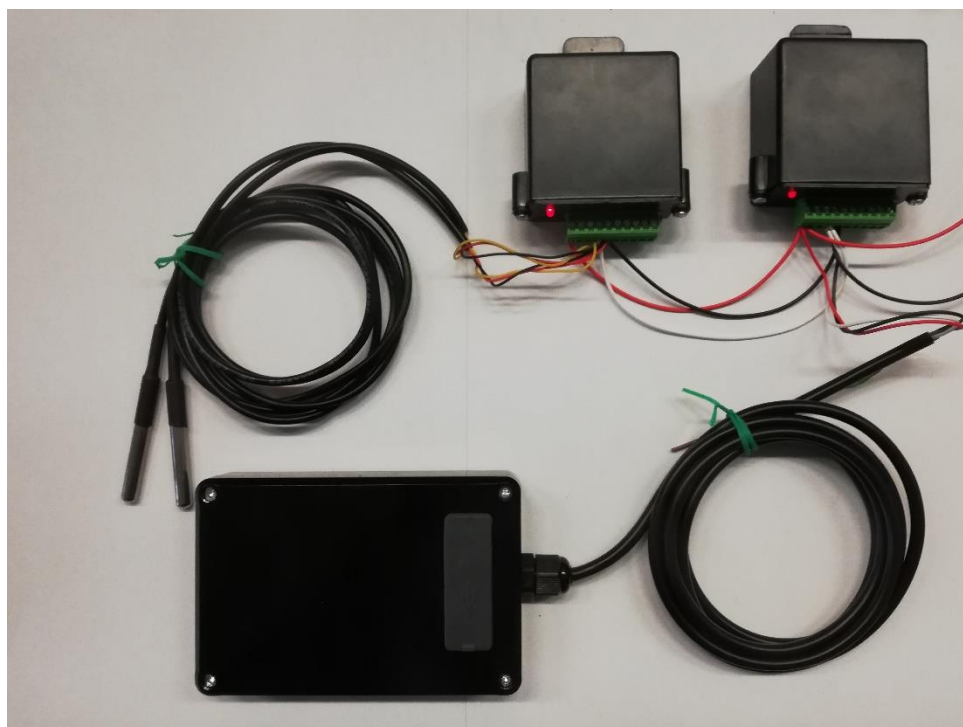
Výkon generátoru bude cca 50 – 200 W s výstupním napětím 15 VDC. Takový výkon generátoru je zvolen z důvodu plánování dalších elektronických systémů do budoucna, případně i uvažování o elektropneumatické brzdě. K dispozici tedy bude dostatečný výkon generátoru pro celý monitorovací systém a je tedy potřeba řešit převážně spotřebu systému ve stavu hibernace, resp. při stání vozu. Zároveň generátor řeší studený start GPS, kdy po dobu několika sekund při rozjezdu nebylo možné sledovat rychlost vozu a kontrolovat případnou jízdu se zabrzděným vozem. Pohyb vozu tedy bude detekován snímačem otáček umístěným v generátoru.

FEL ZČU zároveň vyvine víko ložiskové skříně bez generátoru s výše uvedenými integrovanými snímači otáček a teploty.

8.3. Prototyp řídicí jednotky

Jako prototyp řídicí jednotky byl použit základní modul GC095 od firmy LEVEL SYSTEMS, který je rozšířený o 1-Wire převodníky vstupů ED 060 200. Celý systém je dodán jako prototypové zapojení, kdy řídicí jednotka GC 095 je doplněna o rozšiřující moduly, obsahující A/D převodníky, a celé zařízení je propojeno externě vodiči viz Obrázek 32. Převodníky obsahují napěťové a proudové vstupy. Tyto analogové vstupy budou použity pro připojení snímačů tlaku 4-20 mA na zkušebním stavu, pro záznam tlaků v brzdové soustavě. Externí moduly komunikují s řídicí jednotkou přes rozhraní 1-Wire. Dále jsou paralelně na sběrnici 1-Wire připojeny snímače teploty DS18B20, které taktéž dodal výrobce LEVEL SYSTEMS pro testování. Tato topologie systému ukazuje nejen jednoduchost použití této sběrnice ale i možnost rozšíření systému o další měřící prvky.

Nejedná se o zařízení navrhnuté v kapitole 4.3., jde pouze o prototyp řídicí jednotky, která je určena pro ověření vhodnosti použití snímačů a demonstraci možného použití systému ve zkušebně DAKO-CZ.



Obrázek 32 – prototyp řídicí jednotky v základním provedení

Prototyp jednotky v aktuální konfiguraci viz Obrázek 32, je tedy schopen zaznamenávat následující parametry:

1. Napětí - libovolný počet kanálů - aktuálně 4x
2. Proud - libovolný počet kanálů - aktuálně 4x
3. Teplota dle počtu použitých 1-Wire snímačů - aktuálně 2x
4. Zrychlení (integrován akcelerometr)
5. Vlhkost (integrován vlhkoměr)
6. Polohu a rychlost (integrován GPS a GSM/GPRS modul)

Požadované rozsahy analogových vstupů řídicí jednotky jsou standardních 4-20 mA pro proudové kanály a 0-10 V pro napěťové kanály. Skutečné maximální rozsahy nejsou výrobcem jednotky uvedeny, a nebyly ani testovány. Do prototypové řídicí jednotky byly vytvořeny dva druhy testovacího SW:

SW 2.1.12 je konfigurován jako záznamník se vzorkovací frekvencí měření a odeslání dat 1x za 5 min.

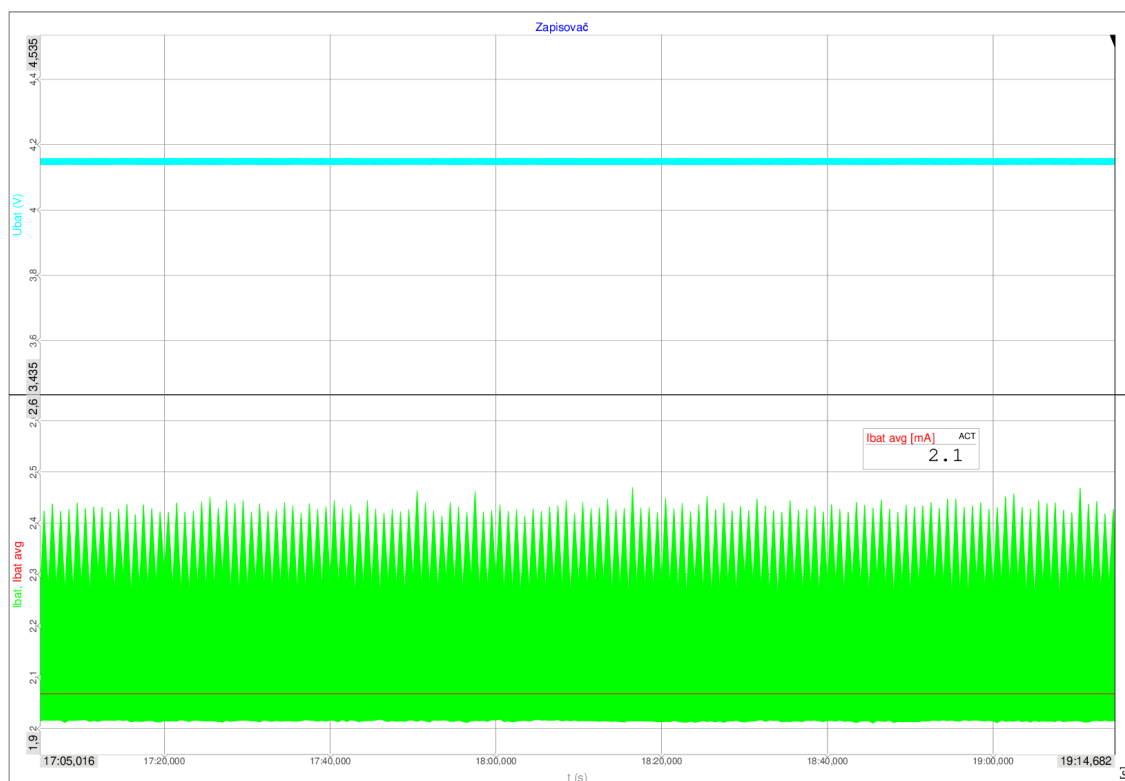
SW 3.1.01 je určen pro vizuální demonstraci výsledků měření v systému Positrex, který poskytla firma LEVEL SYSTEMS. Pro demonstraci, je použit záznam tlaků ze simulace odbrzdění vozu viz Obrázek 35. K aktivaci měření po dobu 5 min slouží impuls z akcelerometru, kdy zatřesením jednotkou se zahájí měření (jinak je systém v režimu hibernace). Tím je také ověřena funkce probuzení jednotky z režimu hibernace pomocí akcelerometru. Měření spotřeby v tomto režimu je uvedeno v kapitole 9 této bakalářské práce.

9 MĚŘENÍ

V této kapitole jsou zaznamenány grafy měření na prototypu GC095. Cílem měření bylo zjistit spotřebu energie prototypu řídicí jednotky ve stavu hibernace a spotřebu energie řídicí jednotky při měření a odesílání dat. Z tohoto měření taktéž vychází i průměrná spotřeba energie řídicí jednotky za čas. Měření proběhlo pomocí měřicí ústředny DEWETRON SIRIUSi-SYSTEM DB17002394. Další součástí tohoto měření bylo testování prototypu na zkušebním stavu. Všechny grafy jsou pro přehlednost zvětšeny v přílohách A-E.

9.1. Měření spotřeby energie

■ Průběh proudu
■ Průběh napětí

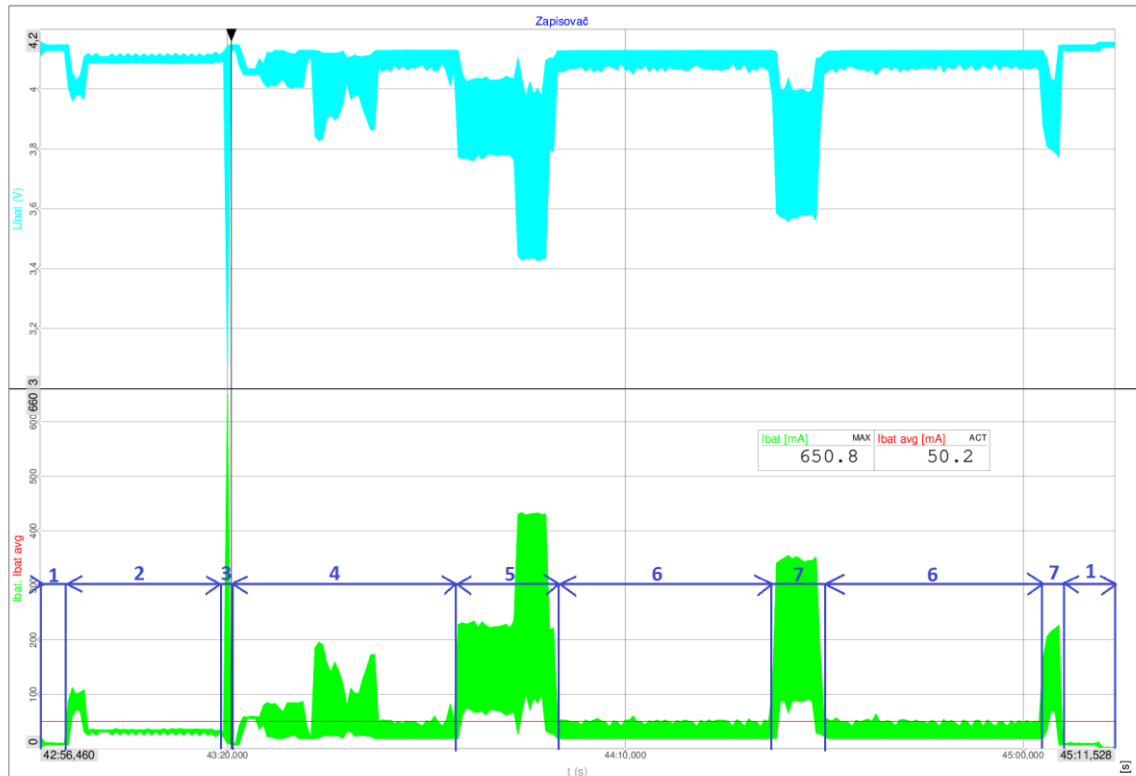


Obrázek 33 – spotřeba řídicí jednotky v režimu hibernace

V tomto grafu jsou zaznamenány průběhy odběru proudu řídicí jednotky z interní nabíjecí baterie Li-ion 7 800 mAh a napětí baterie během režimu hibernace. Měření probíhalo na sériově připojeném rezistoru 1 Ω , na kterém byl měřen úbytek napětí. Měřicí ústředna poté pomocí předdefinovaného matematického algoritmu převáděla úbytek napětí na proud. Pro měření byla použita vzorkovací frekvence 20 kHz. Průměrná spotřeba proudu řídicí jednotky

v režimu hibernace činí 2,1 mA. Záznam měření činí cca 2 minuty a v delším časovém intervalu by byl neměnný.

█ Průběh proudu
█ Průběh napětí



Obrázek 34 – spotřeba řídicí jednotky během aktivity

Na tomto grafu měření je vidět průběh napětí baterie a odběr proudu z baterie, během aktivity řídicí jednotky. Byla použita stejná vzorkovací frekvence 20 kHz, jako při předchozím měření. Níže jsou popsány jednotlivé úseky průběhu:

1. Režim hibernace
2. Probuzení řídicí jednotky akcelerometrem a inicializace jednotky
3. Start GPS modulu
4. Prvotní inicializace snímačů, měření dat a vyhledávání GSM modulu
5. Odesílání dat včetně úvodní inicializace modulu
6. Měření
7. Odesílání dat

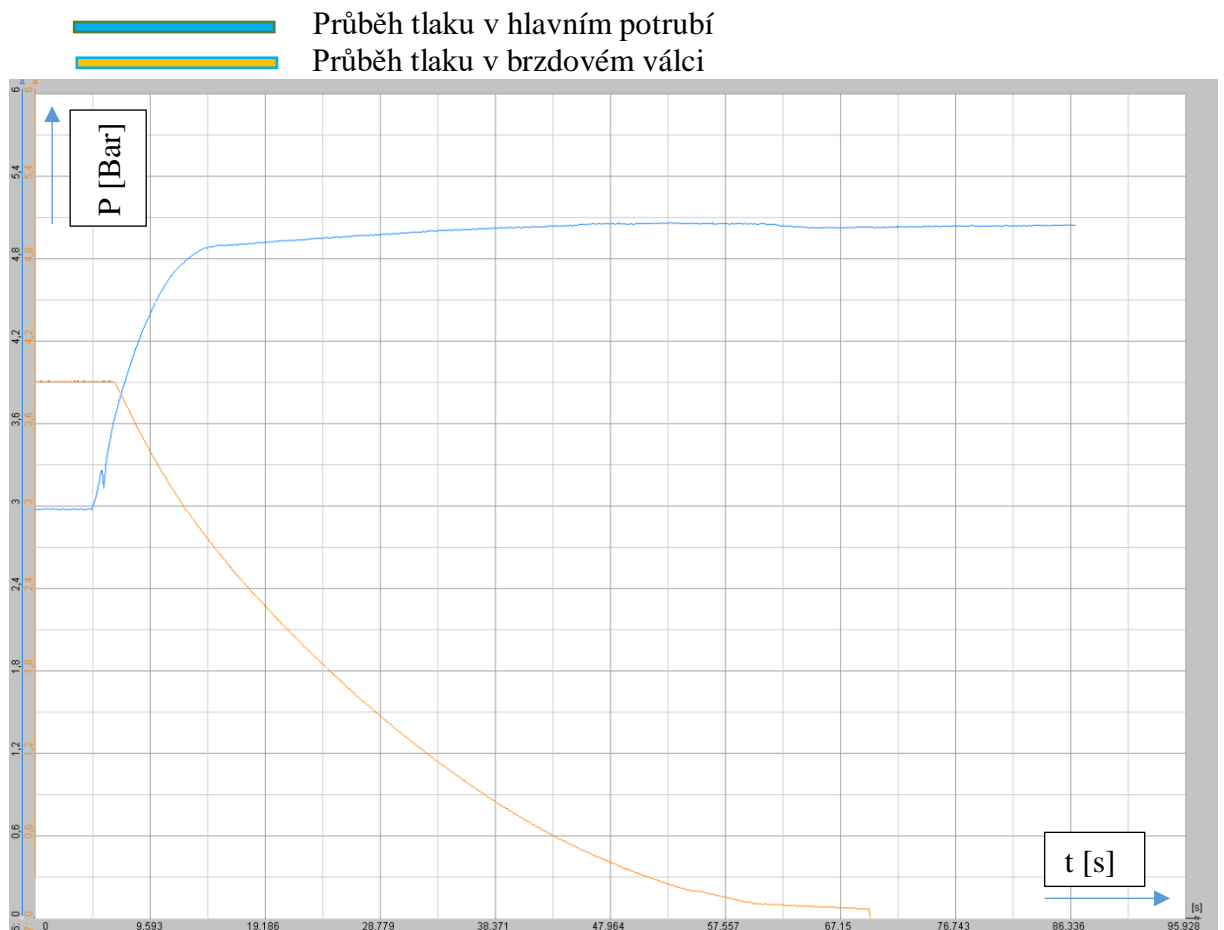
Je nutné podotknout, že měření spotřeby energie řídicí jednotky probíhalo bez externě připojených snímačů (pouze 2x DS18B20). Průměrná spotřeba činila 50 mA a maximální spotřeba až 650 mA. Maximální spotřebu proudu je třeba zohlednit při záporných teplotách,

pro které je řídicí jednotka navrhována a to $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a taktéž je nutné počítat s dimenzováním spínaných zdrojů v řídicí jednotce a dimenzováním baterie na tyto hodnoty.

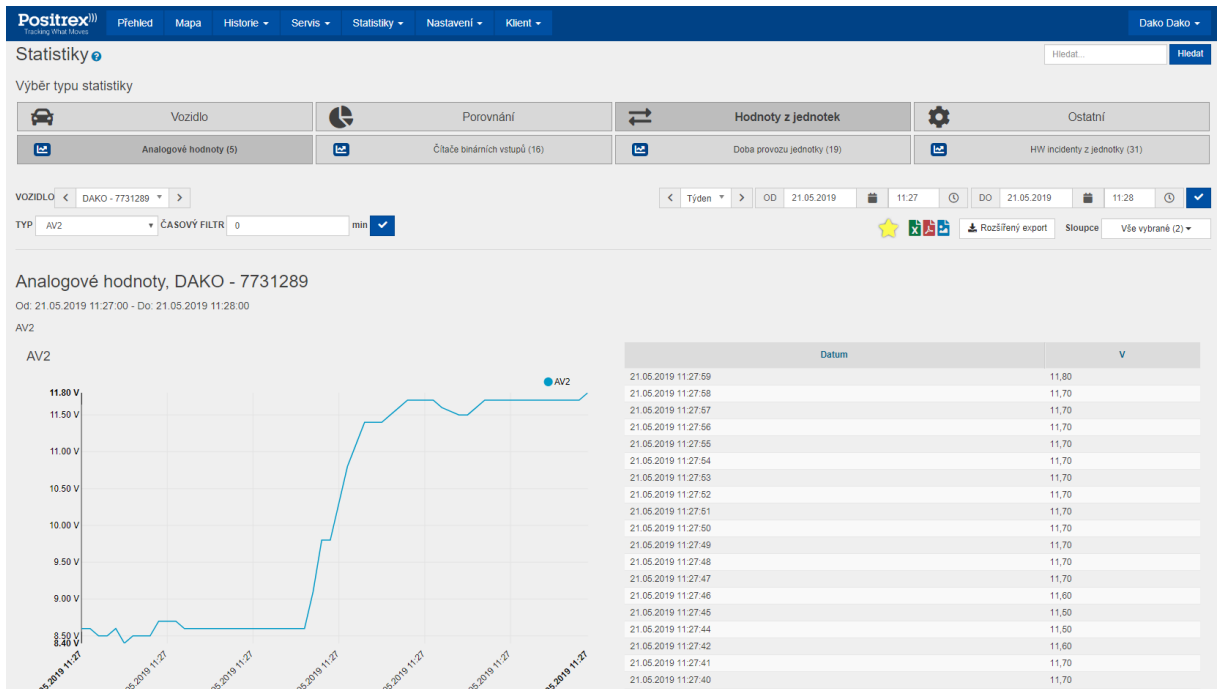
9.2. Záznam měření na zkušebním stavu

Na obrázku 35 je uveden záznam tlaků v brzdovém válci a v hlavním potrubí (řídicí tlak) ze SW zkušebního stavu DAKO-CZ. Na obrázku 36 a 37 je uveden stejný průběh tlaků zaznamenaných systémem Positrex.

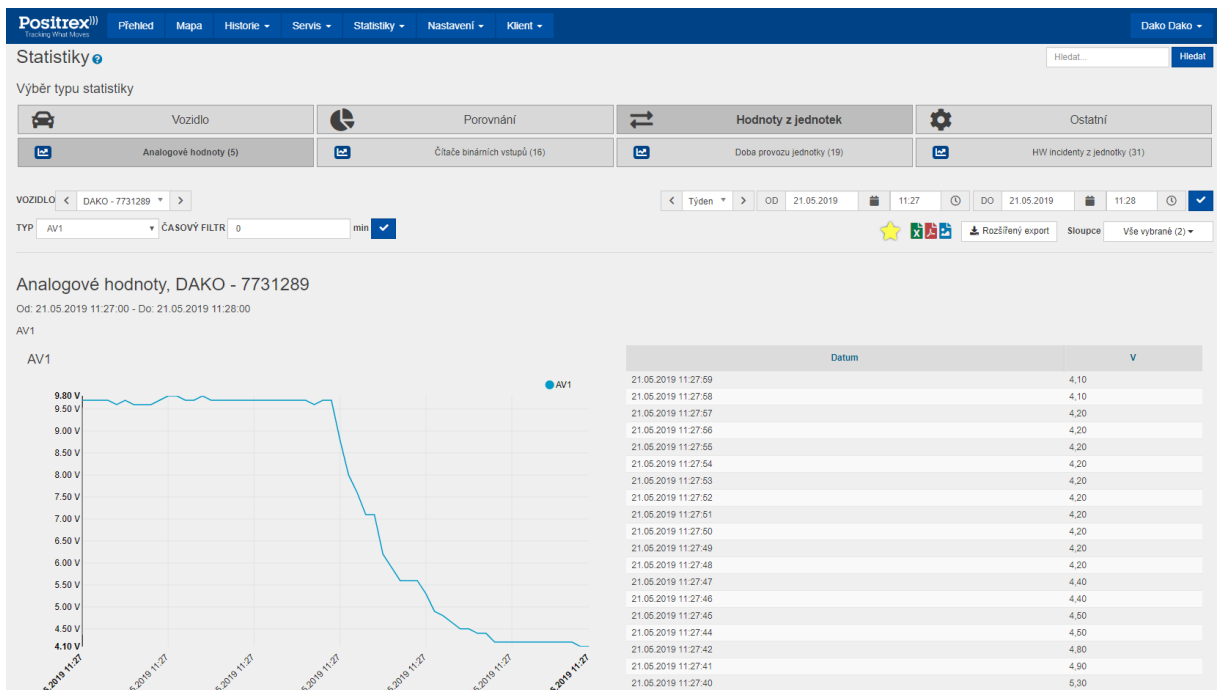
Z porovnání grafů lze vyvodit, že průběh zaznamenaný systémem Positrex je vizuálně identifikovatelný, jako normovaný průběh tlaků v brzdovém systému nákladního vozu. Lze z něj tedy usuzovat, zda odbrzdění nebo brzdění probíhá správně, zvláště v případě, kdy by k průběhu tlaku bylo možné současně zobrazit průběh rychlosti. To ovšem na zkušebním stavu nebylo možné a zároveň systém Positrex není touto funkcí ještě vybaven.



Obrázek 35 – záznam tlaků v brzdové soustavě – měřeno na 16-ti vozovém zkušebním stavu DAKO-CZ



Obrázek 36 – záznam tlaků v brzdové soustavě (hlavní potrubí) – měřeno pomocí řídicí jednotky

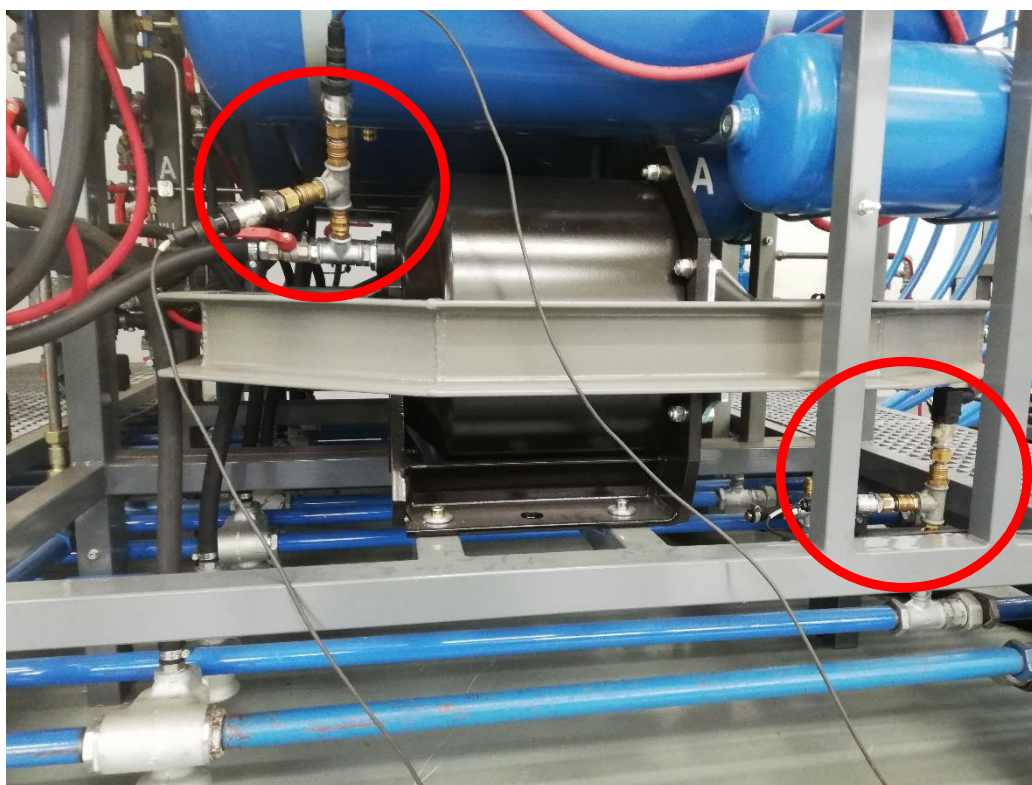


Obrázek 37 – záznam tlaků v brzdové soustavě (brzdový válec) – měřeno pomocí řídicí jednotky

Montáž čtyř snímačů tlaku (dva zapojeny do jednotky GC095 a dva k měřicí ústředně DAKO-CZ) na zkušební stav, pro simulaci 16-ti nákladních vozů, jsou na obrázcích níže.



Obrázek 38 – 16-ti vozový zkušební stav DAKO-CZ



Obrázek 39 – zapojení čtyř snímačů tlaku

ZÁVĚR

Základním cílem práce byl návrh konceptu zařízení monitorujícího nákladní železniční vozy, které nejen zrychlí dopravu z hlediska kontrol, ale zároveň bude podávat dostatečné informace, o stavu vozu a stavu nákladu a v případě poruchy vyhodnotí překročení limitních parametrů.

V úvodní části jsem se věnoval důvodům, které vedou k nasazení telemetrie na nákladní vozy, jako jsou: urychlení dopravy, dostatečný přehled o voze, nákladu a brzdové soustavy v reálném čase. Dále jsem provedl rozbor, na základě kterého byly navrženy důležité veličiny ke sledování (teploty, vlhkosti, trasování, rychlosti, rázy a vibrace, zatížení vozu, rozložení nákladu a celkový stav brzdové soustavy) a stanoveny rozsahy měřených parametrů. Byl proveden návrh architektury telemetrického systému a vybrány vhodné snímače, které budou použity pro sledování jednotlivých parametrů a systém komunikačního rozhraní, pro připojení k řídicí jednotce. Navrhl jsem schéma softwarových funkcí, které znázorňují základní měřicí funkce řídicí jednotky a na jejich základě firma LEVEL SYSTEMS vytvoří reálné algoritmy.

V rámci spolupráce s firmou LEVEL SYSTEMS bylo poskytnuto prototypové zařízení GC095 s rozšiřujícími moduly pro měření I a U a možnosti připojení dalších 1-Wire snímačů. Na této sestavě jsem provedl základní analýzu spotřeby samotné řídicí jednotky a porovnal měření hodnoty tlaků v brzdové soustavě v aktuálním nastavení.

Z hlediska celkové problematiky a rozsáhlosti tématu značnou část této bakalářské práce zabrala studie sledovaných parametrů a návrhu snímačů. V současné době není jasné, zda všechny navržené typy snímačů budou skutečně nasazeny, protože nejprve musí být testována jejich životnost a odolnost vůči provozním podmínkám. Taktéž probíhá výroba prototypu zařízení se všemi funkcemi navrženými v bakalářské práci, které bude podrobena různým testům, včetně životnostních.

Vzhledem k obsáhlosti tématu a jeho časové náročnosti, by bylo vhodné některá témata, jako např. systém komunikace v rámci vozu více rozvinout, z důvodu možnosti použití bezdrátové komunikace Bluetooth Low Energy, která by zjednodušila zapojení na voze. Tato technologie by však měla být testována až po ověření funkcí aktuálně navrženého „drátového“ systému.

I když by se tato bakalářská práce dala rozdělit na několik dílčích témat, já osobně jsem rád, že jsem si téma bakalářské práce vybral jako celkovou problematiku, kde jsem zhodnotil dosavadní stav, provedl studie, návrh parametrů a samotné řídicí jednotky, s návrhem

možného použití snímačů. Zároveň je to pro mě obrovská zkušenost z praxe, kdy jsem viděl, jak funguje práce na projektech v takovýchto firmách a nabral jsem zde spousty zkušeností. Ve firmě DAKO-CZ budu na této problematice nadále pracovat a rád bych na toto téma navázal i v budoucnu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Wikipedia: the free encyclopedia. Telemetrie [online]. [cit. 2019-15-05]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Telemetrie>
- [2] Wikipedia the free encyclopedia. Nákladní vůz (železnice) [online]. [cit. 2019-15-05]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/N%C3%A1kladn%C3%AD_v%C5%AFz_\(%C5%BEeleznice\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/N%C3%A1kladn%C3%AD_v%C5%AFz_(%C5%BEeleznice))
- [3] Pxhere – Nejlepší Volný fotografie na jednom místě. Nákladní železniční vůz [online]. [cit. 2019-15-05]. Dostupné z: <https://pxhere.com/cs/photo/507342>
- [4] Ing. Radek Jandora. Výpočtové modelování dynamických projevů v kontaktu kola a kolejnice s obecnou geometrií kontaktních povrchů [online]. [cit. 2019-15-05]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=49779
- [5] Bosch Engineering GmbH. Datasheet: Railway applications. Asset monitoring for railway applications [online]. [cit. 2019-15-05]. Dostupné z: https://www.bosch-engineering.de/media/de/pdfs/einsatzgebiete_1/produktdatenblaetter/BEG_ProductDataSheet_AMRA_EN_RZ_lowres_160118.pdf
- [6] MOUSER ELECTRONICS. Atmel ATSAM21G15B-AU [online]. [cit. 2019-15-05]. Dostupné z: <https://eu.mouser.com/ProductDetail/Microchip-Technology-Atmel/ATSAMD21G15B-AU?qs=9KdFJXLqUo%252BJeV4eNuc2%252BQ==>
- [7] Wikipedia: the free encyclopedia. A/D převodník [online]. [cit. 2019-15-05]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/A/D_p%C5%99evodn%C3%ADk
- [8] TME Electronic Components. MICROCHIP TECHNOLOGY MCP3008-I/SL [online]. [cit. 2019-15-05]. Dostupné z: https://www.tme.eu/cz/details/mcp3008-i_sl/prevodniky-a-d-integrované-obvody/microchip-technology/mcp3008-i-sl/
- [9] Quectel. Datasheet: M95 Hardware Design [online]. [cit. 2019-15-05]. Dostupné z: https://www.quectel.com/UploadImage/Downlad/M95_Hardware_Design_V1.3.pdf
- [10] LEDmania.cz. Moderní li-ion 18650 akumulátory [online]. [cit. 2019-15-05]. Dostupné z: <http://www.ledmania.cz/moderni-li-ion-18650-akumulatory/>
- [11] AMP-SOLAR. Solar moduls [online]. [cit. 2019-15-05]. Dostupné z: https://www.amp-solar.com/flexible_or_classic
- [12] Úřad průmyslového vlastnictví. Užitný vzor. Číslo dokumentu: 30 622 [online]. [cit. 2019-15-05]. Dostupné z: <https://isdv.upv.cz/doc/FullFiles/UtilityModels/FullDocuments/FDUM0030/uv030622.pdf>

- [13] Jocelyn M. Kluger. Nonlinear ambient vibration energy harvester [online]. [cit. 2019-15-05]. Dostupné z: <http://jocelynkluger.com/EnergyHarvester.htm>
- [14] David Kučera. Koncept tlačítkového piezo-generátoru [online]. [cit. 2019-15-05]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=54121
- [15] Jaroslav Reichl. Encyklopedie fyziky – Seebeckův jev [online]. [cit. 2019-15-05]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/910-seebeckuv-jev>
- [16] Wikipedia: the free encyclopedia. Termočlánek [online]. [cit. 2019-15-05]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Termo%C4%8Dl%C3%A1nek>
- [17] GM ELECTRONIC. DS18B20 [online]. [cit. 2019-15-05]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/ds18b20>
- [18] dP PAJTECH. Snímač teploty DS18B20 vodotěsný kabel 1m [online]. [cit. 2019-15-05]. Dostupné z: <https://pajtech.cz/snma-teploty-ds18b20-vodotsn-kabel-1m-p-17805.html>
- [19] Automatizace.hw.cz. Teorie zpracování signálu platinových teplotních senzorů [online]. [cit. 2019-15-05]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/zpracovani-signalu-platinovych-senzoru>
- [20] Honeywell. Datasheet: HIH-5030/5031 [online]. [cit. 2019-15-05]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/Document/20d790489a1f59cc156466cf8838fef6/HIH-5031.pdf>
- [21] Mouser Electronics. Datasheet: LIS3DE [online]. [cit. 2019-15-05]. Dostupné z: <https://eu.mouser.com/datasheet/2/389/lis3de-954979.pdf>
- [22] TME Electronics components. SIMCON SIM68V [online]. [cit. 2019-15-05]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/cz/details/sim68v/moduly-gnss-gps-glonass-beidou/simcom/>
- [23] STEMAN SENSORS SMART SOLUTIONS. MBS 3000 0-10 bar; 4-20 mA; G1/4 [online]. [cit. 2019-15-05]. Dostupné z: <https://www.steman-shop.cz/MBS-3000-0-10-bar-4-20-mA-G1-4-d133.htm?tab=description>
- [24] Ruarri Joseph. Snímač opotřebenění brzdových destiček: princip činnosti, výměna, montáž [online]. [cit. 2019-15-05]. Dostupné z: <https://cs.ruarrioseph.com/avtomobili/2111-datchik-iznosa-tormoznyh-kolodok-princip-raboty-zamena-ustanovka.html>
- [25] ČSN EN 61373. Drážní zařízení – Zařízení drážních vozidel – Zkoušky rázy a vibracemi. 06/2011
- [26] Maxim integrated. Datasheet: DS18B20 [online]. [cit. 2019-15-05]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.530-067.1.pdf>
- [27] Microchip. Datasheet: MCP3004/3008 [online]. [cit. 2019-15-05]. Dostupné z: https://www.tme.eu/Document/fa6837f9f47d7b44178a2a5f27cf9581/MCP3004-I_P.pdf

- [28] Microchip. Datasheet: SAM D21 Family [online]. [cit. 2019-15-05]. Dostupné z:
<https://eu.mouser.com/datasheet/2/268/SAM-D21-Family-Datasheet-DS40001882C-1381353.pdf>
- [29] SIM Technology. Datasheet: SIM68V [online]. [cit. 2019-15-05]. Dostupné z:
<https://www.tme.eu/Document/99bff817e100899e64922f28987a196f/SIM68V.pdf>
- [30] Petr Brzezina. Charakteristika čidla teploty Pt100 [online]. [cit. 2019-15-05]. Dostupné z:
http://marcomplet.cz/docs/Sensit/ceniky/Pt100_3850.pdf
- [31] TRACO POWER, Datasheet: TDN 1WISM Series [online]. [cit. 2019-15-05]. Dostupné z:
<https://www.tracopower.com/products/tdn1wism.pdf>
- [32] TRACO POWER, Datasheet: TEN 6WIN Series [online]. [cit. 2019-15-05]. Dostupné z:
<https://www.tracopower.com/products/ten6win.pdf>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – princip telemetrie – poskytnuto firmou DAKO-CZ	11
Obrázek 2 – nákladní železniční vůz [3]	12
Obrázek 3 – poškození kolejnic – poskytnuto firmou DAKO-CZ	15
Obrázek 4 – poškození kola vozu – poskytnuto firmou DAKO-CZ.....	15
Obrázek 5 – Monitorovací zařízení Bosch AMRA [5]	16
Obrázek 6 – architektura systému pro monitoring telemetrie.....	18
Obrázek 7 – Mikrokontrolér ARM Cortex M0 [6]	19
Obrázek 8 – A/D převodník MCP300-I/SL [8]	20
Obrázek 9 – GSM/GPRS modul [9].....	21
Obrázek 10 – Li-ion akumulátory [10].....	21
Obrázek 11 – solární panel [11].....	22
Obrázek 12 – elektromagnetický generátor (rotační) [12]	22
Obrázek 13 – elektromagnetický generátor (kmitavý) [13]	23
Obrázek 14 – piezoelektrický generátor [14]	23
Obrázek 15 – Termočlánek [16]	24
Obrázek 16 – Teplotní čidlo DS18B20 v ochranném, vodotěsném pouzdře [18]	25
Obrázek 17 – Teplotní čidlo DS18B20 [17].....	25
Obrázek 18 – Tři možnosti připojení senzoru k odporovému můstku, zleva: dvou vodičové, tří a čtyřvodičové propojení [19].....	26
Obrázek 19 – závislost odporu na teplotě čidla Pt100 [30].....	26
Obrázek 20 – vlhkoměr HIH-5030-001 [20]	27
Obrázek 21 – akcelerometr LIS3DE [21].....	28
Obrázek 22 – GPS GLONASS modul SIMCON SIM68V [22].....	29
Obrázek 23 – snímač tlaku MBS 3000 0-10 bar [23]	30
Obrázek 24 – proudová smyčka 4 až 20 mA	30
Obrázek 25 – zalití drátu v brzdové desce u automobilu [24]	31
Obrázek 26 – Vývojový diagram 1 – režim jízdy	36
Obrázek 27 – Vývojový diagram 2 – režim stání	37
Obrázek 28 – Vývojový diagram 3 – vyhodnocení limitů	38
Obrázek 29 - Vývojový diagram 4 - vyhodnocení a redukce dat	39
Obrázek 30 – Vývojový diagram 5 – vyhodnocení maxima	40
Obrázek 31 – Vývojový diagram 6 – vyhodnocení minima.....	41

Obrázek 32 – prototyp řídicí jednotky v základním provedení	43
Obrázek 33 – spotřeba řídicí jednotky v režimu hibernace	45
Obrázek 34 – spotřeba řídicí jednotky během aktivity.....	46
Obrázek 35 – záznam tlaků v brzdové soustavě – měřeno na 16-ti vozovém zkušebním stavu DAKO-CZ	47
Obrázek 36 – záznam tlaků v brzdové soustavě (hlavní potrubí) – měřeno pomocí řídicí jednotky	48
Obrázek 37 – záznam tlaků v brzdové soustavě (brzdový válec) – měřeno pomocí řídicí jednotky	48
Obrázek 38 – 16-ti vozový zkušební stav DAKO-CZ	49
Obrázek 39 – zapojení čtyř snímačů tlaku.....	49

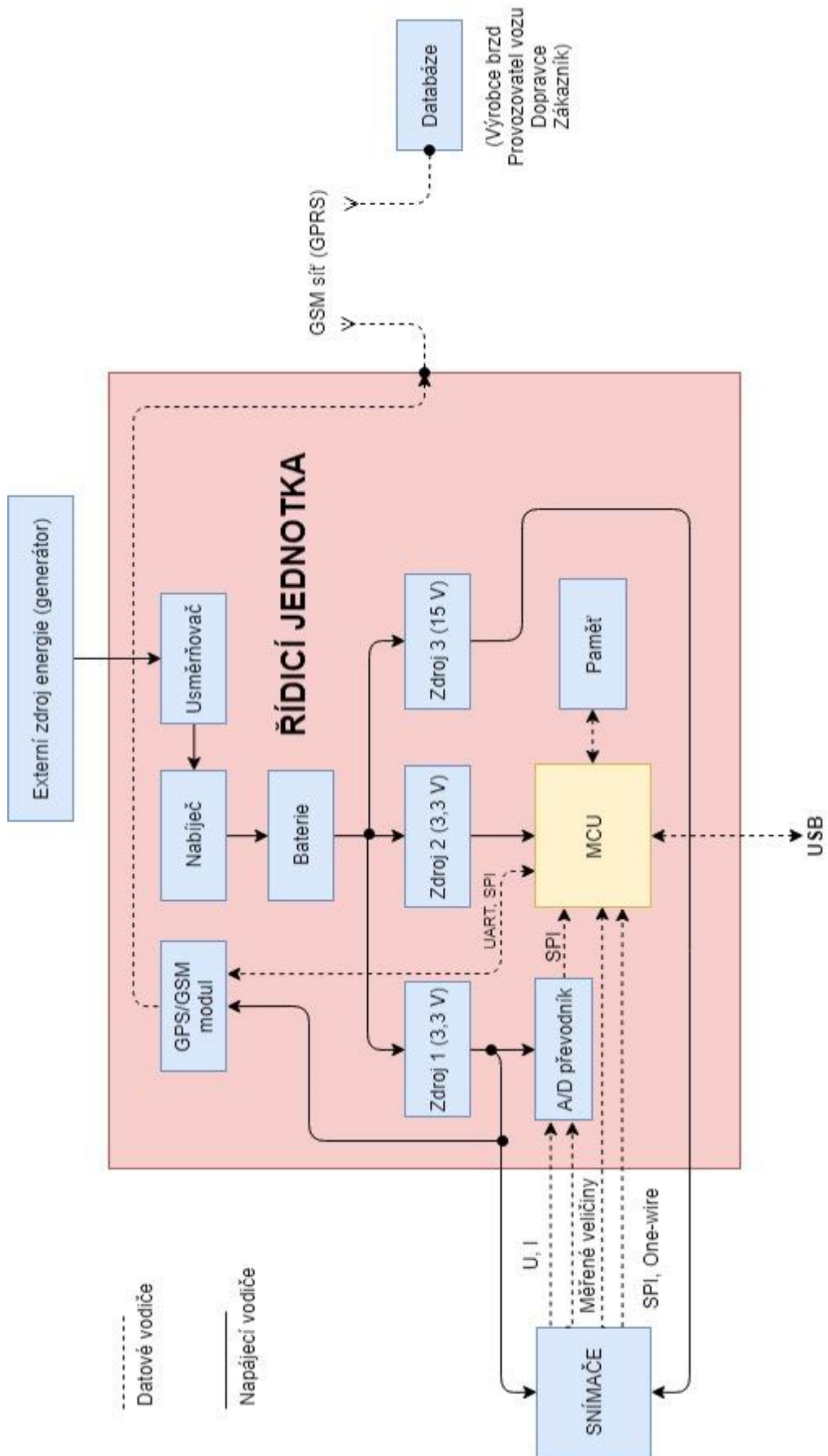
SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 – přehled veličin a snímačů, které budou použity (pro jeden třípodvozkový vůz) .	32
Tabulka 2 – odhad maximální spotřeby energie monitorovacího systému [9], [20], [21], [26], [27], [28], [29].....	33

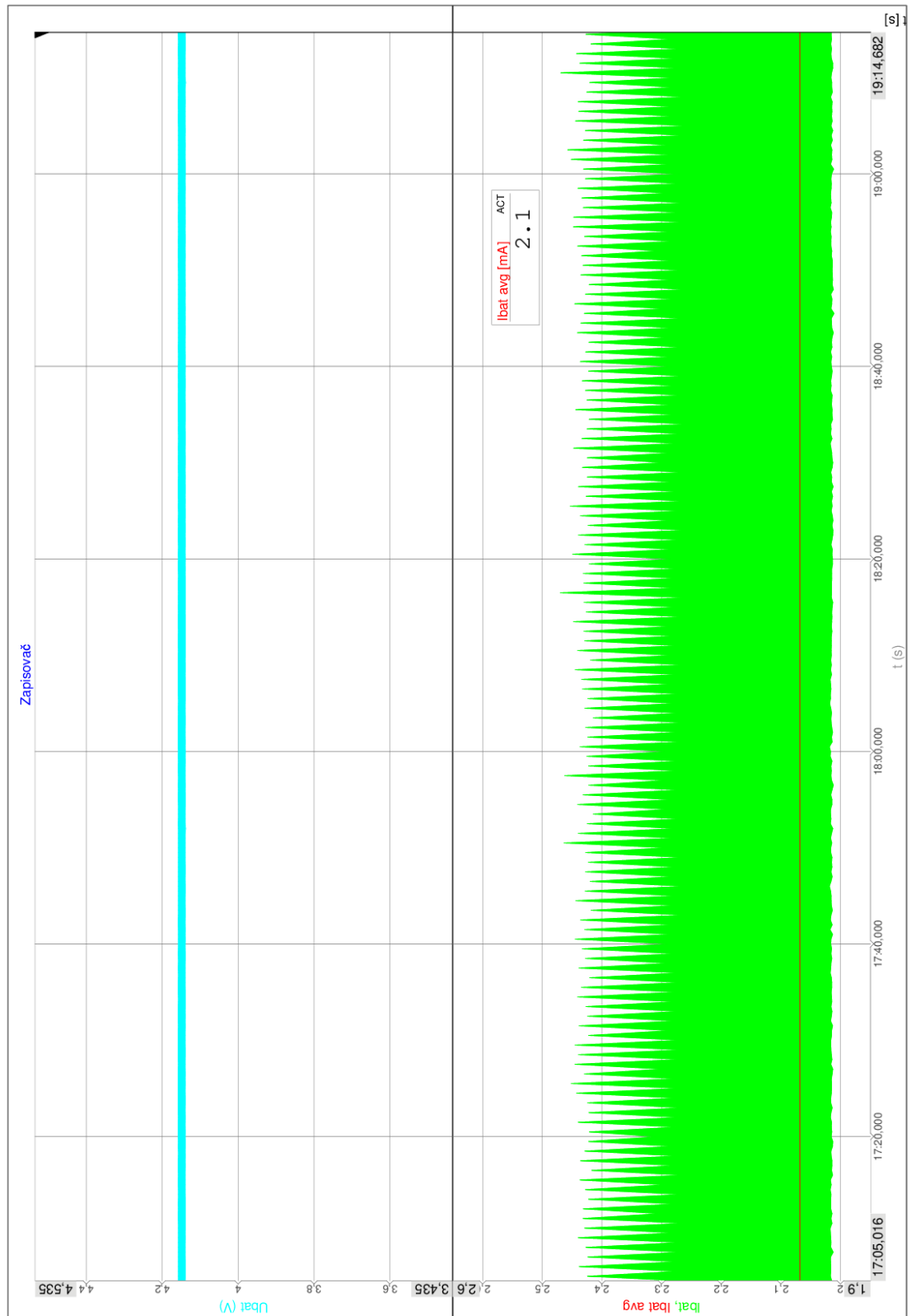
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A – architektura systému pro monitoring telemetrie	59
Příloha B – spotřeba řídicí jednotky GC095 v režimu hibernace	60
Příloha C – spotřeba řídicí jednotky GC095 během aktivity	61
Příloha D – záznam tlaků v brzdové soustavě – měřeno na 16-ti vozovém zkušebním stavu DAKO-CZ	62
Příloha E – záznam tlaků v brzdové soustavě (hlavní potrubí) – měřeno pomocí řídicí jednotky	63
Příloha F – záznam tlaků v brzdové soustavě (brzdový válec) – měřeno pomocí řídicí jednotky	64

Příloha A – architektura systému pro monitoring telemetrie



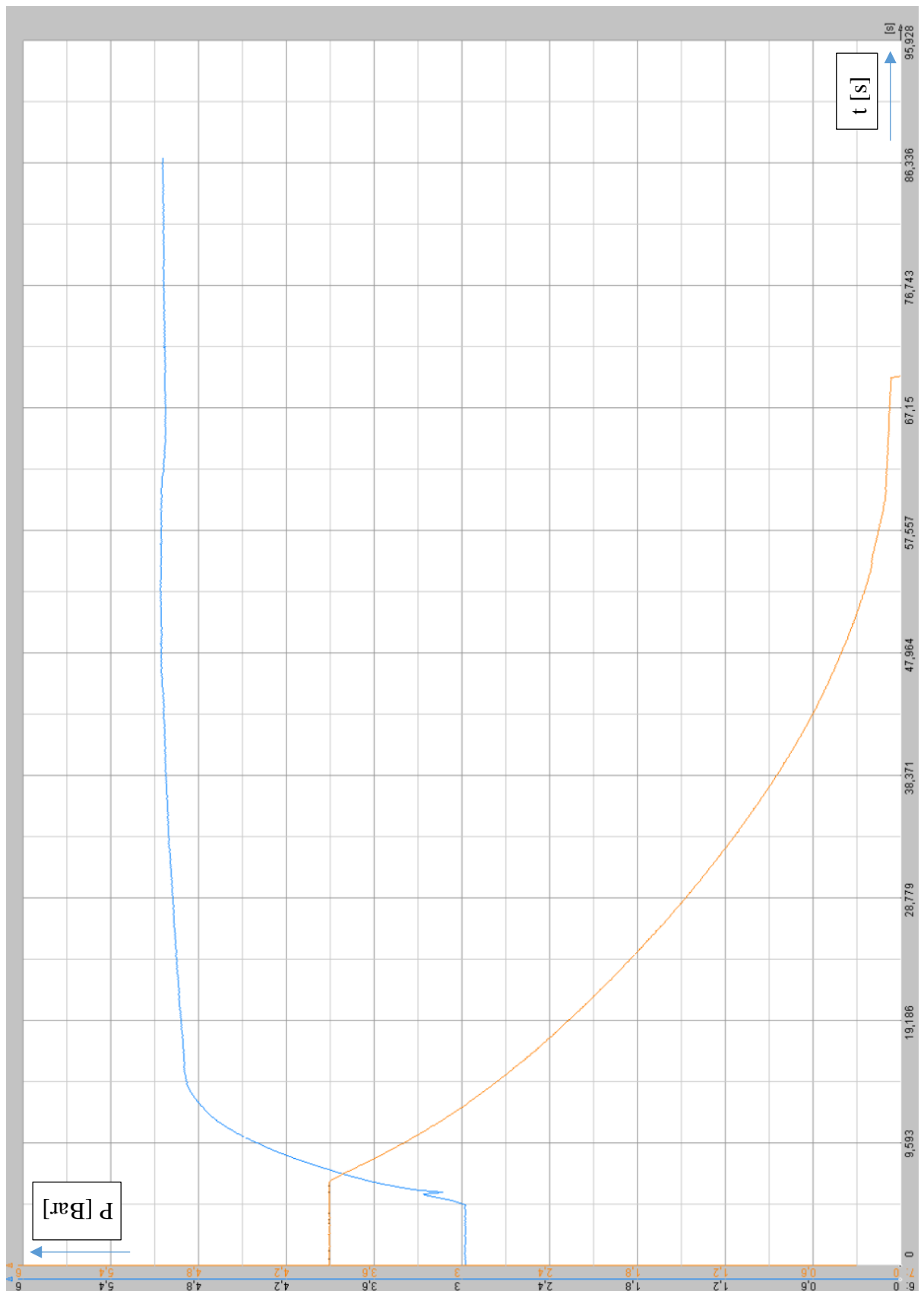
Příloha B – spotřeba řídicí jednotky GC 095 v režimu hibernace



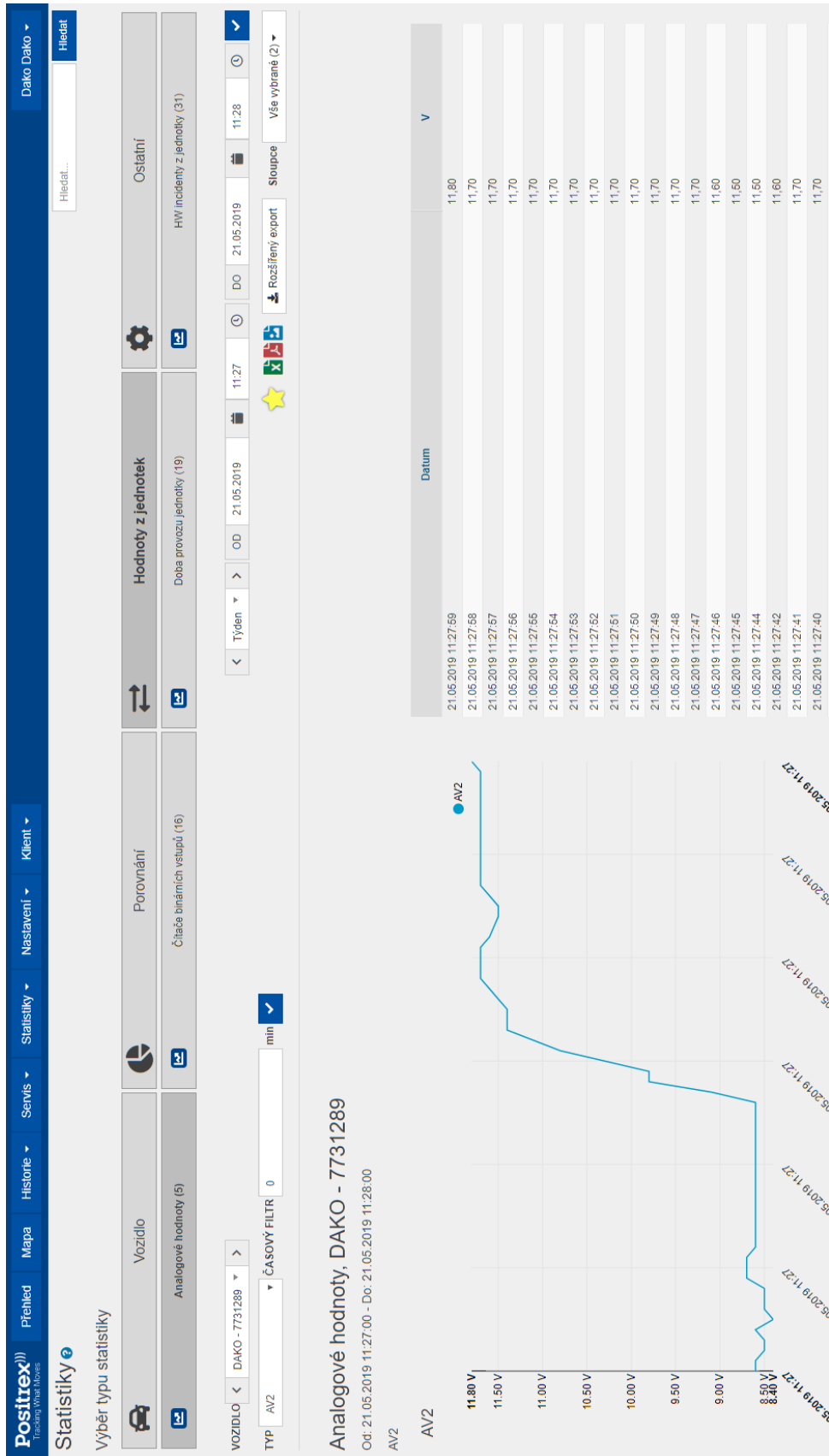
Příloha C – spotřeba řídicí jednotky GC095 během aktivity



Příloha D – záznam tlaků v brzdové soustavě – měřeno na 16-ti vozovém zkušebním stavu DAKO-CZ



Příloha E – záznam tlaků v brzdové soustavě (hlavní potrubí) – měřeno pomocí řídicí jednotky



Příloha F – záznam tlaků v brzdové soustavě (brzdový válec) – měřeno pomocí řídicí jednotky

