



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**  
**FAKULTA DOPRAVNÍ**

Pavel Kolář

**VYUŽITÍ SOLÁRNÍCH PANELŮ PRO AUTOBUSY  
MĚSTSKÉ A PŘÍMĚSTSKÉ HROMADNÉ DOPRAVY**

Bakalářská práce

**2018**



K616.....Ústav dopravních prostředků

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Pavel Kolář**

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

**B 3710 – DOS – Dopravní systémy a technika**

Název tématu (česky): **Využití solárních panelů pro autobusy městské a  
příměstské dopravy**

Název tématu (anglicky): Utilization of solar panels on public busses at urban and  
suburban areas

### Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Uveďte přehled solárních systémů využitelných pro silniční vozidla
- Na základě zjištěných informací definujte vhodné parametry panelu při provozování vozidla na území ČR
- Práci koncipujte se zaměřením na využití panelů pro autobusy provozované v podmínkách ČR
- Navrhněte a proveďte zkoušku ověření úspory energie při využití solárního panelu na vozidle
- Na základě výsledků provedené zkoušky stanovte vliv solárního panelu na úsporu paliva u vybraného typu vozidla u



Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího práce

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: FIRST, Jiří a kol. Zkoušení automobilů a motocyklů: příručka pro konstruktéry. Vyd. 1. Praha: S&T CZ, 2008. 348 s. ISBN 978-80-254-1805-5.

Vlk, F.: Elektrická zařízení motorových vozidel, Brno, 2005. ISBN: 8023937189

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Josef Mík, Ph.D.**

Datum zadání bakalářské práce:

**10. června 2016**

(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce:

**27. srpna 2018**

- a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
- b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

doc. Ing. Petr Bouchner, Ph.D.  
vedoucí  
Ústavu dopravních prostředků



prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek, dr. h. c.  
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Pavel Kolář  
jméno a podpis studenta

V Praze dne ..... 5. prosince 2017

## Poděkování

Děkuji všem, kteří mi s prací pomohli a dodali vítané zdroje dat i inspirace. Především děkuji Ing. Jindřichu Sadilovi, Ph.D., který mi bez váhaní a s entuziasmem vždy poradil a nezištně velmi pomohl. Taktéž děkuji Ing. Dušanovi Kamenickému, bez kterého bych byl při práci v terénu bezradný a za jeho ochotu sdílet velké množství znalostí. V neposlední řadě chci poděkovat vedoucímu mé práce, Ing. Josefovi Míkovi, Ph.D., za jeho velkou trpělivost a ochotu kdykoliv být k dispozici a poradit. Je mi ctí poděkovat rodičům a známým, kteří mi na cestě studiem vždy pomohli a byli oporou.

## Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Nemám závažný důvod proti užívání tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze, dne 27. srpna 2018

.....

podpis

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA DOPRAVNÍ**

**VYUŽITÍ SOLÁRNÍCH PANELŮ PRO AUTOBUSY MĚSTSKÉ  
A PŘÍMĚSTSKÉ HROMADNÉ DOPRAVY**

bakalářská práce

srpen 2018

Pavel Kolář

**ABSTRAKT**

Předmětem bakalářské práce „VYUŽITÍ SOLÁRNÍCH PANELŮ PRO AUTOBUSY MĚSTSKÉ A PŘÍMĚSTSKÉ HROMADNÉ DOPRAVY“ je nalezení vhodné formy a aplikace solárních panelů pro využití v hromadné dopravě. Součástí práce je základní shrnutí stávajícího stavu a možnosti využití fotovoltaické technologie pro dopravu. Práce se dále soustředí na zjištění použitelnosti fotovoltaických panelů při hledání způsobu úspory paliva vozidel městské a příměstské hromadné dopravy.

**ABSTRACT**

The main subject of the bachelor thesis „THE USE OF SOLAR PANELS FOR BUSES OF PUBLIC TRANSPORT“ is to find appropriate form an application of solar panels for public transport. One of the part of the thesis is to summarize current state and options of use of photovoltaic technology in transportation generally. The key element is to find out how solar panels can be useful while saving fuel consumption of engines in buses of public transport.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Fotovoltaika, účinnost, solární panely, solární energie, spotřeba elektrické energie, úspora paliva, alternátor.

## **KEY WORDS**

Photovoltaics, efficiency, solar panels, solar energy, electric power consumption, fuel save, alternator.

# Obsah

1	Úvod .....	9
2	Přehled a využití Fotovoltaiky .....	10
2.1	Sestrojení FV článku .....	10
2.2	Fyzikální princip funkce FV článků .....	10
2.3	Druhy FV článků.....	11
2.3.1	Křemíkové monokrystalické články .....	12
2.3.2	Křemíkové polykrystalické články .....	12
2.3.3	String ribbon technologie.....	13
2.3.4	Křemíkové amorfnní články.....	13
2.3.5	Technologie více přechodů .....	14
2.4	Rozdělení podle generací .....	14
2.4.1	První generace.....	15
2.4.2	Druhá generace .....	15
2.4.3	Třetí generace .....	15
2.4.4	Čtvrtá generace .....	15
2.5	FV panely a moduly .....	16
2.6	Solární systémy off grid.....	16
3	Provozování vozidla na území ČR.....	18
3.1	Světelná energie.....	18
3.2	Světelné podmínky v ČR.....	19
3.3	Peak-hours pro danou oblast .....	21
4	Navržení a provedení měření spotřeby elektrické energie.....	23
4.1	Spotřeba elektrické energie ve vozidle .....	23
4.2	Způsob a průběh měření .....	23
4.2.1	Příprava měřícího zařízení .....	23
4.2.2	Vozidlo zapůjčené k měření – Karosa C954.....	28
4.2.3	Průběh měření.....	30
5	Vyhodnocení měření a výpočet úspory paliva .....	33
5.1	Zpracování dat.....	33
5.1.1	Export syrových dat.....	33
5.1.2	Přepočet naměřených hodnot .....	34
5.1.3	Výpočet spotřeby elektrické energie ve vozidle .....	35

5.2	Charakteristika konkrétního panelu.....	43
5.3	Výpočet spotřeby paliva – alternátor.....	44
5.3.1	Energie získaná z nafty .....	44
5.3.2	Účinnost převádění energie ve vozidle .....	45
5.3.3	Přepočet transformované energie .....	45
5.4	Navržení solárního systému a výpočet pokrytí spotřeby .....	46
5.4.1	Prosté zapojení jednoho panelu.....	46
5.4.2	Sério-paralelní zapojení.....	47
6	Závěr.....	53
7	Použité zdroje.....	54
8	Seznam obrázků .....	56
9	Seznam tabulek .....	57



## **Seznam použitých zkratk:**

FV – fotovoltaika

FV článek – fotovoltaický článek

P-N – polovodič typu P a polovodič typu N

Úč. - účinnost

CIGS panel – panel vyrobený ze sloučenin mědi, india, gallia a selenidu

# 1 Úvod

Stále narůstající množství populace na planetě a s tím spojený překotný růst spotřeby omezených zdrojů energií, které má tato planeta k dispozici, nutí lidi k hledání zdánlivě neomezených alternativ k těmto zdrojům. Jedním z těchto využitelných „obnovitelných“ zdrojů je energie vyzařována jedinou hvězdou v naší sluneční soustavě, tedy Sluncem. Oborem využitelnosti fotovoltaiky v každodenním životě se věda zabývá již téměř 60 let.

Vzhledem k účinnosti a praktičnosti využití ropných nalezišť se tato snaha zapojit fotovoltaiku dlouho netýkala dopravy obecně, ale především té automobilové. Za poslední dekádu se toho ale změnilo hodně a člověk si dnes více uvědomuje, že zdroje ropy se tenčí velmi rychle, nehledě na neblahý dopad spalin z výfuků na přírodu kolem nás. Věda jde v tomto oboru rychle kupředu a rojí se prototypy čistě solárních automobilů, které využívají elektromotorů.

Tato práce se ovšem soustředí na méně zmapovaný způsob úspory paliva. Cílem mé práce je zjistit, jak pomoci současným dieselovým motorům snížit enormní množství paliva, které každý den spotřebují. Fakt, že elektrická energie ve vozidle není zadarmo, ale získáváme ho transformací paliva, byl po celá léta ignorován. Z části je to kvůli tomu, že množství tohoto paliva není nijak značné a dosáhlo se určitého bodu, kdy technologie nenabízí zvyšování účinnosti alternátoru. Nicméně zvyšující se cena ropy tento fakt trochu zviditelnila. Práce se nesnaží dosáhnout nahrazení alternátoru, na to je použití fotovoltaiky příliš nespolehlivý úkon, nýbrž odlehčit alternátoru, případně nahradit ho slabším typem s menší spotřebou paliva.

## 2 Přehled a využití Fotovoltaiky

### 2.1 Sestrojení FV článku

A. E. Becquerel v roce 1839 prezentoval svůj poznatek, že proud mezi kovovými elektrodami ponořenými v roztoku se mění v závislosti na intenzitě osvětlení. V roce 1877 byl sestromen první fotovoltaický článek v historii - váleček ze selenu ve skleněné tubě. Krátce na to následovala konstrukce dalšího FV článku, který sestrojil americký vědec Ch. Fritts v roce 1883. Účinnost tohoto článku dosahovala přibližně 1 %.

Průlom v teorii zaznamenal na počátku 20. století fyzik Albert Einstein, který jako první dokázal popsat zákonitosti jevu. Využil k tomu kvantovou teorii. Z Einsteinova vysvětlení vyplývá, že energie uvolněného elektronu závisí pouze na frekvenci záření a počet elektronů na intenzitě záření. Zároveň s ním polský vědec Czochralský našel způsob vytváření monokrystalů křemíku, které měly pro výrobu FV článků vhodné vlastnosti. Křemík se postupem času prokázal jako nejvýhodnější materiál pro tvorbu článků vůbec. Za vynálezce prvního křemíkového solárního článku v roce 1941 bývá označován američan Russel Ohl. Nicméně patent na křemíkový solární panel dostali až D. M. Chapin, C. S. Fuller a G. L. Pearson v roce 1954, kteří vytvořili solární články s účinností 4,5 % a později 6 %.

První úspěšná aplikace solárních panelů proběhla v kosmonautice, konkrétně pro napájení družic obíhající Zemi. Popularita a vývoj technologie článků strmě stoupaly. Účinnost v roce 1958 dosáhla 9 %. To bylo postačující na to, aby první umělá družice Spojených Států (Vanguard I), mohla být takovými články napájena (0,1 W, rozměry cca 100 cm<sup>2</sup>). V roce 1960 byla účinnost článků již 14 %. První telekomunikační družice (Telstar) mohla být zásobena zdrojem o 15 W. Vývoj technologie urychlila i ropná krize v 70. letech (hledání alternativních obnovitelných zdrojů). V posledních pěti letech dochází ke stagnaci ve vývoji fotovoltaiky. [1]

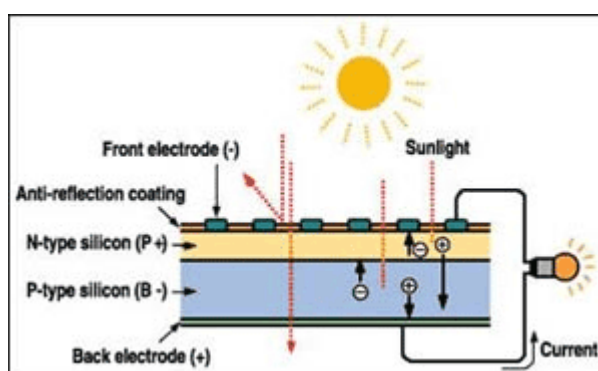
### 2.2 Fyzikální princip funkce FV článků

Základní termín ve fotovoltaice se nazývá fotoelektrický jev. Při něm se uvolňují částice (elektrony a jádra) z látky, na kterou dopadají fotony (částice slunečního paprsku zajišťující elektromagnetickou interakci). Uvolněné částice mohou opustit ozářenou látku a rozptýlit se v okolí. Tento případ se nazývá vnější fotoelektrický jev a pro potřeby FV článků je v dnešní době nevyužitelný. Pokud uvolněné částice neopustí ozářenou látku, začnou se chovat jako tzv. vodivostní elektrony a po připojení spotřebiče začne probíhat v ozářené látce proud, tento případ nazýváme vnitřní fotoelektrický jev a na tomto principu fungují právě FV články.

Vnitřní fotoelektrický jev lze dále také rozdělit podle toho, s čím dopadající částice reaguje. Reakce částice s mřížkou, či již s existujícími volnými elektrony totiž vyvolá pouze zvýšení teploty článku. Vyšší teplota má za následek vznik nežádoucích přídatných odporů

v látce a v konečném důsledku snižuje účinnost článku. Zásadní pro fungování článku je tedy případ, kdy foton uvolní v látce vázaný elektron. Po elektronu vznikne místo, vytvoří se tzv. pár elektron-díra. Nastává proces rekombinace, elektron funguje jako volný nosič náboje a je odváděn z látky. Právě z toho důvodu se využívá prvků, které mají vlastnosti polovodičů (v tomto případě křemík), ve kterých jsou elektrony a díry odděleny vnitřním elektrickým polem PN přechodu. Vzniká rozdíl potenciálů mezi vrstvou P a N – napětí. Toto napětí lze připojit na vnější obvod, článkem začne procházet stejnosměrný elektrický proud. Horní elektroda záporného pólu je tvořena mřížkou (propouští tak fotony k polovodiči), spodní elektroda kladného pólu je z kovu.

Nejmenší článek je velkoplošná polovodičová součástka. V komerčním využití má rozměry cca 200 mm a tloušťka obvykle činí 400  $\mu\text{m}$ , napětí potom kolem 0,6 V. [2]



obr.č. 1 – Grafické znázornění procesu výroby elektřiny [2]

## 2.3 Druhy FV článků

Zásadními parametry FV článku jsou účinnost a osvětlovaná plocha. Účinnost nám v tomto případě udává, jaká část energie fotonu se přemění na užitečnou (elektrickou) energii. Dnešní běžné (tj. levnější) FV články dosahují účinnosti kolem 13 – 22 %. Nejmodernější několikavrstvé panely dosahují účinnosti téměř 60 % (ačkoliv již hovoříme o kumulativní účinnosti), nicméně jejich výrobní cena je příliš vysoká. Záleží především na způsobu výroby článku a použitém materiálu. Kvalitativní rozdíly lze najít i mezi různými články jednoho typu, kde rozhoduje cena a výrobce. Velký nárůst v oblasti masivní produkce FV panelů zaznamenaly v posledních letech i velké korporace jako LG, nebo Panasonic. Ambiciózní je také americká firma SunPower (vlastněná majitelem automobilů Tesla, Elonem Muskem).

### 2.3.1 Křemíkové monokrystalické články

Jeho výroba je poměrně energeticky i technologicky náročná. Zapotřebí je mít k dispozici jednodolný ingot křemenného krystalu válcovitého tvaru, který se nařeže na wafery (tenké plátky). Wafery, které mají krystaly velké minimálně desítku centimetrů, se poté zasadí do jednotlivých (většinou hliníkových) FV panelů. Díky technologicky náročné výrobě a velkému množství odpadního materiálu je tento typ článků jeden z nejdražších ze všech. Na druhou stranu má nejvyšší životnost ze všech, běžná doba efektivního života je kolem 25-ti let. Panely jsou velmi náchylné na nečistoty zakrývající plochu panelu. Větší množství nečistot, nebo například vrstva sněhu mohou zcela znehodnotit výstupní výkon panelu.

Tyto panely mají nejvyšší účinnost, pokud paprsky dopadají kolmo na ně. Jedná se o účinnost mezi 15 - 22%. S odchýlením od kolmého směru dopadu paprsků poté ztrácejí účinnost rapidně. Níže je tabulka osmi monokrystalických článků v dostupné cenové hladině s nejvyšší účinností. [4]

	Výrobce	Účinnost [%]
1.	SunPower	21,5
2.	Sunyo Electric	20,2
3.	JA Solar	20,0
4.	Suntech	19,7
5.	Panasonic	19,7
6.	LG	19,5
7.	Suniva	19,4
8.	Shinsung SE	19,4

Tab.č. 1 – Monokrystalické panely podle účinnosti [5]

### 2.3.2 Křemíkové polykrystalické články

Vyrábí se z ingotu křemíku tvaru krychle. Podobně jako u monokrystalických se nařezou na tenké plátky. Mají o něco větší osvětlovanou plochu, neboť mají tvar přesného čtverce a minimalizují se tak slepá místa v panelu. Jsou také náchylnější na ztrátu účinnosti při vysokých okolních teplotách oproti monokrystalu. Nicméně tento rozdíl mezi nimi není tak významný.

Materiál není tak čistý, účinnost je tedy menší, než u monokrystalických, mezi 10 - 17%. Nicméně se změnou úhlu dopadu paprsků klesá účinnost pomaleji. Hodí se na příklad na budovy s nepraktickou orientací střechy vůči Slunci. Níže je tabulka osmi polykrystalických článků v dostupné cenové hladině s nejvyšší účinností. [4]

	<b>Výrobce</b>	<b>Účinnost [%]</b>
<b>1.</b>	Trina Solar	17,1
<b>2.</b>	SunPower	16,8
<b>3.</b>	Solland Solar	16,0
<b>4.</b>	Siliken	15,7
<b>5.</b>	LDK Solar	15,7
<b>6.</b>	Vikram	15,7
<b>7.</b>	Wiosun	15,6
<b>8.</b>	A2Peak	15,5

**Tab.č. 2 – Polykrystalické panely podle účinnosti [5]**

### **2.3.3 String ribbon technologie**

Z taveniny křemíku je přímo tažený tenký pás, z něhož jsou odlamovány desky. Výroba se tedy vyhne drahému postupu řezání ingotů a leptáním jeho plátků. Zároveň se využije mnohem větší množství surového křemíku. Na stejnou plochu desek se spotřebuje kolem 50% křemíku, než je tomu o mono a polykrystalických článků. Z toho nám vychází, že výroba těchto článků je levnější. Tento rozdíl v ceně výroby se ovšem v průběhu posledních let zmenšil s rapidním poklesem ceny křemíku. Dnes je to tedy spíše minoritně používaná technologie výroby.

Účinnost dosahuje 14 - 15%. V laboratoři se povedlo dosáhnout účinnosti až 17,8%.

### **2.3.4 Křemíkové amorfní články**

Články z amorfního křemíku mají oproti výše uvedeným křemíkovým typům článků nespornou výhodu v tom, že spotřebují podstatně méně materiálu, a ve výsledku jsou tedy při velkosériové výrobě znatelně levnější. Proces výroby je založen na rozkladu vhodných

sloučenin křemíku ve vodíkové atmosféře. Tímto způsobem se dají připravit velmi tenké vrstvy křemíku na skleněné, nerezové nebo plastové podložce. Takto nanášená vrstva křemíku je amorfní, tj. nemá pravidelnou krystalickou strukturu a obsahuje použitý vodík. Díky větší absorpci slunečního záření může být podstatně tenčí (vrstva o tloušťce 1  $\mu\text{m}$  pohltí 90% slunečního záření). Další výhodou tedy je, že článek, resp. panel může být díky velmi tenkým vrstvám velmi elastický (dokonce i nanášeny na oděv).

Takto zpracovaný křemík má na druhé straně oproti oboum typům krystalického křemíku daleko méně pravidelnou strukturu s větším množstvím poruch. Některé atomy křemíku nemají kolem sebe vhodné sousední atomy, se kterými by tvořily pevnější vazby. Tvoří se tak méně pevné, nenasycené vazby, které vytváří energetické hladiny uvnitř pseudo-zakázaného pásu. Tyto rekombinační centra pak snižují účinnost. Snižování hustoty nenasycených vazeb je možno docílit jejich pasivací, nejčastěji vodíkem.

Jeho účinnost se pohybuje kolem 8%, nicméně nanášením více vrstev můžeme dosáhnout účinnosti až 13%. V prvním roce používání dosahují účinnosti dokonce o 15 – 30% vyšší, než udává výrobce (tzv. Staebler-Wronski efekt). Navíc účinnost je mnohem méně náchylná na okolní teplotu a zastínění od přímého záření. [4]

### 2.3.5 Technologie více přechodů

V posledních letech se rozvinula technologie sestavení více vrstev různých druhů tenkých článků za sebou. Přičemž první vrstva absorbuje fotony s největší energií a dále propustí fotony s menší energií, které z části absorbuje další vrstva článků a tak dále. Tímto způsobem je teoreticky možné využít celé spektrum slunečního záření, tedy přibližně 250 – 2500 nm. Materiál pro tyto vrstvy článků se využívají intermetalické sloučeniny prvků III. a V. skupiny, jako jsou InGaAsSb a GaSb.

Takto vícevrstvě poskládané články dosahují největší účinnosti ze všech. Vědci z americké univerzity George Washingtona dokázali v roce 2017 sestrojít článek s účinností 44,5%, to je zatím celosvětový rekord v účinnosti pro jeden článek. Nicméně takto sestrojené články jsou velmi drahé, materiál na jejich výrobu se prozatím získává složitou technologií. Budoucnost pro tyto články je ovšem velmi slibná. [4]

## 2.4 Rozdělení podle generací

Obor fotovoltaiky se v praktickém životě využívá již 60 let. Během let se postupně měnila poptávka, dostupnost zdrojů a inovace používaných a použitelných technologií. Všechny konstrukce a technologie lze rozdělit na tři až čtyři generace, záleží na výkladu.

## 2.4.1 První generace

Za první generaci označujeme nejstarší velké panely monokrystalických článků obsahující velkoplošné P-N přechody. Vyznačovaly se především obtížnými technologickými postupy při výrobě a hrubou spotřebou materiálu, kdy velká část použitého křemíku skončila jako odpadní materiál. Nicméně jejich účinnost stále nebyla přesvědčivě překonána a využívá se ve velkém dodnes, především na větších plochách (velké budovy, solární elektrárny atd.). Kromě účinnosti je jejich silnou stránkou i dovednost, jak je již uvedeno v kapitole o monokrystalických článcích. Renesanci těchto technologií způsobil fakt, že cena křemíku během posledních let prudce klesla, není tedy třeba při výrobě křemíkem již tolik šetřit. Tvoří stále největší procento zastoupení mezi všemi panely.

## 2.4.2 Druhá generace

Vzhledem ke snaze uspořít co nejvíce křemíku (tehdy drahého) se začaly vynalézat metody, kde se buď zmenší množství odpadního materiálu, nebo se použije na stejnou plochu panelu co nejtenčí vrstva článků. Jako materiál se začal používat především polykrystalický a amorfní typ článku. Jak je již zmíněno v předešlých kapitolách, tyto panely mají znatelně nižší účinnost, která navíc klesá rychleji, než je tomu u první generace panelů. Navíc díky méně robustní struktuře jsou náchylnější na okolní vlivy. Výhodou je často vysoká flexibilita a menší potřeba údržby.

## 2.4.3 Třetí generace

Tato generace se ve velkém množství publikací nepočítá do širokého praktického využití ve fotovoltaice. Tyto technologie nepoužívají tradiční materiály, tedy polovodiče. Namísto toho používají široké spektrum polymerů. Mezi ně se řadí tzv. fotogalvanické články vyrobené z polymeru s konjugovanými dvojnými vazbami a s molekulami fullerenu. Vznikají i nanostruktury, kde se využívá především uhlíku. Od této technologie se v posledních letech upustilo, především pro velmi malou účinnost, životnost a odolnost vůči vnějším vlivům. Pro široké aplikace je nepraktická.

## 2.4.4 Čtvrtá generace

Za čtvrtou generaci označujeme technologii více vrstev. Tato technologie je popsána výše. Praktické využití zatím příliš nenašla. Jedná se spíše o prototypy článků v laboratořích, které lámají rekordy účinnosti, nicméně se příliš nehodí k praktickému využití, díky velmi drahé výrobě a křehkosti článků.



## 2.5 FV panely a moduly

Zapojení jednoho samotného FV článku je pro technické využití většinou nedostačující, nebo nepraktické. Články se tedy propojují sério-paralelně, taková série se poté nazývá panel, či modul.

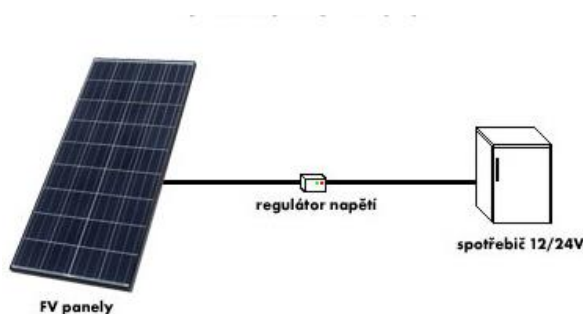
Celý panel/modul může být uložen v pevném (většinou hliníkovém) rámu (případně zalitý do tvrdšího, semi-flexibilního plastu), který články chrání před vlhkostí, větrem různým druhům mechanického poškození. Zároveň fixuje články na jednom místě, slouží často i jako podstavec k montáži na střechu, či rámy. Samotné články poté pokrývá vrstva kaleného skla se sníženým obsahem železa (zajišťující vysokou propustnost) a antireflexní vrstvou (která snižuje ztráty způsobené odrazem paprsků). Těsnost a pevnost často zajišťuje vrstva polymeru. Spodní stranu panelu tvoří sklo, nebo Tedlar (fluoropolymer odolný vůči UV záření). Životnost takové konstrukce (pokud je článek na bázi monokrystalických polovodičových) bývá obvykle 20-30 let.

## 2.6 Solární systémy off grid

Jediným rozumným způsobem zapojení solárního systému pro účely mé práce je systém ostrovní, tzv. „off-grid“.

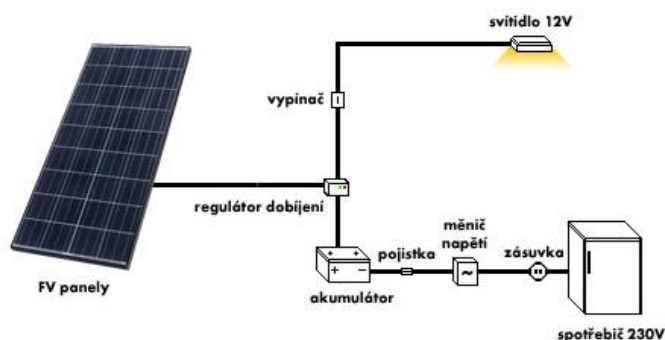
Při budování ostrovního systému na výrobu elektrické energie je vhodné volit odpovídající spotřebiče, které fungují na stejnosměrný proud. Stejnosměrný proud je možné pomocí napěťového měniče přetransformovat na proud střídavý. Nicméně v tomto případě se nám hodí stejnosměrný proud, neboť akumulátory v autobusu využívají proudy stejnosměrné. Je několik způsobů, jak zapojit off-grid systém.

Nejjednodušší jsou systémy s přímým napájením. U těchto systémů je připojené elektrické zařízení funkční po dobu dostatečné intenzity slunečního záření. Jedná se pouze o propojení solárního modulu se spotřebičem přes jednoduchý regulátor napětí.



obr.č. 2 – systém off-grid s přímým napájením

Dalším typem těchto off-grid je systém s akumulací elektrické energie. Tato varianta je použita v případech, kdy potřeba elektrické energie nastává i v době bez slunečního záření. Z tohoto důvodu mají tyto systémy speciální akumulátorové baterie. Optimální nabíjení a vybíjení akumulátoru je zajištěno regulátorem nabíjení. K ostrovnímu systému lze připojit spotřebiče napájené stejnosměrným proudem, případně běžné síťové spotřebiče 230V/~50Hz napájených přes napěťový střídač.



obr.č. 3 – systém off-grid s akumulátorem

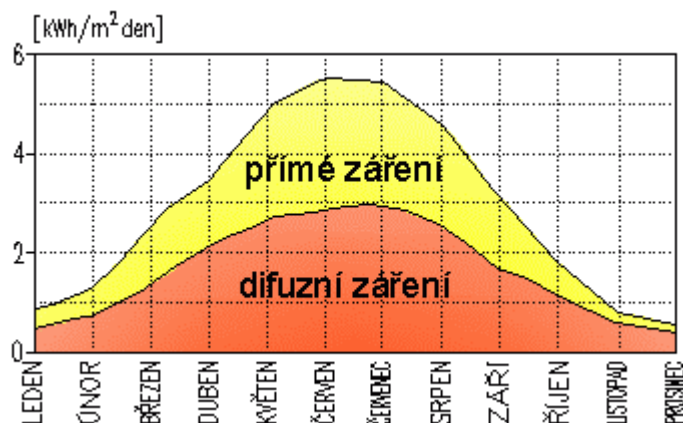
Posledním typem těchto systémů jsou hybridní ostrovní systémy. Ty se používají tam, kde je nutný celoroční provoz a kde je občas používáno zařízení s vysokým příkonem. V zimních měsících je možné získat z fotovoltaického systému podstatně méně energie než v měsících letních. Proto je nutné tyto systémy navrhovat pro zimní provoz, což má za následek instalování vyššího výkonu a tím i zvýšení nákladů.

## 3 Provozování vozidla na území ČR

### 3.1 Světelná energie

Slunce je ve své podstatě obří termojaderný reaktor. Vyzařuje velké množství energie ve formě slunečního (elektromagnetického) vlnění. Na Zemi dopadá přibližně polovina jedné miliardtiny této energie. Solární konstanta ( $1348,3 \text{ W/m}^2$ ) je energie za jednotku času, dopadající na jednotku plochy kolmo ke směru šíření záření, při průměrné vzdálenosti Slunce od Země  $149,6 \cdot 10^6 \text{ km}$ . V reálném světě nicméně není konstantní, neboť oběžná dráha Země kolem Slunce je eliptická, a to způsobuje kolísání ve velikosti solární konstanty přibližně 3 % (asi  $40 \text{ W/m}^2$ ). Malé změny solární konstanty jsou též spjaté s cykly sluneční aktivity, ty ale dosahují maximálně desetin procenta. [6]

Ve skutečnosti ovšem nelze na zemském povrchu dosáhnout této teoretické hodnoty příkonu. I za velmi dobrých podmínek (obloha bez mraků, paprsky dopadající kolmo) dopadne na zemský povrch přibližně jen  $1100 \text{ W/m}^2$ . Hustá atmosféra Země s rychle se měnící hustotou mraků, působení vodních par, prachovými částicemi a dalšími drobnými prvky a také v důsledku proměnných drah paprsků záviselých na poloze Země vůči Slunci je povrch Země ozařován různou intenzitou. Rozlišuje se přímé a nepřímé, tzv. difúzní ozaření. Na bezmračné obloze Slunce osvětluje Zemi přímo, mluvíme tedy o záření přímém, naopak paprsky tlumené mraky, či paprsky odražené označujeme jako difúzní. Celkové záření získáváme součtem obou hodnot. Rozptylem přímého záření v mracích a na částicích v atmosféře vzniká záření difúzní, které na Zemi přichází ze všech směrů. Souhrn přímého a difúzního záření se označuje jako globální záření. [11]



obr.č. 4 – Podíl přímého a difúzního záření v průběhu roku

Během letních dnů tvoří podíl difúzního záření přibližně 50% celkového (globálního) záření. V zimě je díky méně slunečným dnům a celkově méně vhodné pozici Slunce vzhledem k naší části polokoule tento podíl zřetelně větší. Když se poté podíváme na průměr během celého roku, difúzního záření tvoří přibližně 60% z globálního záření. Intenzita záření kolem poledne během zamračených dnů zhruba 40-200 W/m<sup>2</sup>. Za jasnějších dnů potom 600-1000 W/m<sup>2</sup>.

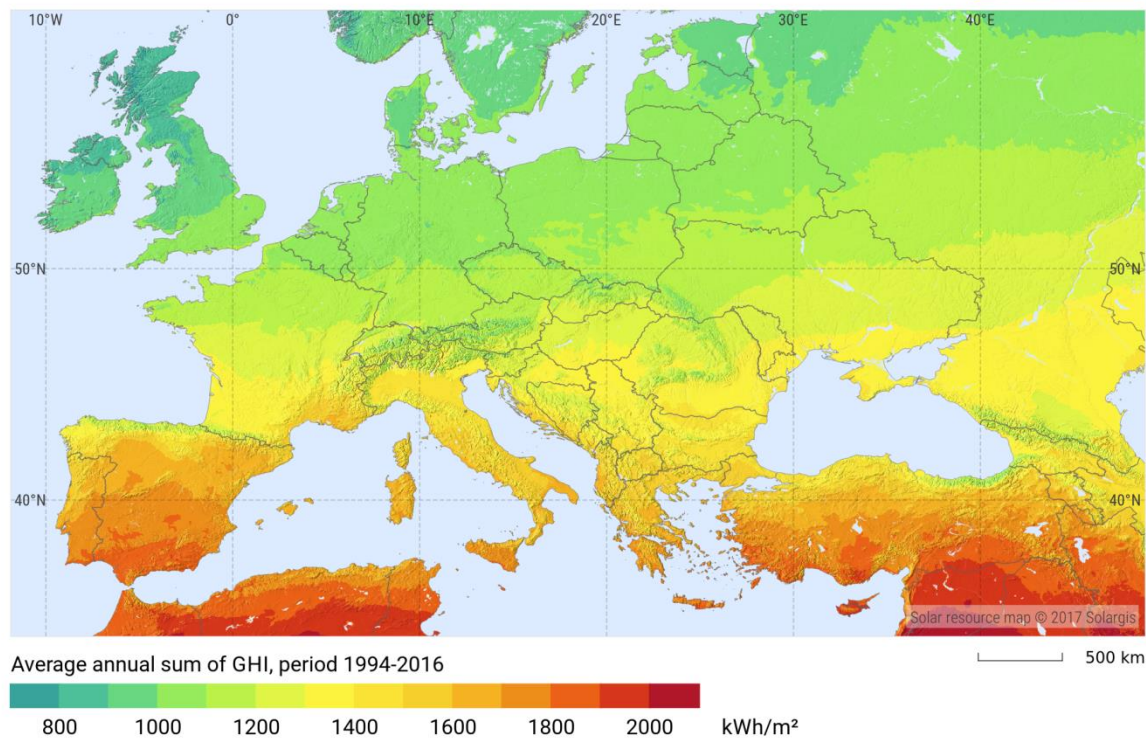
	<b>Intenzita záření (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Podíl difúzního zář. (%)</b>
<b>Jasně nebe</b>	800-1000	10
<b>Menší hustota mraků</b>	600-900	50
<b>Mlhavo</b>	100-300	100
<b>Silně zamračeno</b>	50	100
<b>Celoroční průměr</b>	600	50-60

Tab.č. 3 – Výkony zářivé energie a podíl difúzního záření za různých podmínek [11]

## 3.2 Světelné podmínky v ČR

Na základě dlouhodobých normálů je sestavena mapa ročních osvitových poměrů Evropy a České Republiky:

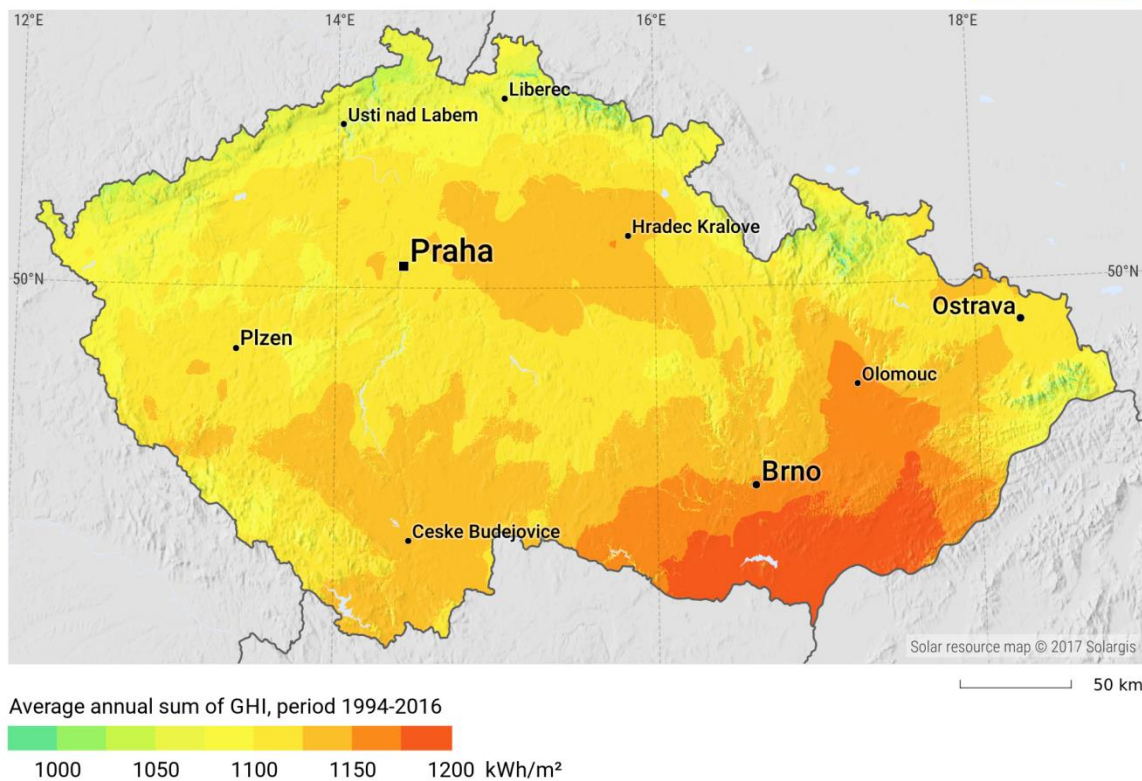
# GLOBAL HORIZONTAL IRRADIATION EUROPE



obr.č. 5 – Globální horizontální záření v rámci Evropy [17]

## GLOBAL HORIZONTAL IRRADIATION CZECH REPUBLIC

SOLARGIS



obr.č. 6 – Globální horizontální záření v ČR [17]

V České Republice je nejlépe využitelné sluneční záření v polovině července, z pohledu FV článků je naopak nejhorší přelom měsíců prosince a ledna. Toto kolísání je způsobeno měnícím se úhlem, který svírá dopadající parsek s povrchem Země. Čím více kolmý, tím větší má význam z pohledu získané energie.

### 3.3 Peak-hours pro danou oblast

Výpočet spojitě měnícího se výkonu Slunce by bylo matematicky velmi náročné, proto se tyto změny zjednodušují a počítá se s násobkem tzv. „peak-hours“. Kdy počet hodin záření Slunce ve skutečnosti znamená celkový výkon během dne/měsíce vydělený 1000 W/m<sup>2</sup>. Pro Prahu je počet těchto hodin během všech 12-ti měsíců následující: [7]

měsíc	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
počet hodin [hod.]	43	62	128	149	208	210	214	204	150	103	55	47

**Tab.č. 4 – Průměrné měsíční doby slunečního svitu v Praze [7]**

## 4 Navržení a provedení měření spotřeby elektrické energie

### 4.1 Spotřeba elektrické energie ve vozidle

Pro teoretický výpočet úspory paliva při použití solárních panelů bylo potřeba zjistit, jaká je reálná spotřeba elektrické energie v běžném vozidle městské/příměstské hromadné dopravy během provozu linky. Práce je koncipována na autobus s dieselovým motorem. V tomto autobusu, stejně jako ve většině ostatních dieselových autobusů a nákladních vozidel, požadujeme vyšší jmenovité napětí, než jaké má akumulátorová baterie (tedy 12 V). Pro získání vyššího napětí se akumulátory zapojují do série. Kladný pól jednoho akumulátoru se zapojí na záporný pól druhého akumulátoru. Získané napětí je poté součet napětí obou akumulátorů. Tedy  $12\text{ V} + 12\text{ V} = 24\text{ V}$ . Kapacita akumulátorů se rovná kapacitě slabšího z nich (udává se v jednotkách Ah).

Ke zjištění hodnoty spotřeby elektrické energie bylo navrženo měření, které popisují v dalších kapitolách práce.

### 4.2 Způsob a průběh měření

#### 4.2.1 Příprava měřícího zařízení

Sestavení celého měřícího zařízení proběhlo v dílně v suterénu budovy ČVUT Konviktská 20 v Praze na Starém Městě, za velké pomoci a dozoru Ing. Jindřicha Sadila, Ph.d., který mi taktéž většinu součástek propůjčil. Sestavené měřící zařízení se skládá z několika klíčových komponent:

#### **Napájení:**

Do okruhu k čidlům a modulu bylo třeba vyrobit a zapojit přenosné napájení, díky kterému oba spotřebiče mohly fungovat. Podle instrukcí jsem do série zapojil velký alkalický článek o napětí 9 V a čtyři malé o celkovém napětí 6 V. Vznikl tak velký článek o napětí 15 V pro kladný pól, to samé jsem sestavil pro záporný pól. Poté jsme vše spájeli a vytvořili uzemnění pro senzor Arduino. Konečné sestavené napájení včetně krabičky:

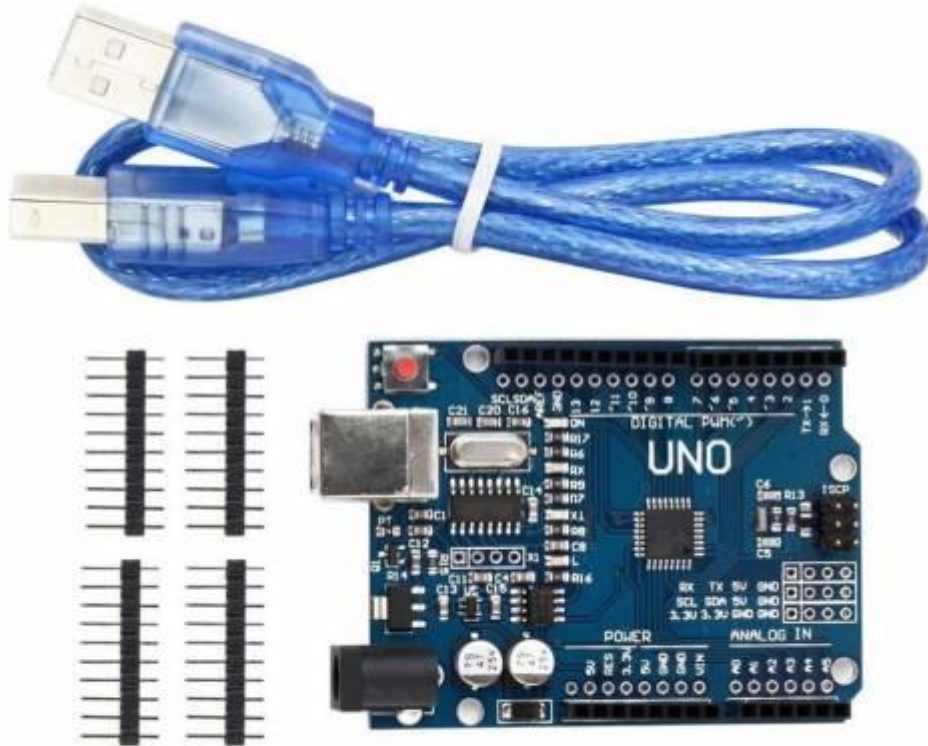




obr.č. 7 – Sestavené napájení

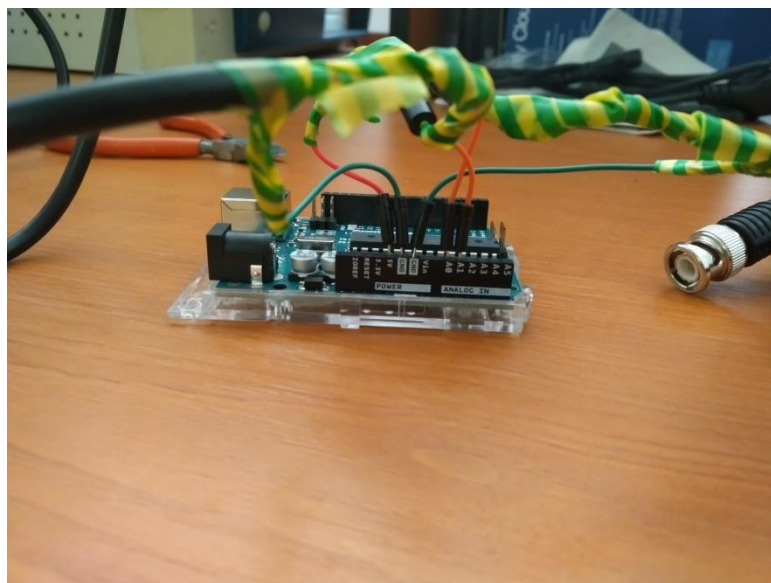
### **Proudový senzor – modul + proudová čidla:**

Arduino Uno modul s proudovým senzorem ACS712 funguje na principu Hallova jevu, integrovaný obvod umístěný na modulu tedy generuje elektrické napětí na základě okolního elektrického a magnetického pole, které vytváří elektrický proud procházející svorkami. Poté stačí změřit zmíněné napětí z modulu s proudovým senzorem ACS712 pomocí Arduino analogového vstupu a přepočítat ho na proud za pomoci konstanty, kterou udává výrobce proudového senzoru. Samotný senzor ACS712 lze zakoupit ve dvou variantách pro měření různých velikostí proudu, jedná  $\pm 5$  A a  $\pm 20$  A. Při měření byla použita 5 A varianta, ale při použití jiného typu modulu stačí v kódu u proměnné „konstanta“ použít příslušnou hodnotu uvedenou v komentáři. Další výhodou proudového senzoru ACS712 je možnost měřit proud v obou směrech, můžeme tedy dostat kladný i záporný výsledek. Při měření nulového proudu tím pádem dostaneme napětí rovné polovině napájecího napětí modulu, tedy  $V_{cc}/2$ . [8]



obr.č. 8 – Schéma zapojení proudového senzoru Arduino k napájení [8]

Zkušební zapojení napájení a senzoru Arduino, které proběhlo v dílně v suterénu budovy ČVUT Konviktská 20 v Praze na Starém Městě:



obr.č. 9 – Detail na zkušební zapojení napájení a senzoru Arduino

Druhou komponentou byla kruhová proudová čidla, která zaznamenávají právě změnu napětí, kterou vyvolává procházející proud. Zjištěné napětí posílají do senzoru Arduino, který hodnotu zaznamená.

Vzhledem ke vzdálenosti mezi místem měření a modulem Arduino Uno byla proudová čidla s modulem připojena dlouhými vodičnými kabely. Rezistor byl připájen k vodičmu drátu a společně s napájením pro celý obvod připojen krabicovými svorkami s páčkou.

### **Notebook se zakomponovaným softwarem:**

Byl použit osobní notebook Lenovo řady ThinkPad (vysoká výdrž baterie), do kterého byl připojen přes USB port modul Arduino Uno (koncovka typu USB-B z modulu Arduino Uno a koncovka typu USB-A do notebooku).

Nainstalovány byly dva programy. První z nich je oficiální open-source software od společnosti Arduino – Arduino IDE 1.8.5 pro operační systém Windows 10. Ten má za úkol snímanou hodnotu napětí (potažmo proudu) převést do digitální podoby a zobrazit na obrazovku počítače vždy za určenou jednotku času. Celý program je v českém jazyce a z mého pohledu intuitivní a přehledný. Program nabízí možnost uživatelského nastavení přes příkazový řádek, využívá k tomu vlastní programovací jazyk Arduino. Příkazový řádek lze spustit pomocí tlačítka „Projekt“ v kontextovém menu. Na webových stránkách <<http://www.arduino.cc/en/Tutorial/AnalogInput>> lze nalézt ukázkou základních příkazů a ukázkou celého funkčního kódu. Pro účely měření byl celý kód předělán tak, aby zaznamenával dva vstupy, každý s hodnotou 0-5 V (modulem lze měřit i mínusové hodnoty, v tomto případě do -5 V), a posílal na obrazovku dva záznamy oddělené mezerou s přesností na dvě desetinná místa, každých 100 milisekund. Opět pomocí nabídky „Projekt“

Lze kód zkompileovat a zkontrolovat, zda se v kódu nevyskytují chyby v logice, chyby v programovacím jazyce a překlepy.

Pro přiblížení, jaký interface program používá a jak vypadá příkazový řádek, přikládám printscreen:



```
log_pokus1 | Arduino 1.8.5
Soubor Úpravy Projekt Nástroje nápověda

log_pokus1

int sensorPin0 = A0; // select the input pin for the potentiometer
int sensorPin1 = A1; // select the input pin for the potentiometer

//int ledPin = 13; // select the pin for the LED
int sensorValue0 = 0; // variable to store the value coming from the sensor
int sensorValue1 = 0; // variable to store the value coming from the sensor
int delay_time=100; //ms
float voltage_A0;
float voltage_A1;

void setup() {
  // declare the ledPin as an OUTPUT:
  // pinMode(ledPin, OUTPUT);
  Serial.begin(9600); // open the serial port at 9600 bps:
}

void loop() {
  // read the value from the sensor:
  sensorValue0 = analogRead(sensorPin0);
  sensorValue1 = analogRead(sensorPin1);
}

Code formatted for the Arduino forum has been copied to the clipboard.
Archiving built core (caching) in: C:\Users\UDATN_-1\AppData\Local\Temp\arduino_cache_889325\core\core_arduino_avr_uno_0c812875ac70eb4a9b385d8fb077f54c.a
Projekt zabírá 3652 bytů (11%) úložného místa pro program. Maximum je 32256 bytů.
Globální proměnné zabírají 216 bytů (10%) dynamické paměti, 1032 bytů zůstává pro lokální proměnné. Maximum je 2048 bytů.

34 Arduino/Genuino Uno na COM3
```

obr.č. 10 – Interface programu Arduino Uno

Po kompilaci kódu a připojení modulu Arduino Uno k počítači lze kód spustit, vyskočí další dialogové okno, do kterého se začnou zapisovat naměřené hodnoty. Problém spočívá v tom, že se zobrazuje velké množství dat, vzhledem k tomu, že interval zapisování je nastaven na 0,1 sekundy. Na řadu tedy přichází další program.

Druhý program se jmenuje Advanced Serial Port Monitor. Podobných programů je k dispozici celá řada, tento byl vytvořen roku 2005 a je od společnosti AGG Software. Verze programu je 3.5.0. Jeho práce spočívá pouze v zapisování zobrazovaných dat z programu Arduino IDE do souboru. V programu je třeba před spuštěním měření nastavit, který port je připojený k modulu a do kterého programu se mají data zapisovat. V mém případě se data zapisovala do souboru .txt. Po každé celé jízdě jsem zapisování pozastavil, soubor uložil a začal zapisovat do dalšího. Data se zapisují v reálném čase, v podstatě tak nehrozí jejich ztráta.

Přikládám ukázkou konečného zápisu dat do souboru .txt:





obr.č. 12 Vůz Karosa C954 poskytnutý k měření [9]

Technické specifikace vozu Karosa C954:

<b>Výrobce</b>	<b>Karosa</b>
Délka	11990 mm
Šířka	2500 mm
Výška	3165 mm
Pohotov. hmot.	10800 kg
Obsaditelnost	49/53:39/35
Motor	Iveco Cursor F2B
Umístění motoru	Vzadu
Výkon	228 kW (302 hp)
Baterie	2x12 V

Tab.č. 5 – Technické specifikace: Karosa C954

Výroba vozu Karosa C954, potažmo C954E (novější model, který prošel pouze kosmetickými úpravami) začala již roku 2001. Tento model se stále hojně využívá na trasách dálkových, příměstských a městských autobusů.

### **4.2.3 Průběh měření**

Instalace celého zařízení začala v dopoledních hodinách dne 23.7.2018. Ve městě Smiřice jsme se setkali s Ing. Dušanem Kamenickým. Společně jsem dojeli v zapůjčeném vozu Karosa do nedalekého města Česká Skalice, kde jsme se pustili do instalace proudových čidel.

První čidlo (v tabulce uvedeno jako čidlo B) se nám podařilo nainstalovat velmi záhy. Na určené místo se nám podařilo dostat v pojistné skříňce zevnitř autobusu, v jeho zadní části. Nicméně jsme se shodli na tom, že obvod, na který jsme takto čidlo umístili, rozhodně nezaznamenával celou hodnotu spotřeby proudu. Umístění čidla B v pojistné skříni uvnitř autobusu, společně s připojeným notebookem a napájením:



*obr.č. 13 – Umístění čidla B*

Rozhodli jsme se tedy, že je třeba zapojit druhé čidlo. Drželi jsme se původní záměru zapojit čidlo přímo na vývod z alternátoru. Po velmi dlouhých útrapách se Ing. Kamenickému opravdu podařilo druhé čidlo namontovat na vývod z alternátoru, tak, aby funkčně zaznamenávalo hodnoty změny napětí, za což získal můj neskonalý obdiv a dík. Zároveň čidlo připevnil tak dobře, že ačkoliv se Karosa během celého měření celá třásla, všechno kontakty to vydržely, včetně těch uvnitř samotného čidla, které byly zvláště citlivé. Na obrázku vidíte zapojená čidlo A:





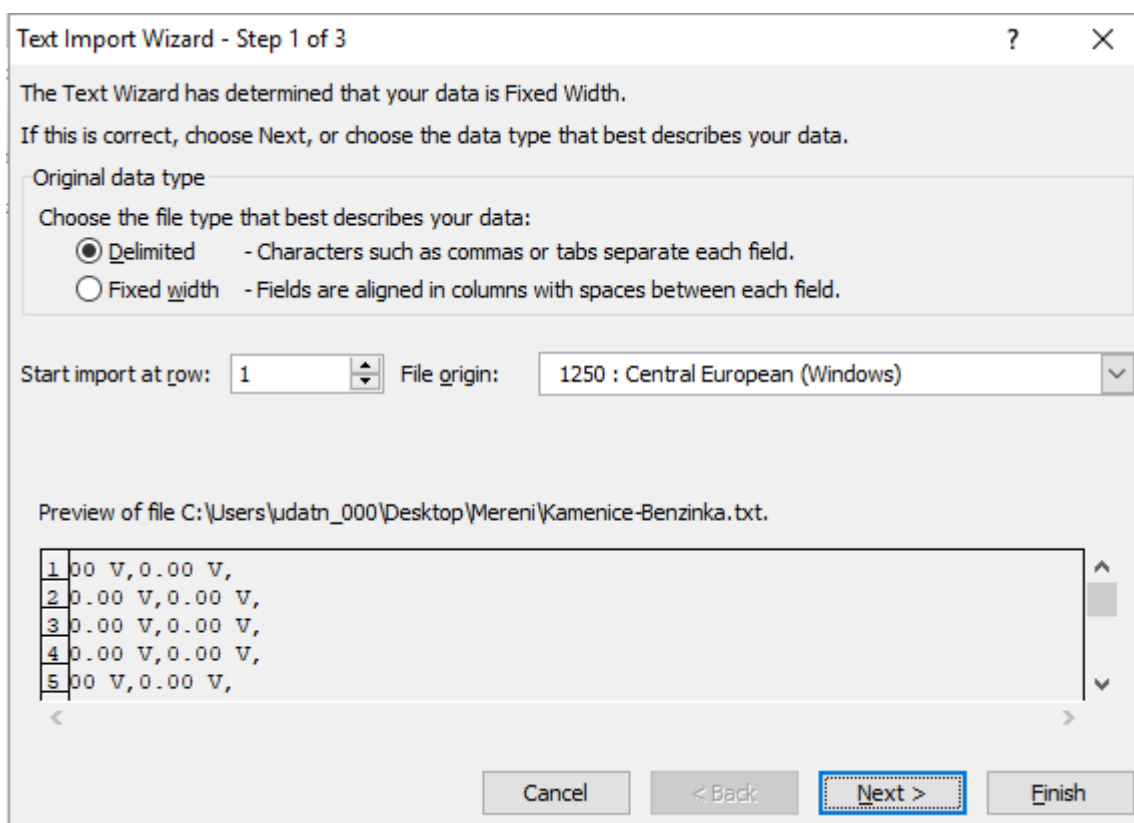
*obr.č. 14 – umístění čidla A*

## 5 Vyhodnocení měření a výpočet úspory paliva

### 5.1 Zpracování dat

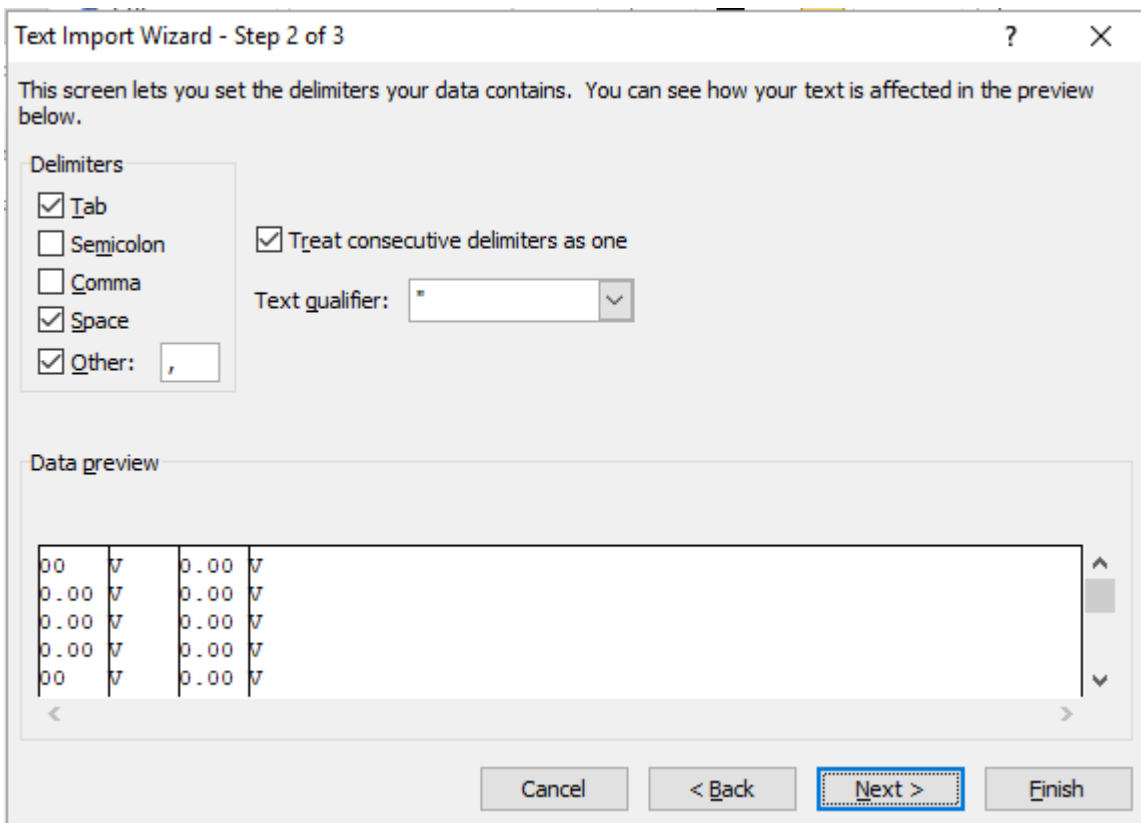
#### 5.1.1 Export syrových dat

Naměřená data jsem exportoval ze souboru .txt do programu Microsoft Excel 2010. Prvním krokem byla změna z hodnoty „Limited width“ na „Delimited“, neboť hodnoty byly programem zapisovány oddělené mezerou a čárkou:



obr.č. 15 - Export dat – krok první

Jako druhý krok bylo třeba určit konkrétní znaky, které oddělovali sloupce. Pro lepší práci s daty jsem oddělil do samostatných sloupců písmena od čísel a následně data pročistil. Rovněž jsem z dat vymazal nadbytečné hodnoty, kdy senzor měřil před začátkem pokusu a po jeho konci:



obr.č. 16 - Export dat – krok druhý

## 5.1.2 Přepočítání naměřených hodnot

Modul Arduino Uno ze své podstaty (využívá principu Hallova jevu) na výstupu zaznamenává napětí generované procházejícím proudem. Toto napětí může nabývat hodnot 0-5 V, přičemž tato hodnota je měřena s přesností na dvě desetinná místa. Pro účely zjištění spotřeby elektrické energie bylo potřeba přepočítat tyto hodnoty zpět na velikost procházející proudu. Na přepočítání jsem využil jednoduchý vzorec Ohmova zákona:

$$U = I * R$$

$$I = \frac{U}{R} [A]$$

Jak bylo již dříve řečeno, rezistor zapojený do obvodu má konstantní hodnotu 99,6 Ω.

Dále je potřeba brát v úvahu konstantu přepočtu uvedenou v kódu pro modul Arduino Uno. Označíme jí písmenem  $k_A$ . Konstanta má hodnotu 1023 jednotek. Touto konstantou

výsledný proud vynásobíme, jak vychází ze sestaveného kódu v softwaru Arduino IDE. Konečný upravený vzorec má tedy tvar:

$$I = \frac{U}{R} * k_A [A]$$

Maximální proud, který tedy můžeme naměřit, je 51,36 A (při maximální možné naměřené hodnotě 5 V).

$$I = \frac{5}{99,6} * 1023 = 51,36 A$$

### 5.1.3 Výpočet spotřeby elektrické energie ve vozidle

#### Testovací jízda:

Před samotným výjezdem výlukového vozidla jsme provedli zkušební jízdu, tato jízda na benzinovou pumpu trvala téměř 30 min. Měřil jsem vliv jednotlivých úkonů řidiče v autobusu na změnu spotřeby elektrické energie. Níže jsou tyto situace zaznamenány do tabulek.

I.: Klíčky jsou v zapalování, v poloze před startováním, motor neběží (alternátor neběží)

Generované napětí – čidlo A [V]	Generované napětí – čidlo B [V]	Odpor [Ω]	Čas [s]	kA [1]	Procházející proud – čidlo A [A]	Procházející proud – čidlo B [A]
0	0	99.6	0.4	1023	0	0.72
0	0	99.6	0.5	1023	0	0.72
0	0.07	99.6	0.6	1023	0	0.72
0	0.07	99.6	0.7	1023	0	0.72
0	0.06	99.6	0.8	1023	0	0.62

0	0.07	99.6	0.9	1023	0	0.72
0	0.07	99.6	1	1023	0	0.72

**Tab.č. 6 – Test. jízda - zapalování**

II.: Zapnutí předních světel:

Generované napětí – čidlo A [V]	Generované napětí – čidlo B [V]	Odpor [Ω]	Čas [s]	kA [1]	Procházející proud – čidlo A [A]	Procházející proud – čidlo B [A]
0	0.07	99.6	2.7	1023	0.00	0.72
0	0.07	99.6	2.8	1023	0.00	0.72
0	0.07	99.6	2.9	1023	0.00	0.72
0	0.45	99.6	3	1023	0.00	4.62
0	0.45	99.6	3.1	1023	0.00	4.62
0	0.45	99.6	3.2	1023	0.00	4.62
0	0.45	99.6	3.3	1023	0.00	4.62
0	0.45	99.6	3.4	1023	0.00	4.62

**Tab.č. 7 – Test. jízda – přední světla**

III.: Zapnutí všech světel uvnitř autobusu:

Generované napětí – čidlo A [V]	Generované napětí – čidlo B [V]	Odpor [Ω]	Čas [s]	kA [1]	Procházející proud – čidlo A [A]	Procházející proud – čidlo B [A]
0	0.47	99.6	4	1023	0.00	4.83
0	0.47	99.6	4.1	1023	0.00	4.83
0	0.47	99.6	4.2	1023	0.00	4.83

0	0.79	99.6	4.3	1023	0.00	8.11
0	0.79	99.6	4.4	1023	0.00	8.11
0	0.78	99.6	4.5	1023	0.00	8.01
0	0.78	99.6	4.6	1023	0.00	8.01
0	0.79	99.6	4.7	1023	0.00	8.11

**Tab.č. 8 – Test. jízda – vnitřní světla**

**IV.:** Měření bohužel nezaznamenalo jaký proud prochází obvodem při startování motoru ani jedním ze dvou čidel. První čidlo umístěné na části obvodu, kde se měřila spotřeba z baterie nezahrnovala obvod startéru a druhé čidlo umístěné na obvodu na místě odběru proudu z alternátoru nezaznamenalo nic, protože v tu chvíli alternátor nebyl v provozu. Startovací proud má vysokou hodnotu za velmi krátký čas, mluvíme o tzv. pulzní zátěži. Velikost proudu ovlivňuje více faktorů, nicméně v oficiálních příručkách je uvedeno, že se pohybuje mezi 400-600 A. Jelikož se jedná o velkou hodnotu, baterie se startováním vybíjí o část své kapacity, časový úsek je ale malý, tudíž po přepočtení na ampér-hodiny se nejedná o tak podstatnou část kapacity baterie. Alternátor po jeho aktivaci, tedy po startu motoru, postupně dobíjí baterii i o tuto hodnotu.

**V.:** Motor běží, světla svítí naplno (přední světla přepnuta z polohy denního svícení, svítí všechna světla uvnitř vozidla).

Generované napětí – čidlo A [V]	Generované napětí – čidlo B [V]	Odpor [Ω]	Čas [s]	kA [1]	Procházející proud – čidlo A [A]	Procházející proud – čidlo B [A]
0	0.77	99.6	6.5	1023	0.00	7.91
0	0.76	99.6	6.6	1023	0.00	7.81
0.13	0.81	99.6	6.7	1023	1.34	8.32
0.57	0.85	99.6	6.8	1023	5.85	8.73
1.16	0.85	99.6	6.9	1023	11.91	8.73
0.61	0.85	99.6	7	1023	6.27	8.73
1.42	0.83	99.6	7.1	1023	14.58	8.53

1.51	0.75	99.6	7.2	1023	15.51	7.70
1.43	0.97	99.6	7.3	1023	14.69	9.96
1.41	1	99.6	7.4	1023	14.48	10.27
1.36	1.07	99.6	7.5	1023	13.97	10.99

**Tab.č. 9 – Test. jízda – všechna světla, motor**

**VI.: Ventilátory – plný výkon:**

Generované napětí – čidlo A [V]	Generované napětí – čidlo B [V]	Odpor [Ω]	Čas [s]	kA [1]	Procházející proud – čidlo A [A]	Procházející proud – čidlo B [A]
1.13	0.91	99.6	13.5	1023	11.61	9.35
1.93	1.11	99.6	13.6	1023	19.82	11.40
2.07	1.22	99.6	13.7	1023	21.26	12.53
2.22	1.76	99.6	13.8	1023	22.80	18.08
1.82	1.61	99.6	13.9	1023	18.69	16.54
2.2	1.66	99.6	14	1023	22.60	17.05
1.96	1.64	99.6	14.1	1023	20.13	16.84
2.04	1.72	99.6	14.2	1023	20.95	17.67
1.71	1.58	99.6	14.3	1023	17.56	16.23
1.95	1.56	99.6	14.4	1023	20.03	16.02

**Tab.č. 10 – Test. jízda – ventilátory**

**VII.: Tepelný radiátor – poloviční výkon:**

Generované napětí – čidlo A [V]	Generované napětí – čidlo B [V]	Odpor [Ω]	Čas [s]	kA [1]	Procházející proud – čidlo A [A]	Procházející proud – čidlo B [A]
2.68	2.21	99.6	71.3	1023	27.53	22.70
2.57	1.95	99.6	71.4	1023	26.40	20.03
2.87	2.14	99.6	71.5	1023	29.48	21.98
2.96	2.36	99.6	71.6	1023	30.40	24.24
3.43	3.05	99.6	71.7	1023	35.23	31.33
3.58	3.05	99.6	71.8	1023	36.77	31.33
3.02	2.77	99.6	71.9	1023	31.02	28.45
3.59	3.18	99.6	72	1023	36.87	32.66
3.71	3.22	99.6	72.1	1023	38.11	33.07
3.92	3.26	99.6	72.2	1023	40.26	33.48

**Tab.č. 11 – Test. jízda – radiátory, poloviční**

**VIII.:** Tepelný radiátor – plný výkon:

Generované napětí – čidlo A [V]	Generované napětí – čidlo B [V]	Odpor [Ω]	Čas [s]	kA [1]	Procházející proud – čidlo A [A]	Procházející proud – čidlo B [A]
3.34	3.5	99.6	101.3	1023	34.31	35.95
3.5	3.46	99.6	101.4	1023	35.95	35.54
3.28	3.47	99.6	101.5	1023	33.69	35.64
3.84	3.55	99.6	101.6	1023	39.44	36.46
3.9	3.54	99.6	101.7	1023	40.06	36.36



3.41	3.39	99.6	101.8	1023	35.02	34.82
4.04	3.51	99.6	101.9	1023	41.50	36.05
3.99	3.66	99.6	102	1023	40.98	37.59
3.33	3.48	99.6	102.1	1023	34.20	35.74
4.25	3.62	99.6	102.2	1023	43.65	37.18
3.85	3.7	99.6	102.3	1023	39.54	38.00
4.31	3.63	99.6	102.4	1023	44.27	37.28

**Tab.č. 12 – Test. jízda – radiátory, plné**

Topení i klimatizace mají tendenci postupem času svou spotřebu o něco zvyšovat do určitého bodu, tyto body ustálení leží přibližně na hodnotách uvedených na konci příslušných tabulek.

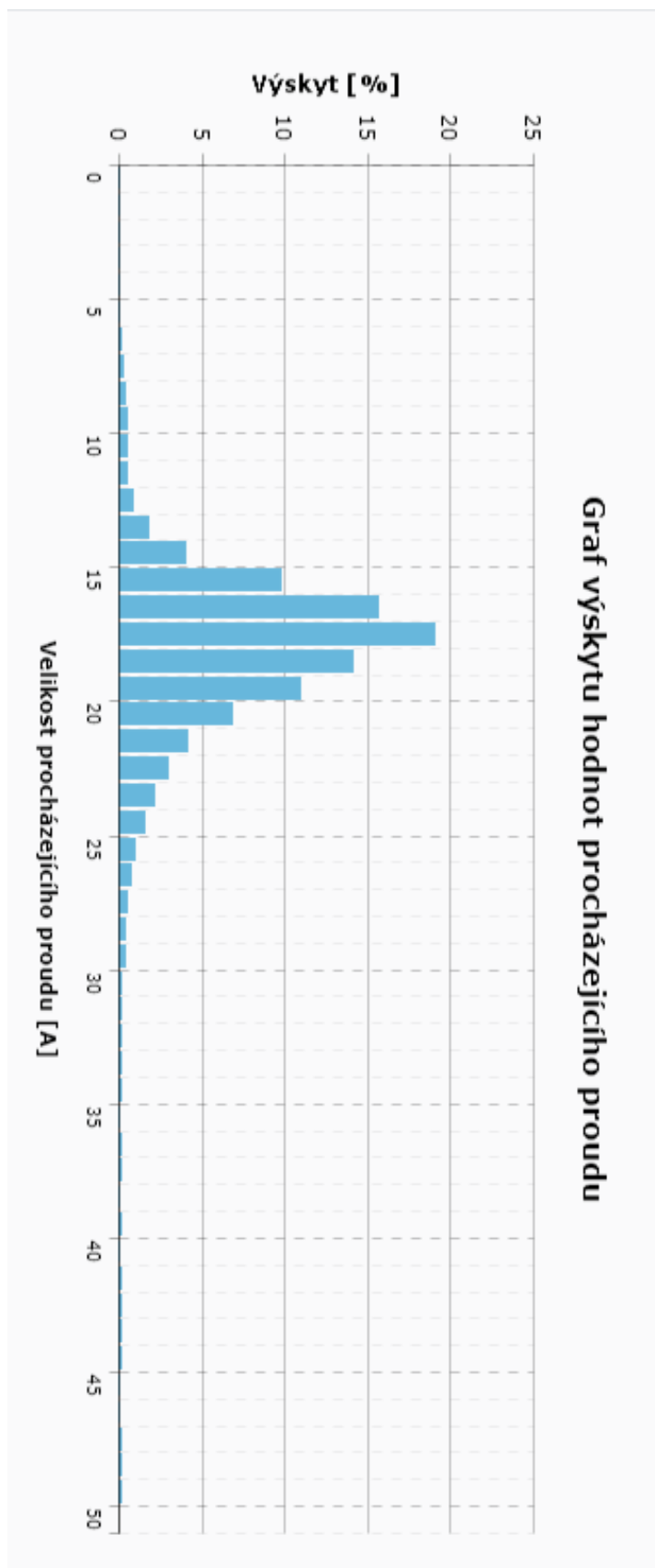
**IX.:** Elektromagnetická brzda (retardér) – využívá výřivých proudů, které se tvoří při elektromagnetické indukci. Toto budící elektromagnetické pole vytvářejí cívky statorů, výřivé proudy se poté tvoří v kovovém uzavřeném rotoru na brzděné hřídeli. Pohybová energie přenášená hřídelí se ve formě výřivých proudů mění na teplo, čímž celý pohyb autobusu zpomaluje.

Po každé aktivaci elektromagnetické brzdy se měřený proud během několika setin vteřiny vyšplhal nad maximální možnou naměřenou hodnotu, tedy 51,36 A. Měření se tedy pokaždé v těchto několika vteřinách během používání retardéru znehodnotilo. Každopádně účelem solárních panelů v mé práci nemá být kompletně nahradit funkci alternátoru. Tyto velké skokové proudy, které přitékají z alternátoru nejsme schopni dodávat z výkonu solárních panelů, v mé práci je tedy zanedbám.

## **Provoz:**

Proběhly dvě jízdy v reálném provozu. Po pročištění nadbytečných a znehodnocených dat zbylo 5306 s (přibližně 1,5 hod.) dat reálné jízdy příměstské výlukové linky ve směru Smiřice -> Náchod a zpět. Tato trasa je dlouhá přibližně 32 km, na trase jsou tři mezizastávky a jedna jízdy trvala přibližně 50 minut. Tato linka může simulovat běžnou kratší příměstskou linku provozovanou celoročně, na kterou koncipuji výpočet v této práci.

Po zanedbání krátkých úseků při použití elektromagnetické brzdy nám vychází, jaké proudy je třeba pokrýt. Na další straně leží graf rozdělení procházejícího proudu podle výskytu v procentech (v rozsahu měření 0 – 51,36 A):



obr.č. 17 - Graf výskytu hodnot procházejícího proudu v procentech

Z grafu lze zpozorovat, že velikost proudu se, až na malé odchylky, pohybuje v rozmezí 7 – 30 A. Odchylky pod hodnotu 7 A mohou vzniknout například během stání vozidla v dané zastávce. Odchylky nad hodnotu 30 A vznikají během sepnutí více elektronických zařízení ve vozidle ve stejnou chvíli, případně když čidlo zachytilo moment, ve kterém začala spotřeba proudu rychle růst po sepnutí elektromagnetické brzdy.

Dále lze podle grafu vymezit oblasti, ve kterých se velká část hodnot vyskytuje, tyto oblasti popisují v následující tabulce:

Velikost proudu [A]	Výskyt [%]
0 - 10	1,39
10 - 15	7,44
15 - 21	76,13
21 - 30	13,41
30 - 40	0,93
40 - 50	0,72

**Tab.č. 13 – Vymezení oblastí výskytu hodnot**

Z uvedené tabulky vyplývá, že více než ve třech čtvrtinách celkového času se velikost proudu pohybuje v rozmezí 15 – 21 A. Abychom tedy dosáhli efektivity při pokrytí této spotřeby, měly bychom se blížit k těmto hodnotám a zároveň příliš nepřekračovat hodnotu 21 A.

Pro další představu udávám několik statistických hodnot vyplývajících z měření:

Medián hodnoty proudu získaný z uvedených dat:

$$\tilde{x} = 18,18 \text{ A}$$

Aritmetický průměr:

$$\bar{x} = \frac{\sum X}{n} = 18,51 \text{ A}$$

## 5.2 Charakteristika konkrétního panelu

Panel, na který je práce koncipována je složen z 32 monokrystalických FV článků. Je semi-flexibilní, v praxi to znamená, že zadní část je tvořena z tvrdšího plastu, který se dá ohnout a přizpůsobit se tak tvaru například lehce zahnuté střeše. Panel se označuje jako typ 12 V/100 W a má následující charakteristiku:

Veličina	Hodnota
P max	100 W
U mp	17,8 V
I mp	5,62 A
U oc	20,8 V
I sc	6,01 A
Rozměry	1100×500×2 mm

Tab.č. 14 – Charakteristika FV panelu

P max...maximální výkon solárního panelu

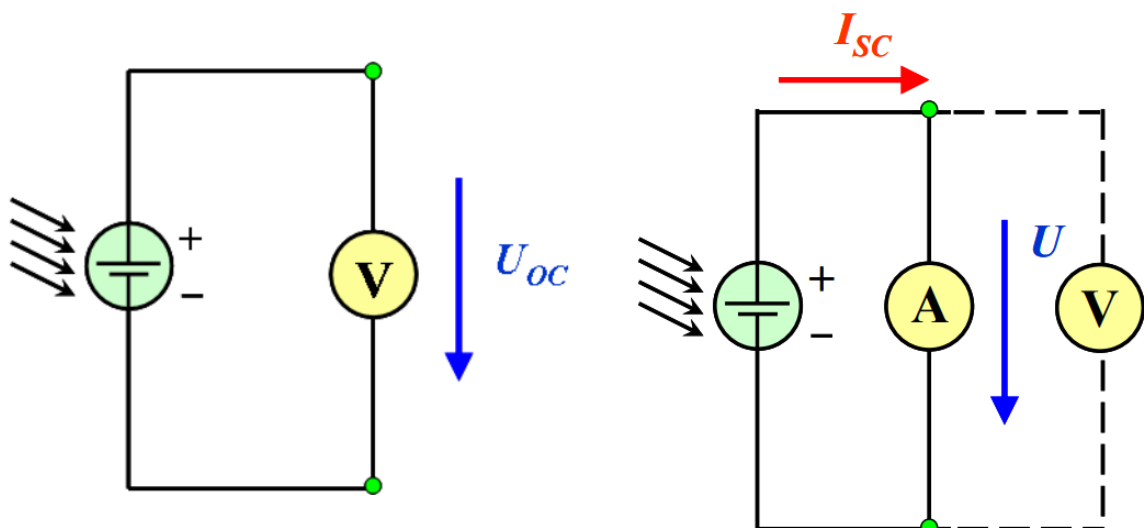
U mp...napětí při maximálním výkonu (100 W)

I mp...proud při maximálním výkonu (100 W)

U oc...napětí naprázdno (open circuit)

I sc...proud na krátko (short circuit)

Níže je pro představu znázorněno schéma zapojení solárního článku s napětím naprázdno a proudem na krátko:



obr.č. 18 – Napětí naprázdno a proud na krátko

Všechny hodnoty jsou naměřeny za podmínek kolmo dopadajícího slunečního záření o hodnotě příkonu  $1000 \text{ W/m}^2$ , při venkovním tlaku vzduchu 1,5 krát vyšší, než je atmosferický tlak (při kolmo dopadajících paprscích Slunce), za venkovní teploty  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Účinnost tohoto a podobných semi-flexibilních monokrystalických článků se udává  $19\% (\pm 1\%)$ . Efektivní plocha dopadu paprsků je  $0,53 \text{ m}^2$ .

Panel má několik vnitřních odporů, které se s okolní teplotou zvyšují. Výrobce garantuje stálou funkčnost v rozsahu  $-40 \text{ }^\circ\text{C}$  až  $85 \text{ }^\circ\text{C}$ , v tomto rozmezí nejsou vnitřní odpory natolik velké, aby měly výrazný vliv na účinnost panelu.

Vychází nám tedy, že za téměř ideálních podmínek v ČR ( $1000 \text{ W/m}^2$ ) jsme schopni jedním panelem dodávat  $5,62 \text{ A}$ .

## 5.3 Výpočet spotřeby paliva – alternátor

### 5.3.1 Energie získaná z nafty

V průběhu let se měnilo zpracování a rafinace ropy a energie získaná z paliva ropného původu se tudíž také často měnila. Nafta je jedna z nejlépe využitelných forem ropy v tomto ohledu. Hodnota energie jednoho litru nafty se lehce liší v závislosti na prodejci nafty a zároveň na typu zpracování a množství aditiv v palivu. Nafta používaná pro dieselové motory v autobusové dopravě má průměrně následující přepočet:

$$1 \text{ liter nafty} = 10,0 \text{ kWh} = E_0 \text{ [14]}$$

### 5.3.2 Účinnost převádění energie ve vozidle

Klasický dieselový motor v autobusu značky Karosa má účinnost přibližně 45%. Starší typy alternátorů mají účinnost kolem 55%. Účinnost rozvodového řemenu, který převádí kinetickou energii mezi klikovou a vačkovou hřídelí je 98%. Ve vozidle vznikají další minoritní odpory, které snižují účinnosti, nicméně již nemají významný vliv na účinnost převedení energie. [13]

Energii v každém litru paliva tedy musíme vynásobit účinností, abychom zjistili výslednou vyrobenou elektrickou energii:

$$\eta_{\text{celková}} = \eta_{\text{motoru}} * \eta_{\text{alternátoru}} * \eta_{\text{řemen}}$$

$$\eta_{\text{celková}} = 0,45 * 0,55 * 0,98 = 0,24$$

Celková účinnost převedení energie tedy činí 24%.

### 5.3.3 Přepočítání transformované energie

Převádíme tedy 10 kWh energie s účinností 24%, získáme:

$$E = E_0 * \eta_{\text{celková}}$$

$$E = 10 * 0,24 = 2,4 \text{ kWh}$$

Z mého měření plyne, že průměrná hodnota generovaného proudu alternátorem je 18,51 A. Pro výpočet energie v kWh budeme uvažovat, že tento proud dodával alternátor stabilně celou hodinu. Napětí klasického alternátoru pro vozy Karosa činí 28 V. Toto napětí je regulováno na rozvodnou síť v autobusu, tak, aby nedošlo k poškození baterie. Výsledná hodnota výkonu v kWh, pokud alternátor pracuje s napětím 28 V, je spočítána níže:

$$P_A = I * U$$

$$P_A = 18,51 * 28 = 518,28 \text{ Wh} = 0,52 \text{ kWh}$$

Pokud tedy počítáme s tím, že z jednoho litru vyrobíme 2,4 kWh, výsledná spotřeba alternátoru na vyrobení elektrické energie na jednu hodinu své práce během jízdy bude:

$$FC = \frac{0,52}{2,4} = 0,22 \text{ litrů}$$

Jedná se o orientační výpočet. Vzhledem ke zvyšujícím se cenám ropy není tato hodnota zcela zanedbatelná.

## 5.4 Navržení solárního systému a výpočet pokrytí spotřeby

### 5.4.1 Prosté zapojení jednoho panelu

Výše bylo uvedeno, že jeden solární panel dodá za podmínek příkonu 1000 W/m<sup>2</sup> velikost proudu o hodnotě 5,62 A. Zároveň vznikne napětí 17,8 V. Dále mi vyšlo z měření, že abychom efektivně pokryli proud, který přitéká z alternátoru, potřebuji přibližně 15 – 20 A. Akumulátor v autobusu je složen ze dvou 12 V sériově zapojených baterií. Většina elektronických funkcí vyžaduje napětí 24 V. Po zapojení jednoho panelu a regulátoru nabíjení tedy mohou zásobovat pouze částečný okruh 12 V (například LED žárovky uvnitř autobusu, brzdová světla, rádio). Zapojení tohoto systému by bylo v některých vozech nemožné, v ostatních případech možné přes regulátor a rezistory. Uvažujme, že se nám povede panel na takový okruh připojit.

Většinu spotřeby elektrické energie v tomto 12 V okruhu tvoří světla, jak již bylo řečeno. Z mého měření (konkrétně tabulka v odstavci č. V. v kapitole 5.1.3.) vyplývá, že při zapnutí motoru a puštění všech světel spotřebujeme přibližně 14,75 A. Z měření dále vyplývá, že před zapnutím světel byla spotřeba přibližně 7,6 A, spotřeba, kterou minimálně musíme pokrýt činí:

$$IC = IC_{vše} - IC_0$$

$$IC = 14,75 - 7,6 = 7,15 \text{ A}$$

Za ideálních podmínek tedy bude pokryto maximálně (vzhledem k tomu, že hodnota procházejícího proudu spotřebičů v okruhu 12 V byla odhadnuta pouze na základě spotřeby světel, bude tato spotřeba velmi pravděpodobně vyšší):

$$p_1 = \frac{I_{mp}}{IC}$$
$$p_1 = \frac{5,62}{7,15} = 0,77 = 77\%$$

Pokud budeme počítat s průměrnou spotřebou celé sítě, tedy 18,51 A, pokryjeme jedním panelem za ideálních podmínek:

$$p = \frac{I_{mp}}{IC}$$
$$p = \frac{5,62}{18,51} = 0,30 = 30\%$$

Nicméně toto je maximální hodnota, kterou budeme dosahovat například kolem poledne v letních měsících. Tento jednoduchý systém je málo stabilní a těžko předvídatelný.

Výhodou je cena. Semi-flexibilní monokrystalický solární panel 12V/100W s podobnou účinností se dá pořídit za 3500 Kč, jednoduchý solární regulátor nabíjení s mikroprocesorem poté za přibližně 400 Kč. Celková cena jednoduchého zapojení jednoho panelu je tedy přibližně 3900 Kč + montáž.

Pro přesnější výpočet bude potřeba postavit stabilnější systém, který popisují v další kapitole.

## 5.4.2 Sério-paralelní zapojení

Pro zapojení do celého obvodu autobusu a částečné nahrazení funkce alternátoru je třeba generovat napětí alespoň 24 V.

Jeden solární panel tedy nedostačuje v tomto parametru, který je nutno splnit. Je tedy potřeba 100 W solárních panelů zapojit více.



### Sériové zapojení:

Pokud zapojíme více panelů za sebe do série, napětí se bude kumulovat. Pokud tedy zapojíme dva panely do série, dostaneme:

$$U = U_1 + U_2$$

$$U = 17,8 + 17,8 = 35,6 \text{ V}$$

Přičemž proud budou panely dodávat v hodnotě slabšího z nich, v tomto případě 5,62A.

### Paralelní zapojení:

Pokud je naopak třeba získat větší hodnotu proudu, je potřeba panely zapojit paralelně. V tomto případě má smysl zapojit maximálně tři panely paralelně, pokud by bylo zapojeno více, utrpěla by efektivita celého systému, neboť by v určitou chvíli bylo k dispozici více proudu, než by baterie v dané chvíli potřebovala a ztrácel by se nám výkon. Pokud by byl dodáván menší příkon a napětí panelů by kleslo pod vyžadovanou hodnotu 24 V, všechny panely by naopak přestaly plnit funkci úplně. Uvažujme tedy, že zapojíme dva panely paralelně:

$$I = I_1 + I_2$$

$$I = 5,62 + 5,62 = 11,24 \text{ A}$$

Obě zapojení můžeme spojit do velkého 4-panelového systému (sério-paralelní zapojení), který bude za ideálních podmínek generovat proud 11,24 A a napětí 35,6 V. Napětí je ovšem regulováno na 24 V.

Takto tedy za ideálních podmínek vyrobíme následující energii:

$$P_0 = U * I$$

$$P_0 = 24 * 11,24 = 269,76 \text{ W}$$

Po přepočtení na 1 hodinu provozu dostáváme  $P_{1\text{hod}} = 0,27 \text{ kWh}$

K tomu, aby vše fungovalo stabilně a tak jak má chybí zásadní komponenta. Tou je solární regulátor MPPT, který se stará o správné dobíjení baterie a zároveň v něm

nedochází ke zdatelné ztrátě výkonu. Po jeho zapojení se systém stává stabilnějším a lze teoreticky spočítat, jakou reálnou část elektrické spotřeby můžeme z panelů pokrýt.

K výpočtu budeme potřebovat průměrné hodiny slunečního svitu, přepočítané na násobek hodin watt-peak, tedy našich ideálních podmínek 1000 W/m<sup>2</sup>. Uvažujeme, že budeme provozovat příměstskou autobusovou linku v okolí Prahy. Praha má následující osvitové poměry (připomenutí tab.č. 4):

měsíc	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
počet hodin	43	62	128	149	208	210	214	204	150	103	55	47

**Tab.č. 4 – Průměrné měsíční doby slunečního svitu v Praze**

Celkem:

$$\sum n_{hodin} = 1573 \text{ hod.}$$

Po vynásobení energií vyrobenou za 1 hod. dostaneme celkové množství vyrobené energie za 1 rok:

$$\sum n_{hodin} * P_{1hod} = P_{panely}$$

$$P_{panely} = 424,71 \text{ kWh}$$

Nyní uvažujme celoroční a celodenní provoz dané příměstské linky, ze kterého vyvodíme vyrobenou energii alternátorem po celý rok. Klasická příměstská linka se provozuje od 05:00 do 01:00 druhého dne, přičtíme 40 min. na výjezd z garáže a příjezd do garáže, dostaneme 20,67 hod. provozu. Po odečtení stání vozidla s vypnutým motorem (tzn. nulová vyrobená elektrická energie), které v příměstské pražské dopravě činí přibližně 20% celkového času, dostaneme 16,54 hod. provozu v běžný pracovní den.

Rok 2019 má 251 pracovních dnů, to nám tedy dohromady dává 4150,54 hod. za rok.

O víkendu je rozsah linky obvykle o něco menší, u příměstské pražské linky většinou platí podobný řád pro soboty, neděle a státní svátky. Klasicky trvá od 5:30 do 22:30, to je 17 hod., stání vozidla o víkendech taktéž zabere více času, přibližně 30% z celého času. Opět přičítáme 40 min. na garážování. Získáváme 12,56 hod. jízdy.

Rok 2019 má 114 sobot, nedělí a státních svátků. Dohromady vychází 1431,84 hod.

Celkově nám tedy vychází následující počet hodin ročně:

$$n_{v\u00fatz-hodin} = 1431,84 + 4150,54 = 5582,38 \text{ hod.}$$

Již d\u00edve bylo spo\u00e1t\u00e1no, \u017ee energie vyroben\u00e1 za jednu hodinu altern\u00e1torem \u00e1n\u00ed 0,52kWh. Pokud to vyn\u00e1sob\u00edme proje\u017edd\u00e9n\u00fdmi hodinami, dostaneme n\u00e1sleduj\u00edc\u00ed energii za rok 2019:

$$P_{v\u00fatz-rok} = n_{v\u00fatz-hodin} * P_A$$

$$P_{v\u00fatz-rok} = 5582,38 * 0,52 = 2902,84 \text{ kWh}$$

Vr\u00e1t\u00edme se zp\u00e9t k vyroben\u00e9 energii sol\u00e1rn\u00edm syst\u00e9mem. Ne v\u0161echna energie se spot\u0159ebuje, jeliko\u017e vozidlo st\u00f3j\u00ed po ur\u00e1ditou dobu provozu. Bylo \u0159e\u00e1eno, \u017ee tato hodnota \u00e1n\u00ed p\u0159ibli\u017en\u011b 20% pro 251 dn\u00ed a 30% pro 114 dn\u00ed. Vzhledem k tomu, \u017ee v\u00fdpo\u00e1t je p\u0159ibli\u017en\u00fd, m\u00f9\u017eeme tyto hodnoty vypo\u00e1tat prost\u00fdm rozd\u00e9len\u00edm a n\u00e1sledn\u011b kumulovat v\u00fdsledn\u00e9 zlomky. Vyjde n\u00e1m 14% za v\u0161edn\u00ed dny a 9% pro zbytek. Dohromady tedy 23%.

Od v\u00fdsledn\u00e9 celkov\u00e9 energie vyroben\u00e9 sol\u00e1rn\u00edm syst\u00e9mem tedy bude ode\u00e1ta tato hodnota vyn\u00e1soben\u00e1 hodnotou 0,23. Z\u00edsk\u00e1me:

$$P_{panely-rok} = 424,71 - (424,71 * 0,23) = 327,03 \text{ kWh}$$

V\u00fdznamnou roli hraje sklon panel\u00fa. Ide\u00e1ln\u00ed sklon v \u010cR by m\u00e9l b\u00fdt kolem 45\u00b0 s orient\u00e1c\u00ed na jih. Vzhledem k tomu, \u017ee v autobusu se orientace m\u00e9n\u00ed velmi \u00e1sto, nem\u00e1 smysl sna\u017eit se doc\u00edlit t\u00e9to ide\u00e1ln\u00ed orientace. Panely tedy budou le\u017eet vodorovn\u011b na st\u0159e\u0161e se sklonem 0\u00b0, jejich \u00fa\u00e1innost pot\u00e9 bude na 83% maxim\u00e1ln\u00ed \u00fa\u00e1innosti [16]:

$$P_{panely-celkem} = 327,03 * 0,83 = 271,44 \text{ kWh}$$

### **Mno\u017estv\u00ed u\u0161et\u0159en\u00e9 elektrick\u00e9 energie:**

Pokud v\u00fdsledn\u00fd v\u00fdkon panel\u00fa vyd\u00e9l\u00edme celkovou vyrobenou energi\u00ed, z\u00edsk\u00e1me pod\u00edl u\u0161et\u0159en\u00e9 energie:

$$p_{SE} = \frac{P_{panely-výsledná}}{P_{vüz-rok}}$$

$$p_{SE} = \frac{271,44}{2902,84} = 0,09351 = 9,35\%$$

Z teoretického výpočtu tedy vyšlo, že ušetříme 9,35% elektrické energie, potažmo spotřebovaného paliva.

Celý solární systém je složený ze čtyř panelů, každý stojí 3 500 Kč, solární regulátor s vestavěným počítačem stojí 3 000 Kč. [15] Pořizovací náklady jsou tedy:

$$N_{FV} = 4 * 3500 + 3000 = 17\ 000\ Kč$$

Dříve bylo řečeno, že abychom vyrobili 0,52 kWh alternátorem, spotřebuje se 0,22 litrů paliva, na 1 kWh to tedy dělá:

$$FC_{1kWh} = \frac{1}{0,52} * 0,22 = 0,42\ l\ nafty$$

Za celý rok tedy spotřebujeme na provoz alternátoru:

$$FC_{rok} = P_{vüz-rok} * FC_{1kWh}$$

$$FC_{rok} = 2092,48 * 0,42 = 878,84\ l\ nafty$$

Solárním systémem ušetříme 9,35% paliva, tedy:

$$FS_{panely-rok} = 878,84 * 0,0935 = 82,18\ l\ nafty$$

Při aktuální ceně nafty ke dni 26.8.2018 – 1 l nafty = 31,50 Kč, tedy za rok ušetříme:

$$NS_{panely-palivo} = 82,18 * 31,50 = 2589\ Kč$$

Nicméně panely je třeba pravidelně čistit, jinak ztrácí část své účinnosti. Pravidelná návštěva myčky platí i obecně pro autobus, nicméně dejme tomu, že kvůli solárním panelům, navštívíme myčku jednou za tři měsíce navíc. Jedna návštěva myčky + celková údržba panelů se pohybuje kolem 400 Kč za návštěvu, za rok to tedy dělá:

$$N_{\text{údržba}} = 400 * 4 = 1600 \text{ Kč}$$

Po odečtení údržby tedy:

$$NS_{\text{panely-rok}} = NS_{\text{panely-palivo}} - N_{\text{údržba}}$$

$$NS_{\text{panely-rok}} = 2589 - 1600 = 989 \text{ Kč}$$

Garance stálé hodnoty účinnosti od výrobce je ve většině případů 20 let, za dvacetiletý provoz bychom tedy ušetřili:

$$NS_{\text{panely-20let}} = NS_{\text{panely-rok}} * 20 = 19\,780 \text{ Kč}$$

Po odečtení počátečních nákladů:

$$NS_{\text{celkem}} = NS_{\text{panely-20let}} - N_{\text{FV}}$$

$$NS_{\text{celkem}} = 19\,780 - 17\,000 = 2\,780 \text{ Kč}$$

Tato výsledná úspora je ovšem v ideálním případě, tzn. silnice orientovaná J <-> S, minimální počet překážek, které by zastiňovaly panely, levná montáž a údržba panelů, minimální počet dnů, kdy autobus úplně stojí v garáži/servisu, stálá výdrž panelů a solárního regulátoru, minimální vliv větru na účinnost článků, připočítání inflace atd. Reálná peněžní úspora by tedy byla ještě menší. Vzhledem k množství a nepředvídatelnosti těchto faktorů, jsem je ovšem pro tento teoretický výpočet zanedbal.

## 6 Závěr

Z provedeného měření je patrné, že proudy, které protékají z alternátoru do akumulátorů u starších typů vozů se většinu času pohybují v rozmezí 15 – 21A. To je z hlediska solárních panelů příznivý poznatek, neboť tato velikost proudu lze z velké části dnešními panely i o relativně malé velikosti vygenerovat.

Ostatně to vyplývá z uvedeného teoretického výpočtu. Výnosy sice byly velmi malé, po zvážení všech negativních vlivů bychom se mohli částečně dostat i do mínusových hodnot, nicméně i tak jde o nahrazení fosilního paliva obnovitelným zdrojem, což osobně vidím velmi pozitivně. V tomto případě by nebylo od věci použití polykrystalických panelů, které mají sice o něco menší účinnost, ta ale klesá se změnou úhlu natočení panelu vzhledem ke Slunci pomaleji, než je tomu u monokrystalických panelů. Případně by se dalo zvážit použití minimotorů, které natáčejí panely ve výhodnějším úhlu vzhledem ke Slunci. Pokud bych dostal v budoucnu příležitost, pravděpodobně bych mohl vytvořit přesnější teoretický výpočet, kde by se dalo zahrnout více vlivů.

Při svém bádání jsem narazil na zajímavý prototyp autobusu kolegů z Norska. Ti v projektu, který měl podobný cíl jako ten můj, nalepili na větší část střechy tenkovrstvé CIGS panely, které mají účinnost přibližně 15%. Tvrdí, že tyto panely dodávají proud, který je schopen nahradit množství paliva rovnající se pěti procentům celkové spotřeby (upozorním, že se jedná o Norsko, kde je zářivý výkon mnohem slabší, než v ČR), nicméně nikde nebylo možno dohledat výpočet, který za tím stál.

Vývoj účinnosti klasických solárních panelů se v posledních letech lehce zpomalil, nicméně věřím, že solární energie bude v budoucnu jedno z hlavních témat a je celkem možné, že tím bude dotčena i doprava.

## 7 Použité zdroje

- [1] Technická zařízení budov – Obnovitelná energie a úspory energie [online]. 2014 [cit. 2018-06-04]. Dostupný z WWW: <<https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11652-strucna-historie-fotovoltaiky>>
- [2] Engineering.com Library – Sustainable Engineering [online]. 2016 [cit. 2018-06-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.engineering.com/SustainableEngineering/RenewableEnergyEngineering/SolarEnergyEngineering/Photovoltaics>>
- [3] LIBRA, M. – POULEK, V.: Fotovoltaická transformace energie. Elektro 2/2010
- [4] MURTINGER, Karel, BERANOVSKÝ, Jiří, TOMEŠ, Milan. Fotovoltaika : elektřina ze Slunce. 2. vyd. Praha : Eko WATT, 2007. 112 s. 21. století. ISBN 978-80-7366-100-7.
- [5] Solar panel reviews: The best solar panel manufacturers in 2018, In: SolarReviews [online]. 2018 [cit. 2018-08-04]. <<https://www.solarreviews.com/solar-panel-reviews>>
- [6] Ahmet-Hamdi Cavusoglu, Xi Chen, Pierre Gentine & Ozgur Sahin. Potential for natural evaporation as a reliable renewable energy resource [online]. 2017 [cit. 2018-08-02]. Dostupný z WWW: <<https://www.nature.com/articles/s41467-017-00581-w>>
- [7] Průměrné měsíční doby slunečního svitu ve vybraných lokalitách ČR [online]. 2017 [cit. 2018-08-02]. Dostupný z WWW: <<https://m.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/99-prumerne-mesicni-doby-slunecniho-svitu-ve-vybranych-lokalitach-cr>>
- [8] Arduino Návodů [online]. 2016 [cit. 2018-08-04]. Dostupný z WWW: <<http://navody.arduino-shop.cz/navody-k-produktum/proudovy-senzor-ac712.html>>
- [9] Bazar autobusů – Karosa C954 [online]. 2018 [cit. 2018-08-06]. Dostupný z WWW: <<http://auto-moto.gansa.eu/prodej-autobusu/>>
- [10] LIBRA, Martin, POULEK, Vladislav. Solární energie, fotovoltaika : perspektivní trend současnosti i blízké budoucnosti. Praha : ČZU Praha, 2005. 122 s. ISBN 80-213-1335-8.
- [11] SOLAR NET s.r.o. [online]. 2000 [cit. 2018-08-08]. Dostupný z WWW: <[http://www.solarnet.cz/Solarni\\_serial.htm](http://www.solarnet.cz/Solarni_serial.htm)>
- [12] Solární novinky [online]. 2017 [cit. 2018-08-17]. Dostupný z WWW: <<http://www.solarninovinky.cz/?zpravy>>
- [13] Improving Alternator Efficiency Measurably Reduces Fuel Costs – Mike Bradfield [online]. 2008 [cit. 2018-08-17]. Dostupný z WWW: <<http://www.delcoremy.com/documents/high-efficiency-white-paper.aspx>>
- [14] Energy related conversion factors [online]. 2012 [cit. 2018-08-18]. Dostupný z WWW: <<https://deepresource.wordpress.com/2012/04/23/energy-related-conversion-factors/>>

[15] Regulátory nabíjení [online]. 2018 [cit. 2018-08-26]. Dostupný z WWW:  
<<https://www.solar-eshop.cz/c/fotovoltaika-1/regulatory-nabijeni/mppt-regulatory/>>

[16] Vliv sklonu a orientace [online]. 2008 [cit. 2018-08-26]. Dostupný z WWW:  
<<http://fotovoltaika.ekowatt.cz/vliv-sklonu-orientace.php/>>

[17] Solar resource maps [online]. 2017 [cit. 2018-07-05]. Dostupný z WWW:  
<<https://solargis.com/maps-and-gis-data/>>



## 8 Seznam obrázků

*obr.č. 1 – Grafické znázornění procesu výroby elektřiny*

*obr.č. 2 – systém off-grid s přímým napájením*

*obr.č. 3 – systém off-grid s akumulátorem*

*obr.č. 4 – Podíl přímého a difúzního záření v průběhu roku*

*obr.č. 5 – Globální horizontální záření v rámci Evropy*

*obr.č. 6 – Globální horizontální záření v ČR*

*obr.č. 7 – Sestavené napájení*

*obr.č. 8 – Schéma zapojení proudového senzoru Arduino k napájení*

*obr.č. 9 – Detail na zkušební zapojení napájení a senzoru Arduino*

*obr.č. 10 – Interface programu Arduino Uno*

*obr.č. 11 – Zápis hodnot do souboru .txt*

*obr.č. 12 Vůz Karosa C954 poskytnutý k měření*

*obr.č. 13 – Umístění čidla B*

*obr.č. 14 – umístění čidla A*

*obr.č. 15 - Export dat – krok první*

*obr.č. 16 - Export dat – krok druhý*

*obr.č. 17 - Graf výskytu hodnot procházejícího proudu v procentech*

*obr.č. 18 – Napětí naprázdno a proud na krátko*

## 9 Seznam tabulek

Tab.č. 1 – Monokrystalické panely podle účinnosti

Tab.č. 2 – Polykrystalické panely podle účinnosti

Tab.č. 3 – Výkony zářivé energie a podíl difúzního záření za různých podmínek

Tab.č. 4 – Průměrné měsíční doby slunečního svitu v Praze

Tab.č. 5 – Technické specifikace: Karosa C954

Tab.č. 6 – Test. jízda - zapalování

Tab.č. 7 – Test. jízda – přední světla

Tab.č. 8 – Test. jízda – vnitřní světla

Tab.č. 9 – Test. jízda – všechna světla, motor

Tab.č. 10 – Test. jízda – ventilátory

Tab.č. 11 – Test. jízda – radiátory, poloviční

Tab.č. 12 – Test. jízda – radiátory, plné

Tab.č. 13 – Vymezení oblastí výskytu hodnot

Tab.č. 14 – Charakteristika FV panelu