

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická
Katedra elektrických pohonů a trakce

Bakalářská práce

Zhodnocení výkonnosti fotovoltaického pole - vliv odstranění prachu



prosinec 2023

Jurij Skalský

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Skalský** Jméno: **Jurij** Osobní číslo: **503258**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Specializace: **Elektrotechnika a management**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Zhodnocení výkonnosti fotovoltaického pole - vliv odstranění prachu

Název bakalářské práce anglicky:

Evaluation of performance of photovoltaic array system - effect of dust cleaning

Pokyny pro vypracování:

Bakalářská práce je zaměřena na studium a vyhodnocení změny výkonnosti fotovoltaického pole po jeho vyčištění od prachu, které bude provedeno komerční společností. Student splní následující pokyny:

1. Nastudujte současný stav poznání a vybrané publikace z vlivu čištění na výkon fotovoltaických modulů a polí.
2. Budete přítomen při vzorovém mytí vybraných modulů.
3. Charakterizujte podrobně vlastnosti vybraných modulů (individuální volt-ampérovou charakteristiku) před a po očištění.
4. Zvolte vhodnou metodu pro vyhodnocování a srovnávání dlouhodobých výstupních výkonů jednotlivých fotovoltaických polí. Proveďte potřebné průzkumy trhu a zhodnocení ekonomického přínosu čištění pro dlouhodobý provoz fotovoltaického pole.

Seznam doporučené literatury:

T. Markvart, L. Castaner, Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications, Elsevier Science, 2003

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

RNDr. Branislav Dzurňák, Ph.D. katedra elektrotechnologie FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **20.02.2023**

Termín odevzdání bakalářské práce: **09.01.2024**

Platnost zadání bakalářské práce: **16.02.2025**

RNDr. Branislav Dzurňák, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Čestné prohlášení

„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

.....

Podpis

Poděkování

„Rád bych vyjádřil poděkování mému vedoucímu práce, panu RNDr. Branislavovi Dzurňákovi, Ph.D, nejen jakožto skvělému vedoucímu práce ale i člověku obecně. Pan Dzurňák mi pomohl dané měření správně nasměrovat, ve věci mých pochybení byl velice vstřícný, trpělivý a nápomocný. Bez tak příjemné spolupráce se domnívám že bych dané měření nikdy s takovým úspěchem neprovedl “

Abstrakt

Tato práce se zabývá zhodnocením naměřených dat fotovoltaické elektrárny, která je rozmístěna na střeše budovy FEL ČVUT v Praze na adrese Technická 1902/2 160 00 Praha 6. Vyhodnocena byla data výkonů jednotlivých modulů, intenzity slunečního záření, cena elektřiny nákupní dané elektrárny. Daná elektrárna v průběhu zpracování bakalářské práce byla očištěna od prachu a nečistot, a to poprvé za posledních 10 let. Cílem práce bylo vyhodnotit nárůst výkonu po očištění modulu elektrárny, a provést finanční zhodnocení dané investice.

Klíčová slova: fotovoltaický modul, intenzita záření, výkon, návratnost.

Abstract

This work deals with the evaluation of the measured data of the photovoltaic power plant, which is located on the roof of the CVUT FEL building in Prague at the address Technická 1902/2 160 00 Prague 6. The thesis evaluated performance data of individual modules, solar radiation intensity, electricity purchase price. During the processing of the bachelor thesis, the power plant was cleaned of dust and dirt, for the first time in the last 10 years. The aim of the work was to evaluate the increase in performance after the cleaning of the power plant module, and the financial evaluation of the given investment.

Key words: photovoltaic module, sun intensity, power, given investment.

Obsah

Úvod.....	8
Kapitola 1: princip fungování fotovoltaického panelu.....	9
Princip fungování fotovoltaického článku.....	9
Kapitola 2: Závislost produkce výkonu na intenzitě dopadajícího slunce.....	11
Kapitola 3: problematika prachu a nečistot u fotovoltaických panelů.....	12
Kapitola 4: praktická část, cíl bakalářské práce.....	13
Kapitola 5: praktická část, popis prováděných úkonů.....	16
5.1 Popis planu praktické části.....	16
5.2 Popis použitých čisticích prostředků a pomocné firmy ve věci očištění.....	16
5.3 Měření výsledků vybraných jednotlivých panelů.....	16
5.4 Pozorování elektrárny po čištění.....	20
5.5 Nejistoty měření.....	31
Kapitola 6: Finanční posudek.....	32
Závěrečné zhodnocení práce.....	36
Literatura.....	37
Zdroje.....	38
Soupiska komponent.....	39
Seznam tabulek.....	40
Seznam obrázků.....	41

Úvod

Fotovoltaický panel je velmi aktuální záležitostí v dnešním moderním světě energií. Cílem daného obnovitelného zdroje energie je přeměna energie ze slunečního záření na energii elektrickou, využitelnou pro potřeby lidstva.

Efektivita přeměny dané energie závisí na hodně velkém počtu faktorů. Jelikož k přeměně dochází v důsledku absorpce fotonu materiálem fotovoltaických článků neboli křemíkem, potřebujeme zajistit co nejlepší její průběh. Absorpce fotonu znamená předání jeho energie částicím materiálu křemíku.

Jedním z parametrů, jak můžeme zlepšit podmínky absorpce je čistota povrchu fotovoltaického modulu, stejně tak jako i prašivost ovzduší. Jelikož prašivost nebyla k dispozici měření, a ani nebyla možné zajistit její regulace, pracovali jsme s čistotou modulu. V spolupráci s energocentrem ČVUT FEL a společností VEICEC s.r.o. tedy bylo provedeno očištění modulu.

Dané očištění však není levné, a tak je diskutabilní, zda v České republice je vůbec efektivní. Zapotřebí bude porovnat rozdíl mezi zvýšením výroby společně s ušetřenými penězi za elektřinu a vynaloženou investici na očištění panelů.

Je velice podstatné dopředu stanovit to, že se nejedná o vzorovou ukázkou toho, zda se vyplatí očišťovat fotovoltaické moduly či nikoliv. Každá elektrárna je velice individuální, stejně tak jako i tarify za elektřinu, prašivost a sklon panelů. Bakalářská práce především slouží jako ukázkový nástroj k tomu, jak správně danou záležitost řešit a vyhodnocovat.

Kapitola 1: princip fungování fotovoltaického panelu

Fotovoltaický panel, který je rozebírán v dané bakalářské práci momentálně v České republice velmi známým bodem diskuse. Kvůli zvyšujícím se cenám energií nabývá na aktuálnosti a finanční efektivitě do daného typu obnovitelných zdrojů.

Důležité je zmínit, že v dané bakalářské práci se nebude jednat o termické solární kolektory, které slouží pouze k přípravě užitkové vody. Základním principem takových kolektorů je průchodu slunečních paprsků skleněným krytem kolektoru a pohlcování do absorberu, který se nachází uvnitř kolektoru. V absorberu jsou paprsky přeměňovány na tepelnou energii. Absorbér je tvořen trubkami, které jsou natřeny zpravidla selektivní barvou a jsou umístěny velice těsně u sebe, aby lépe šířily teplo. V trubkách je kapalina, která se zahřívá a postupuje prouděním z absorberu do jedné trubice vedoucí do výměníku, ve kterém se teplá voda uchovává pro další využití.

Panely fotovoltaické mají naopak mnohem širší spektrum využití. Jsou sestaveny z fotovoltaických článků. Daný druh panelů se dělí na panel monokrystalický a polykrystalický (multikrystalický). První z nich, jak napovídá samotný název, jsou vyrobeny z monokrystalu a jejich barva se může lišit od tmavě modré po černou. Vyrábějí se řezáním křemíkových krystalů a mají charakteristické zkosené rohy. Vyznačují se dobrou odolností proti mechanickému poškození a extrémním teplotám, kromě toho jsou vysoce účinné. Panely polykrystalické se vyznačují modrým zbarvením světlejší barvy a výraznými krystalovými hranami křemíku. Buňky jsou však čtvercového tvaru. Polykrystalické fotovoltaické panely jsou považovány za méně účinné a náchylnější k vysokým teplotám. Nicméně jsou oblíbené, protože jsou levnější než monokrystalické moduly [1].

Princip fungování fotovoltaického článku

Fotovoltaický panel je tvořen takzvanými fotovoltaickými články. Daný článek je nejčastěji vyroben jako velkoplošná polovodičová dioda schopná přeměňovat světlo na elektrickou energii. Je zde využit fotovoltaický jev.

Světlo dopadající na povrch modulu má vlnovou délku a představuje tok fotonů o energii $\frac{hc}{\alpha}$ a hybnosti ≈ 0 . Jestliže na povrch materiálu dopadá tok fotonů $\phi_{IN}(\alpha)$, část se odrazí ($R(\alpha)$ – odrazivost povrchu) a část $\phi_0(\alpha)$, pronikne do materiálu. Fotony, které pronikly do materiálu interagují s částicemi materiálu. Při průchodu světla materiálem intenzita klesá se vzdáleností od povrchu.

$$\phi_0(\alpha) = \phi_{IN}(\alpha) * [1 - R(\alpha)]$$

Při nižších teplotách mají nehybné elektrony nižší energii. Když jsou slunečním zářením aktivovány, je nárůst jejich energie vyšší. Proto je účinnost panelů vyšší v zimě (přibližně o 0,4 % na každý °C [2] než v létě). Při vyšších teplotách jsou totiž elektrony v klidovém stavu více zahřáté, a tedy mají i vyšší počáteční energii.

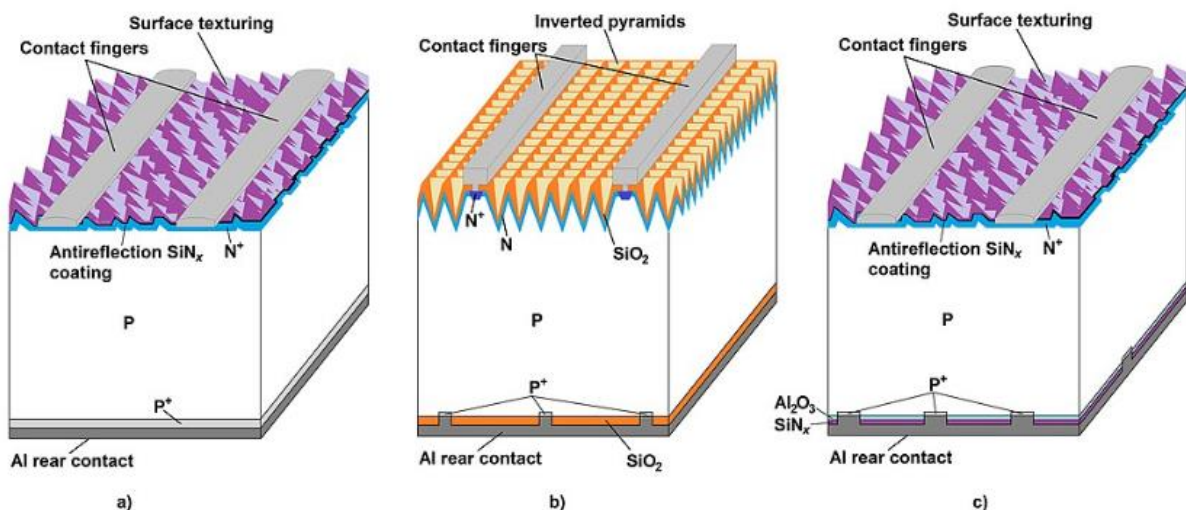
1. Prof. Ing. Vítězslav Benda, CSc. | Moodle FEL
ČVUT. https://moodle.fel.cvut.cz/pluginfile.php/393260/mod_resource/content/0/B1B%203d.pdf
2. Prof. Ing. Vítězslav Benda, CSc. | Moodle FEL
ČVUT. https://moodle.fel.cvut.cz/pluginfile.php/384609/mod_resource/content/0/B1B%204c.pdf

Parametrů ovlivňujících účinnost panelu je více. Dané parametry jsou: U_{oc} napětí naprázdno, I_{sc} - proud nakrátko, U_{MPP} - napětí při jmenovitém výkonu panelů, I_{MPP} - proud při jmenovitém výkonu, P_{MPP} - samotný jmenovitý výkon jako násobek. Dané veličiny později budou rozebírány v Kapitole číslo 2. Účinnost článku je daná rovnicí:

$$\eta = \frac{U_{MPP} * I_{MPP}}{P_{MPP}}$$

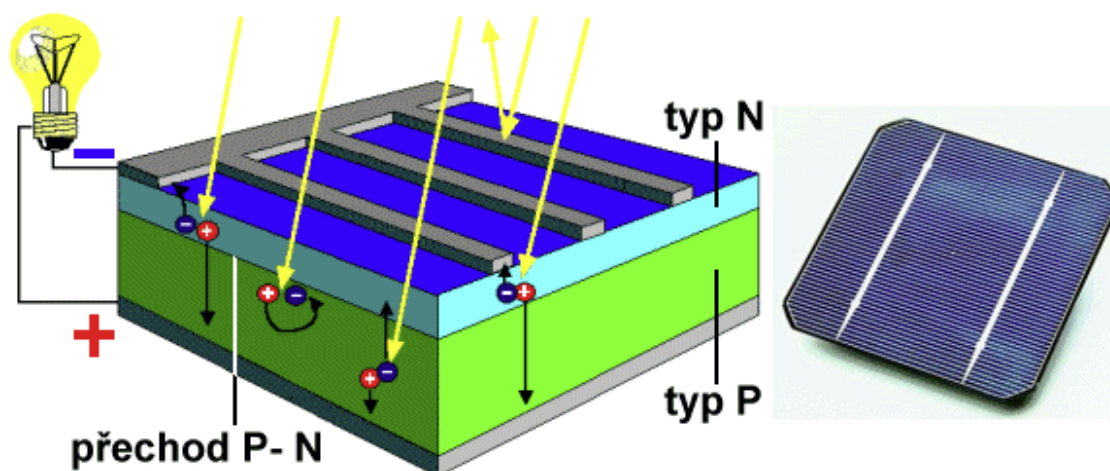
Fotovoltaický (sluneční, solární) článek je v podstatě polovodičová dioda (viz. obr.2). Jeho základem je tenká křemíková destička s vodivostí typu P. Na ní se při výrobě vytvoří tenká vrstva polovodiče typu N, obě vrstvy jsou odděleny tzv. přechodem P-N. Osvětlením článku vzniká v polovodiči vnitřní fotoelektrický jev a v polovodiči se z krystalové mřížky začnou uvolňovat záporné elektrony. Na přechodu P-N se vytváří elektrické napětí, které dosahuje u křemíkových článků velikosti zhruba **0,5 V [1]**. Energie dopadajícího světla se v článku mění na elektrickou energii. Připojíme-li k článku pomocí vodičů spotřebič (například miniaturní elektromotor), začnou se kladné a záporné náboje vyrovnávat a obvodem začne procházet elektrický proud.

Fotovoltaický článek má různý typ struktury (viz. obr. 1), a to z angličtiny Back Surface Field články jednoduché. Daný typ článku je v současné době nahrazován typem Passivated Emitter and Rear Cell – zahrnuje přidání vrstvy pasivačního materiálu na zadní stranu solárního článku. Tato pasivační vrstva pomáhá omezit rekombinaci elektronů a děr, což následně snižuje energetické ztráty a zvyšuje účinnost článku.



Obrázek 1. Přehled základních struktur fotovoltaického článku: a) BSF struktura, b) struktura PERC z roku 1988 dle , c) současná struktura PERC

1. SOLÁRNÍ ENERGIE. (n.d.). Skupina ČEZ. <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm#:~:text=Jeho%20základem%20je%20tenká%20křemíková,mřížky%20začnou%20uvolňovat%20záporné%20elektrony>



Obrázek 2. Ukázka fotovoltaického článku

Kapitola 2: Závislost produkce výkonu na intenzitě dopadajícího slunce

Výkonové charakteristiky článků a panelů

Na štítku fotovoltaického panelu jsou obvykle uvedeny následující údaje:

P_{MPP} – jmenovitý výkon panelu, uvádí se hodnota změřená v bodě maximálního výkonu

P_{MPP} = $U_{MPP} \times I_{MPP}$, výsledek násobku napětí při jmenovitém výkonu a proud při jmenovitém výkonu.

U_{MPP} – napětí při jmenovitém výkonu

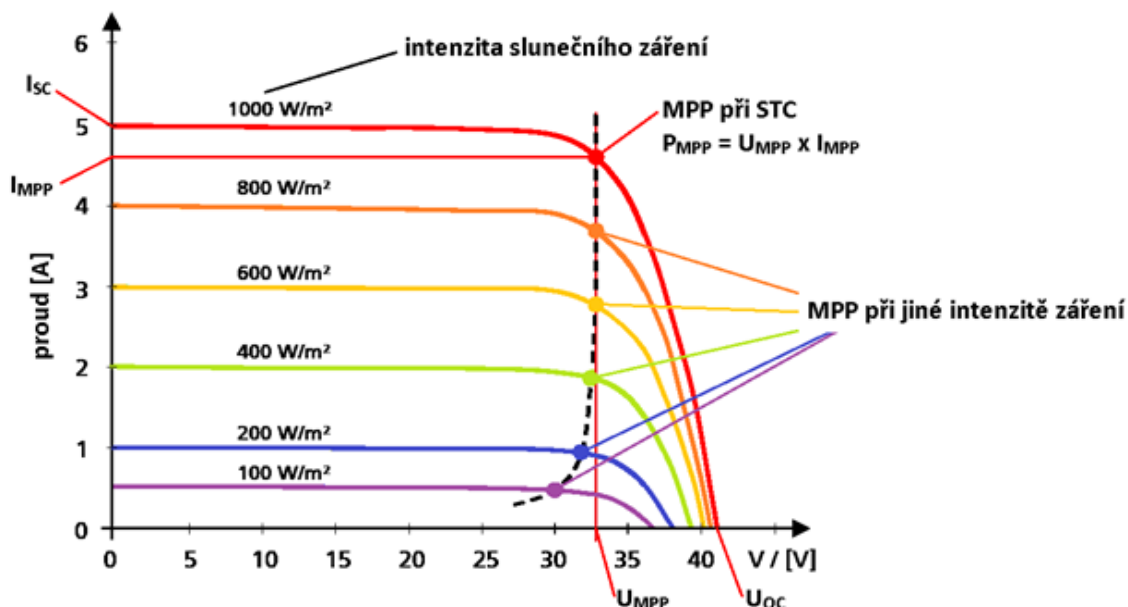
I_{MPP} – proud při jmenovitém výkonu

U_{oc} – napětí naprázdno – napětí na fotovoltaickém panelu bez připojené zátěže

I_{sc} – proud nakrátko – největší proud, který je panel schopen dodat

Max. System Voltage – nejvyšší systémové napětí, omezuje počet panelů, které lze zapojit v sérii, obvyklá hodnota je 1000 V.

Dané údaje můžeme graficky sledovat na grafu volt ampérové charakteristiky (viz. obr.3).



Obrázek 3. Účinnost různých fotovoltaických článků

Účinnost fotovoltaického článku

Účinnost fotovoltaického článku se měří podílem výstupního elektrického výkonu z jednotkové plochy fotovoltaického článku a intenzity slunečního záření. Jedna jednotka intenzity slunečního záření se nazývá **1 sun** a odpovídá intenzitě záření **1 kW/m²** za standardních testovacích podmínek neboli STC. STC jsou definovány při teplotě **25 °C** a intenzitě slunečního záření **1000 W/m²**. Typická účinnost kvalitních krystalických křemíkových článků je v současnosti **17,5–18,0 %** při STC. Při intenzitě dopadajícího záření pod **200 W/m²** účinnost krystalických článků klesá. Účinnost tenkovrstvých článků při STC je obvykle nižší, na rozdíl od krystalických článků však při nízké intenzitě dopadajícího záření účinnost tenkovrstvých článků vzrůstá. Za zmínku je také důležité zmínit takzvaný **teplotní koeficient**, který uvádí pokles efektivity panelu se zvyšující se teplotou. A to o **0,4 %** za každý stupeň celsia [1].

Kapitola 3: problematika prachu a nečistot u fotovoltaických panelů

Co se prachu týče jedná se o velmi podstatnou tématiku. Jelikož životnost panelů se pohybuje v okolí několika desítek let, je zapotřebí myslet na možné znečištění, kterému bude fotovoltaická elektrárna vystavena v případě špatných podmínek jako např.: nedostatek čištění, malý počet srážek, malý sklon modulů, velká prášivost. Co se znečištění týče je zde velmi podstatný instalovaný úhel panelů, jelikož od něj se odvíjí jak moc budou nečistoty na panelech přetrvávat. Jako další velmi podstatný faktor je roční počet srážek v oblasti instalace, jelikož při strmém instalačním úhlu panelu je velmi dobrým přírodním čistěčem obyčejná dešťová voda. Prašivost ovzduší v důsledku nedostatku možnosti měření a regulace daného parametru byla zanedbána, a nebyla zařazena do celkového výsledku měření.

1. Prof. Ing. Vítězslav Benda, CSc. | Moodle FEL
ČVUT. https://moodle.fel.cvut.cz/pluginfile.php/384609/mod_resource/content/0/B1B%204c.pdf

Dalším problémem není jen prach ale i sníh, který však v dané bakalářské práci již nebude zmiňován.

Pro zvýšení efektivity ve věci znečištění fotovoltaického modulu je tedy důležité optimalizovat sklon panelu k zeměpisné šířce. U míst s menším počtem srážek větší prašivostí bychom měli volit řešení strmějšího sklonu modulu. Snížíme tak množství prachu v rozích jednotlivých modulu, jak je tomu na obrázku číslo 4.

Co ale za zmínku rozhodně stojí je zašpinění panelů daného měření. Nejedná se tak pouze o lehce čitelný deštěm prach, ale o zaschlé vrstvy špíny v rozích instalovaných modulů, kam nedopadá dostatečný počet vody při dešti pro očištění. Právě dané zašpinění bude v práci nejvíce rozebíráno. Nejefektivnější způsob řešení daného problému je čištění manuální a následné leštění panelu.

Ačkoliv sníh a prašivost nejsou zařazeny mezi zkoumané oblasti, měření stále zůstává relevantním. Je tomu tak jelikož srovnání výkonu bylo vždy vyhodnoceno v poměru s intenzitou slunečního záření. Tedy v období sněhů anebo jiných špatných přírodních podmínek, data byla vyhodnocena v zachování poměru intenzity záření.



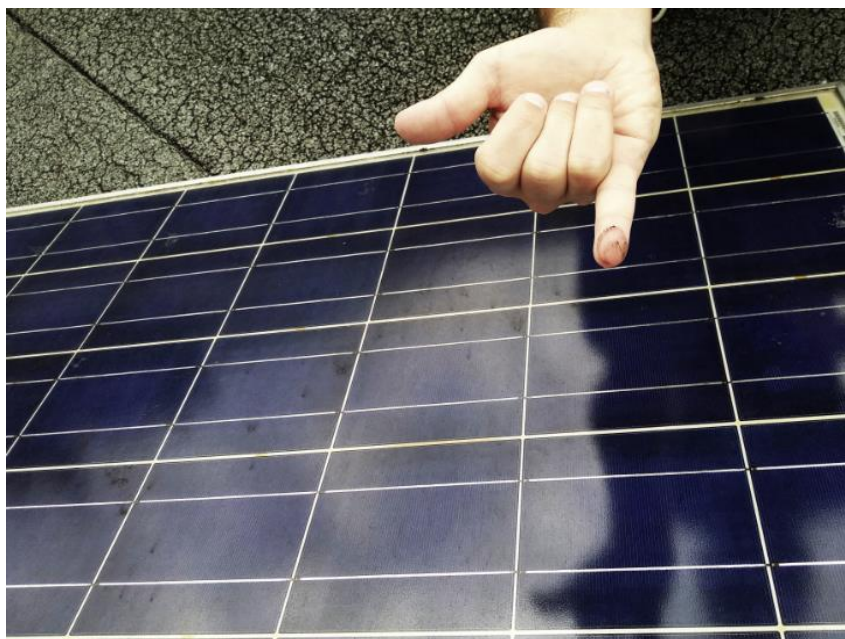
Obrázek 4. Ukázka velmi zašpiněných panelů. Severní Čechy, Ústí nad Labem

Kapitola 4: praktická část, cíl bakalářské práce

Cílem daného bakalářského projektu a následující bakalářské práce je vyhodnotit investice vynaložené na očištění **412 ks** fotovoltaických modulů o instalovaném výkonu **90,64 kWp** a sklonem panelů 25 stupňů. Daná investice pak byla vyhodnocena ve srovnání se zvýšeným ziskem a větším množstvím ušetřené energie. A to kvůli zvýšení efektivity modulu cestou jejich očištění a následného zvýšení dopadu slunečního záření. Je důležité zmínit, že testované panely byly instalovány před 10 lety, což znamená že u panelů aktuálnějších bychom zcela jistě dosáhli větších hodnot ve věci efektivity a návratnosti po jejich čištění. Na žádost fakulty, nebylo žádoucí poskytovat datasheet daných modulu fotovoltaické elektrárny.

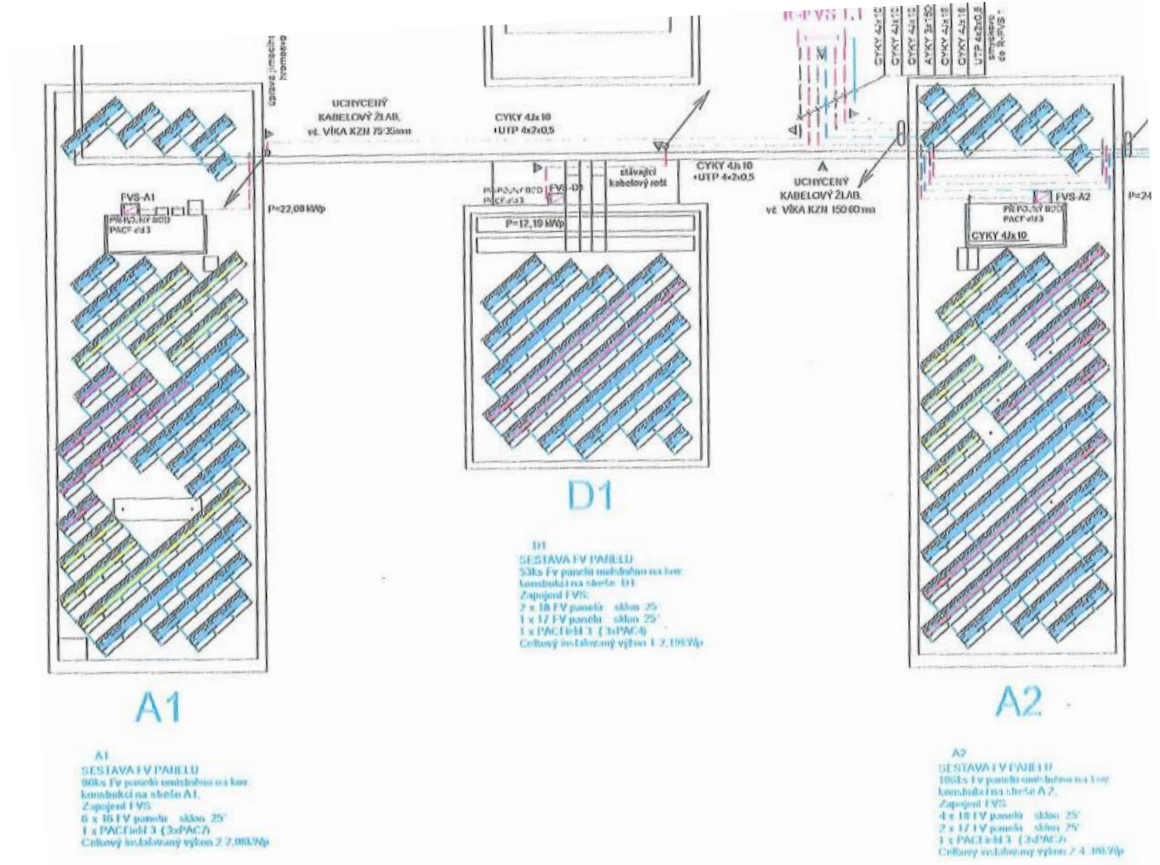


Obrázek 5. Fotodokumentace čištění fotovoltaických panelů.

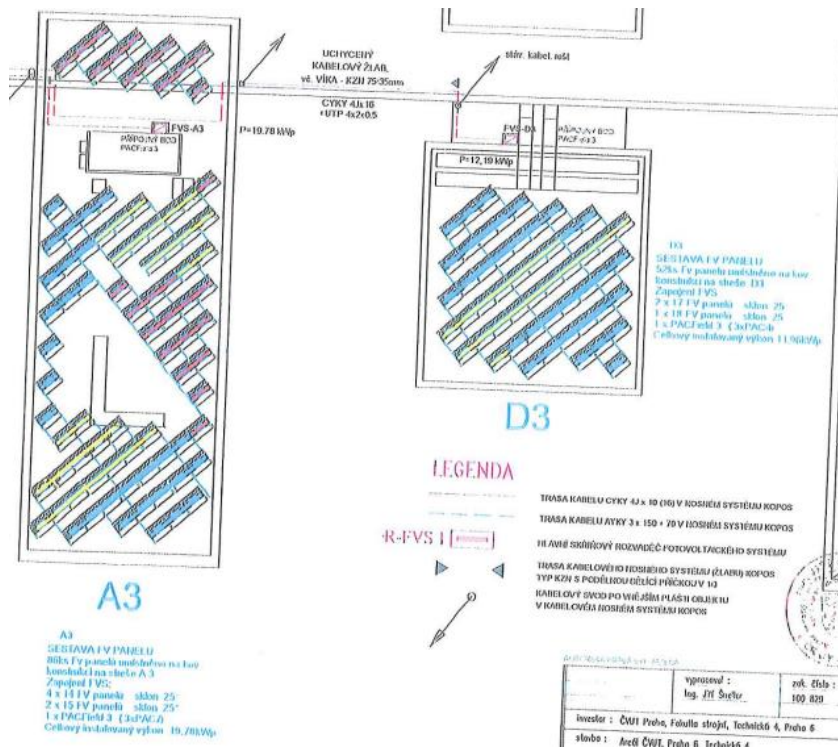


Obrázek 6. Špinavost panelu před čištěním.

Niže je uvedena část výkresu elektrárny na střeše budovy ČVUT Dejvice. Jedná se o skupiny modulů A1, A2, A3, D1 a D3.



Obrázek 7. Skupiny modulu A1, A2 a D1.



Obrázek 8. Skupiny modulů A3 a D3.

Kapitola 5: praktická část, popis prováděných úkonů

5.1 Popis planu praktické části

Pro detailnější porovnání byly odmontovány 4 panely Mono c-Si (viz. obr. 5 a 6). Poté byly změřeny jejich parametry elektroluminiscence a V-A charakteristiky. Poté byly dané tři moduly umyté. Na závěr se měření opakovalo. Modulu jsou označeny jako **20100807323**, **32011512020406415B**, **20100807013** a **20100807121**.

Následně v termínech říjen-listopad byly očištěny všechny moduly na střeše ČVUT Dejvice. Následně byly odečteny data v časovém intervalu od 14.06 po 01.09 v letech 2022 a 2023 po 3 minutách měření v Mervis Scada resursu, pomoci, kterého fakulta sleduje produkovaný výkon elektrárny již po dobu 10 let od její instalace na střechu fakulty.

5.2 Popis použitých čisticích prostředků a pomocné firmy ve věci očištění

Čištění provedla společnost **VEICEC s.r.o.** a to nejen destilovanou vodou ale i jistým testovaným prostředkem DUOCLEAN, který je snadno biologicky rozložitelný, obsahuje těkavé látky a má kladný vliv ve věci ekotoxicity pro využití v agrovoltaice. [1]

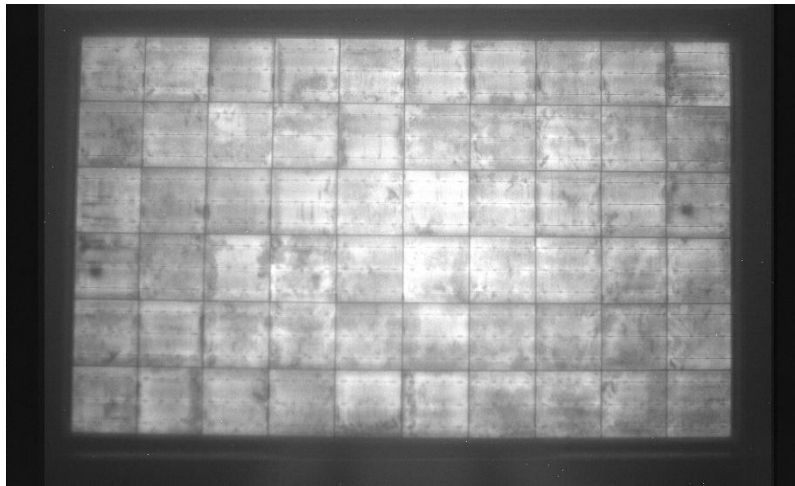
Modul **20100807013** byl umytý demineralizovanou vodou, modul **20100807323** Duoclean vodou s vodou obyčejnou v poměru 1:10, modul **32011512020406415B** Duoclean vodou s vodou obyčejnou v poměru 1:20, a modul 20100807121 byl umyt vodou čistou.

5.3 Měření výsledků vybraných jednotlivých panelů

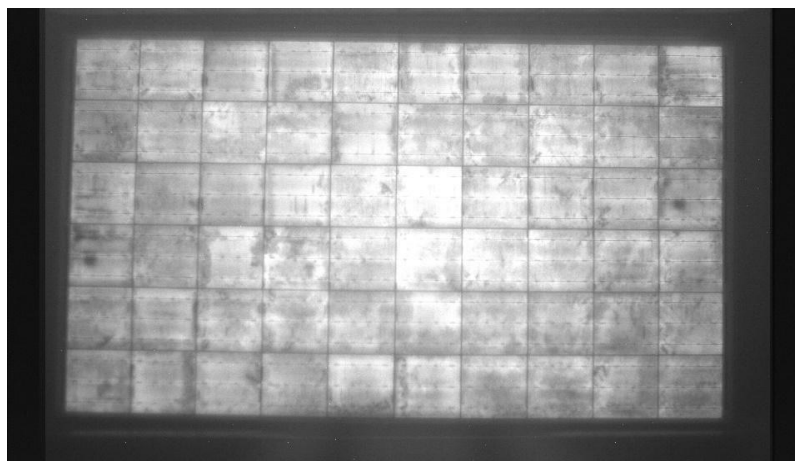
Výsledky elektroluminiscence jednotlivých modulu ukázaly ne moc velké rozdíly. Zde spíš zkoumáme poškození panelů, což může zapříčinit nepřesnosti ve věci vyhodnocování.

Jak můžeme vidět po umytí panelů nedošlo k výrazné změně co se pozorování elektroluminiscence týče. V případě poškození bychom viděli malý jas článku ještě před umytím, což by znehodnotilo naše měření.

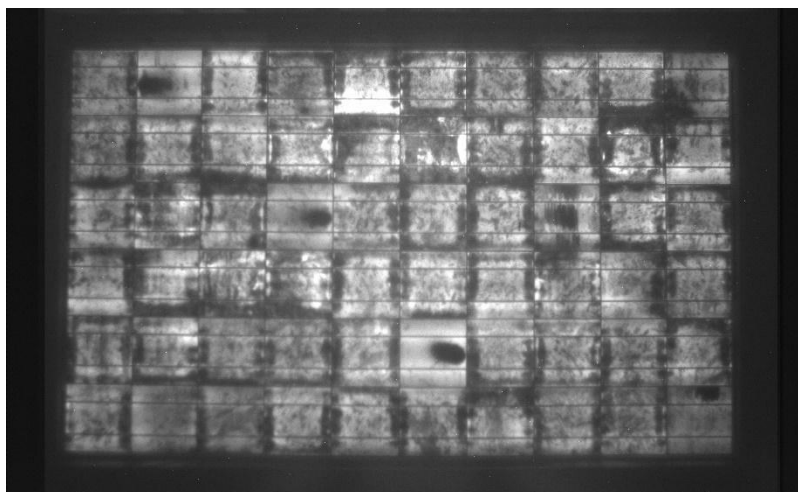
1. Duo Clean. (n.d.). Home. <https://veidec.com/en/duo-clean>



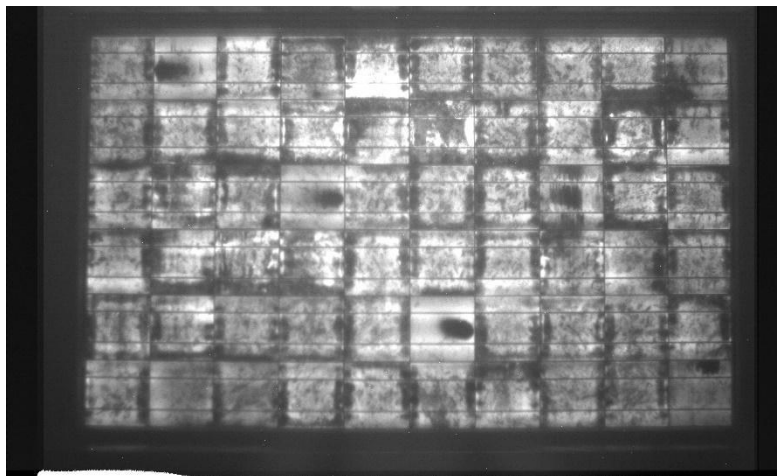
Obrázek 7. Elektroluminiscence panelu 20100807013 před umytím.



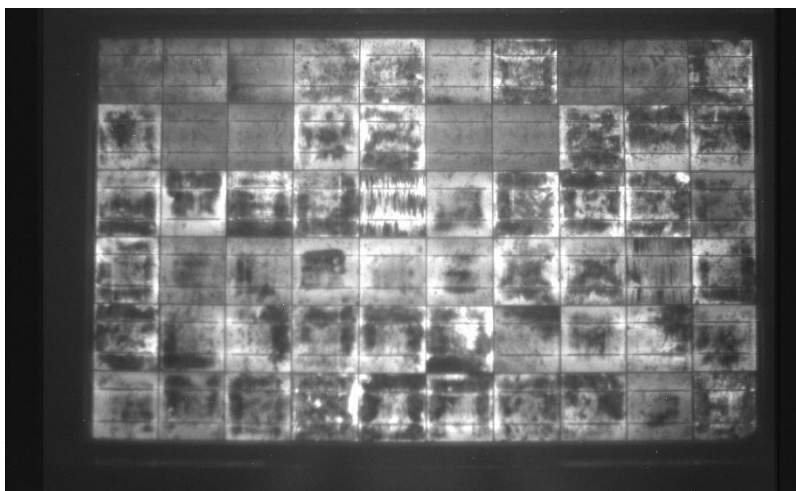
Obrázek 8. Elektroluminiscence panelu 20100807013 po umytí demineralizovanou vodou.
Větší osvit pozorujeme třeba u článku 3. řádek a 6. sloupec.



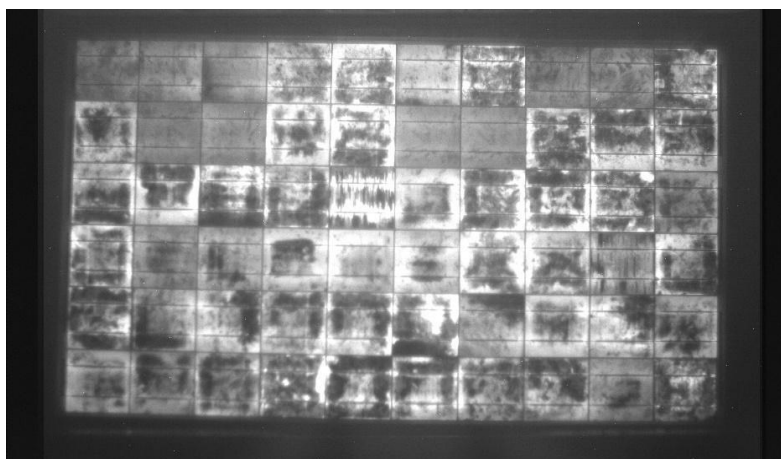
Obrázek 9. Elektroluminiscence panelu 20100807121 před umytím.



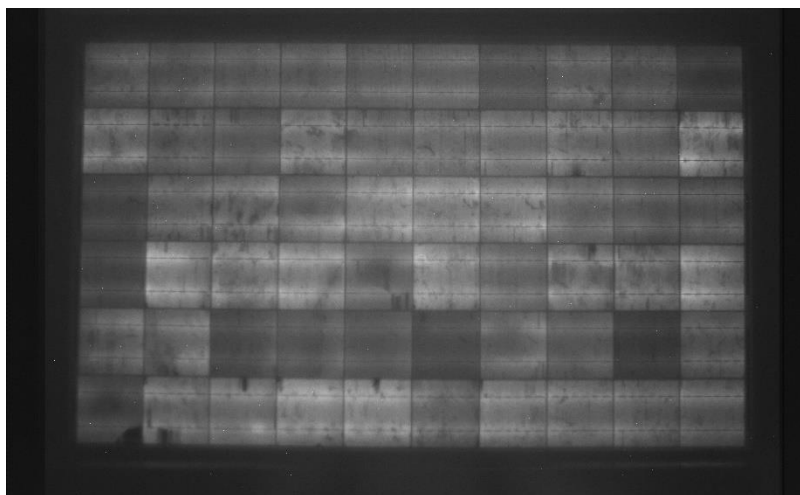
Obrázek 10. Elektroluminiscence panelu 20100807121 po umytí čistou vodou. Větší osvit pozorujeme třeba u článku 1. řádek a 5. sloupec.



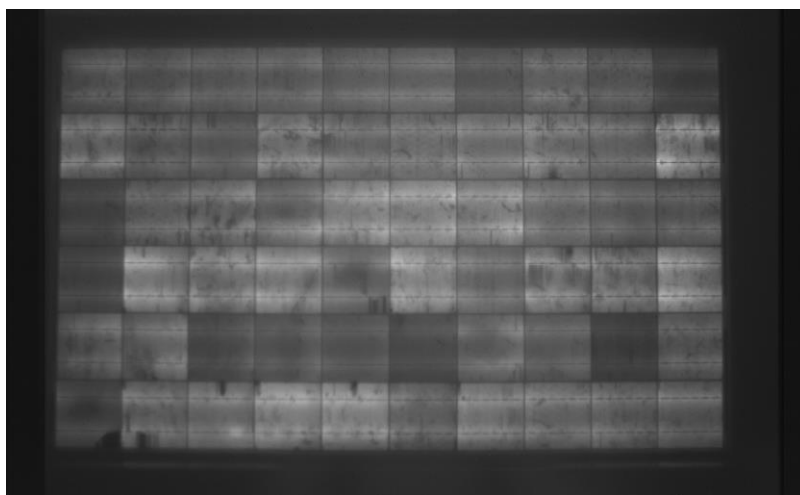
Obrázek 11. Elektroluminiscence panelu 32011512020406415B před umytím.



Obrázek 12. Elektroluminiscence panelu 32011512020406415B po umytí Duoclean vodou s vodou obyčejnou v poměru 1:20



Obrázek 13. Elektroluminiscence panelu 20100807323 před umytím



Obrázek 14. Elektroluminiscence panelu 20100807323 po umytí Duoclean vodou s vodou obyčejnou v poměru 1:10

5.4 Pozorování elektrárny po čištění.

Měření modulu v laboratoři. Měření za laboratorních podmínek.

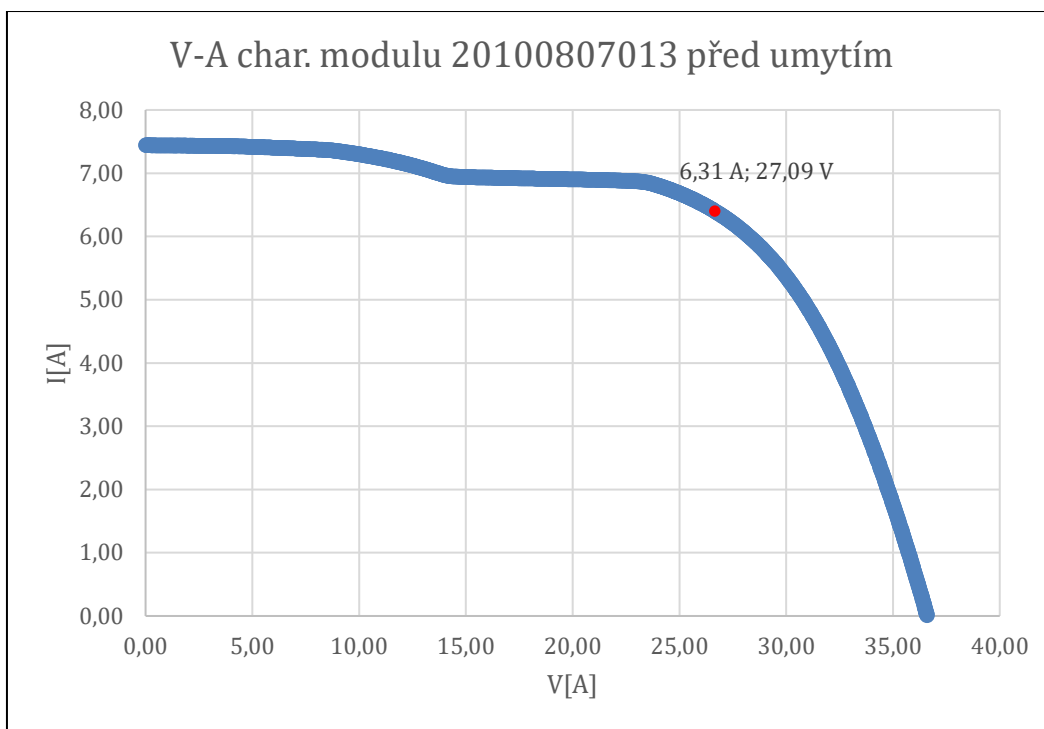
Jelikož fotoluminiscence nevykázala žádná vážná poškození vybraných modulů, pokračovali jsme k měření dalšího parametrů. Změřen byl proud a napětí daných článku. Dané hodnoty jsme využili k sestavení Voltampérové charakteristiky. Z dané charakteristiky byl odečten bod MPP, neboli bod maximální jmenovitého napětí a proudu.

Zkoumané byly panely **32011512020406415 B**, **20100807013**, **20100807121** a **20100807323**. Zde je tabulka, která uvádí, rozdíl hodnoty MPP před a po očištění, včetně procentuálního výpočtu navýšení výkonu vyhodnocených třech modulu.

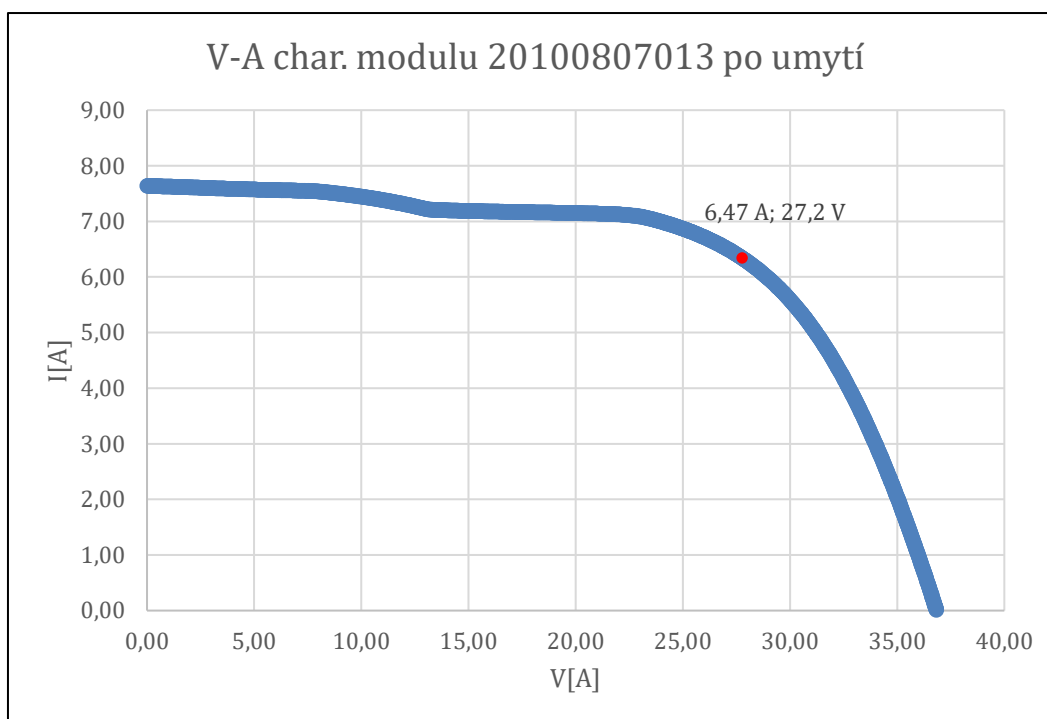
MPP maximální měřených modulu v laboratoři	MPP max	Rozdíl [%]
32011512020406415B před	222,832	4,002
32011512020406415B po	231,749	
20100807013 před	170,888	3,118
20100807013_po	176,216	
20100807121 před	168,707	3,343
20100807121_po	174,347	
20100807323 před	177,085	3,12
20100807323 po	182,61	
Střední hodnota rozdílu [%]		3,39

Tabulka 1. Tabulka MPP modulů.

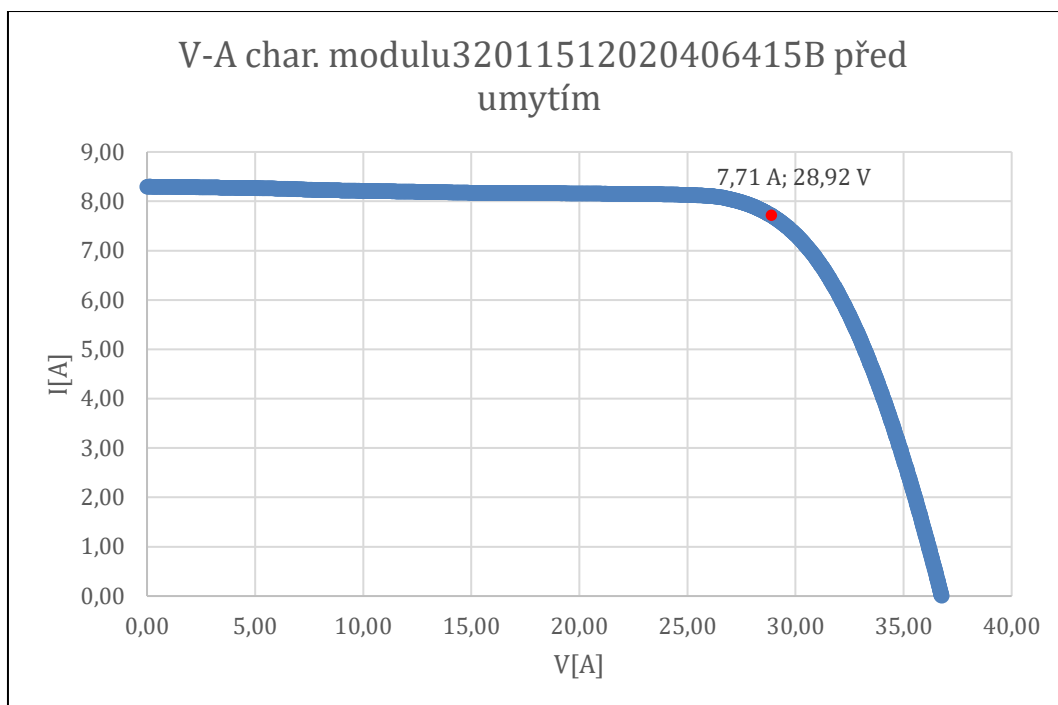
Můžeme tedy vidět, že střední procentuální hodnota navýšení MPP a tedy i výkonové zhodnocení panelu se lišilo o **3,39%**.



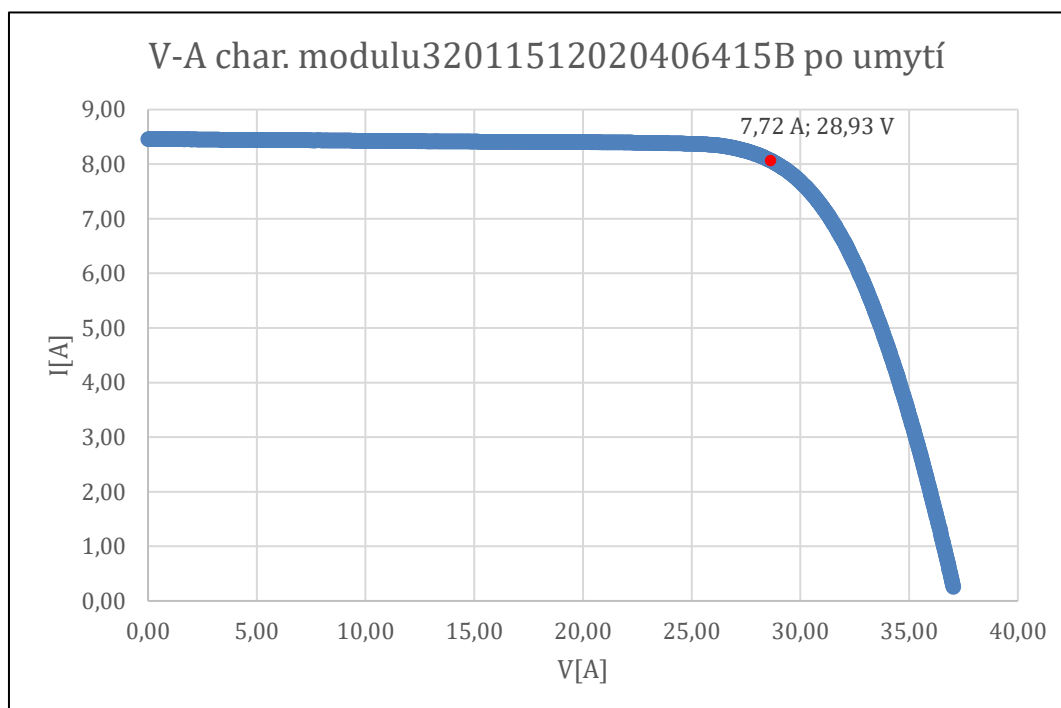
Obrázek 15. Voltampérová charakteristika před umytím modulu číslo 20100807013



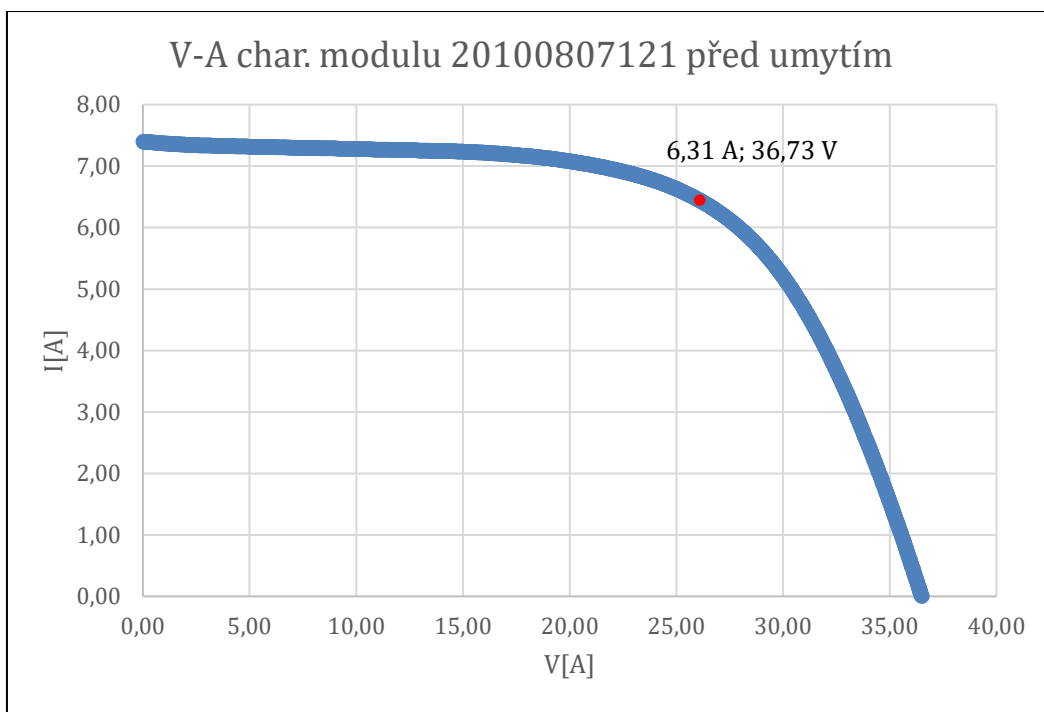
Obrázek 16. Voltampérová charakteristika po umytí modulu číslo 20100807013



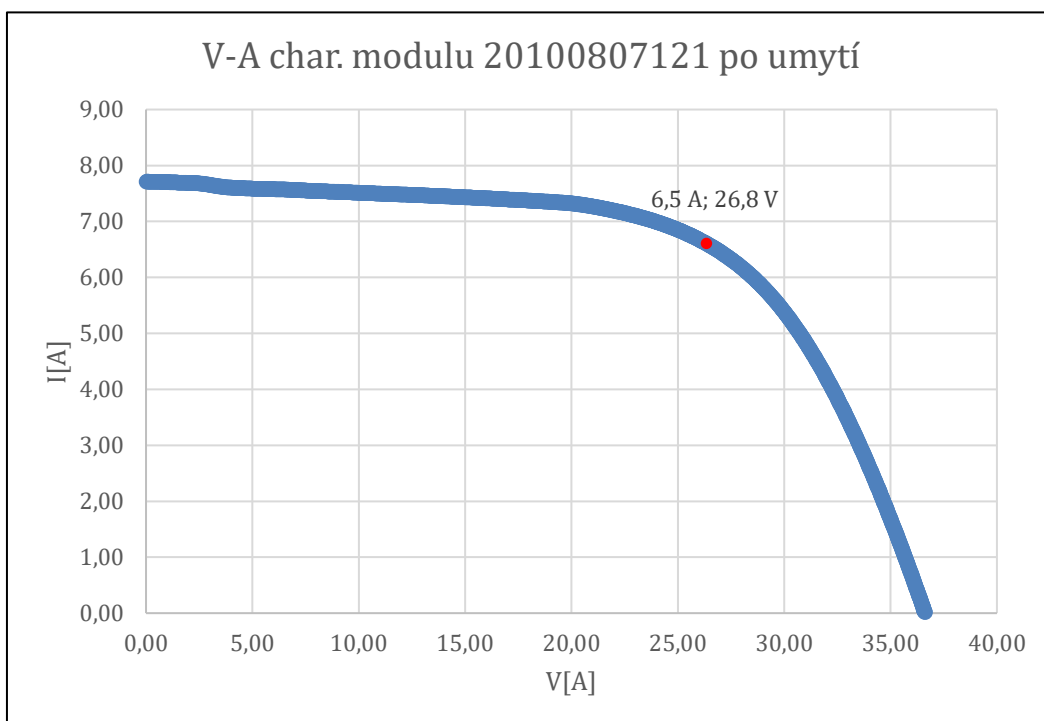
Obrázek 17. Voltampérová charakteristika před umytím modulu číslo 32011512020406415B.



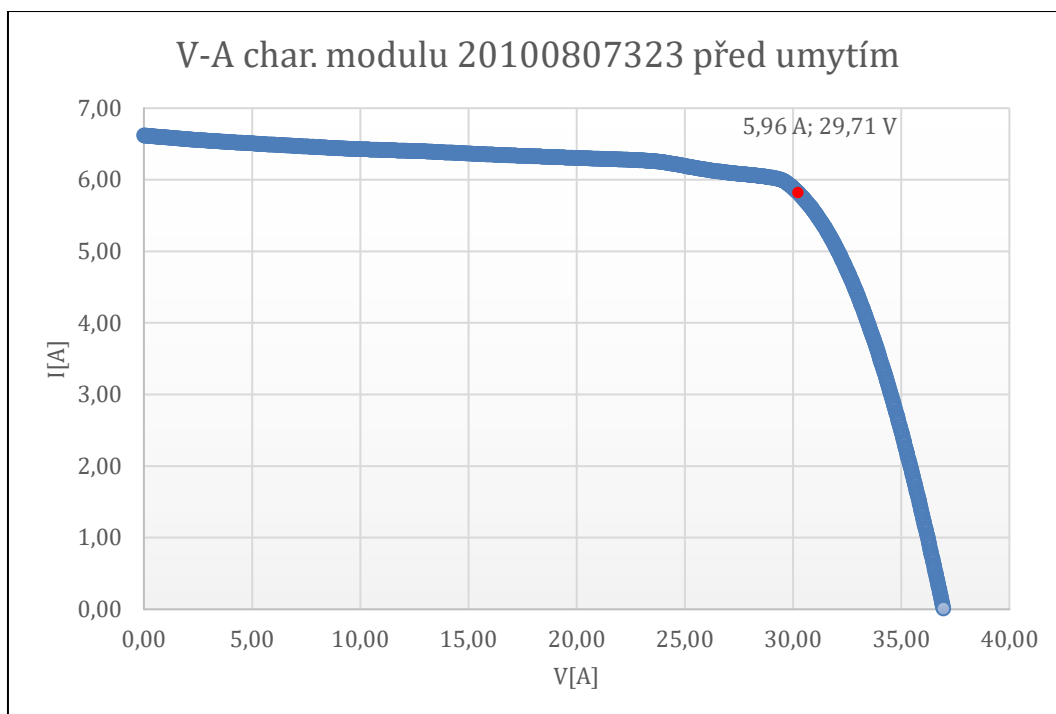
Obrázek 18. Voltampérová charakteristika po umytí modulu číslo 32011512020406415B.



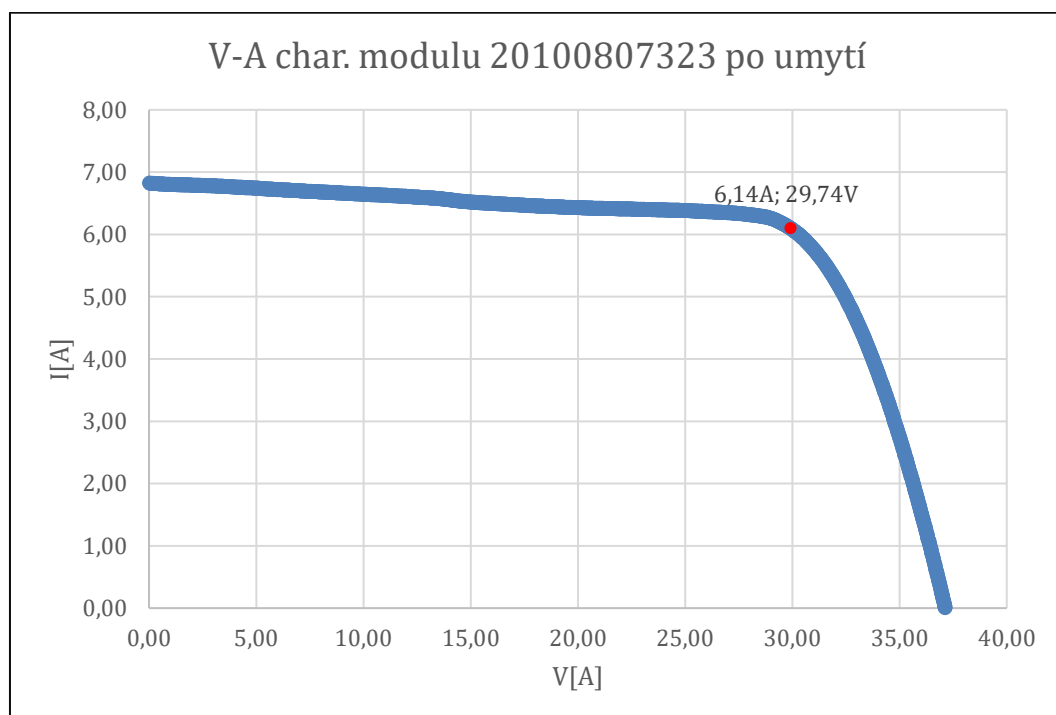
Obrázek 19. Voltampérová charakteristika před umytím modulu číslo 20100807121.



Obrázek 20. Voltampérová charakteristika po umytí modulu číslo 20100807121.



Obrázek 21 Voltampérová charakteristika před umytím modulu číslo 20100807323.



Obrázek 23 Voltampérová charakteristika po umytí modulu číslo 20100807323.

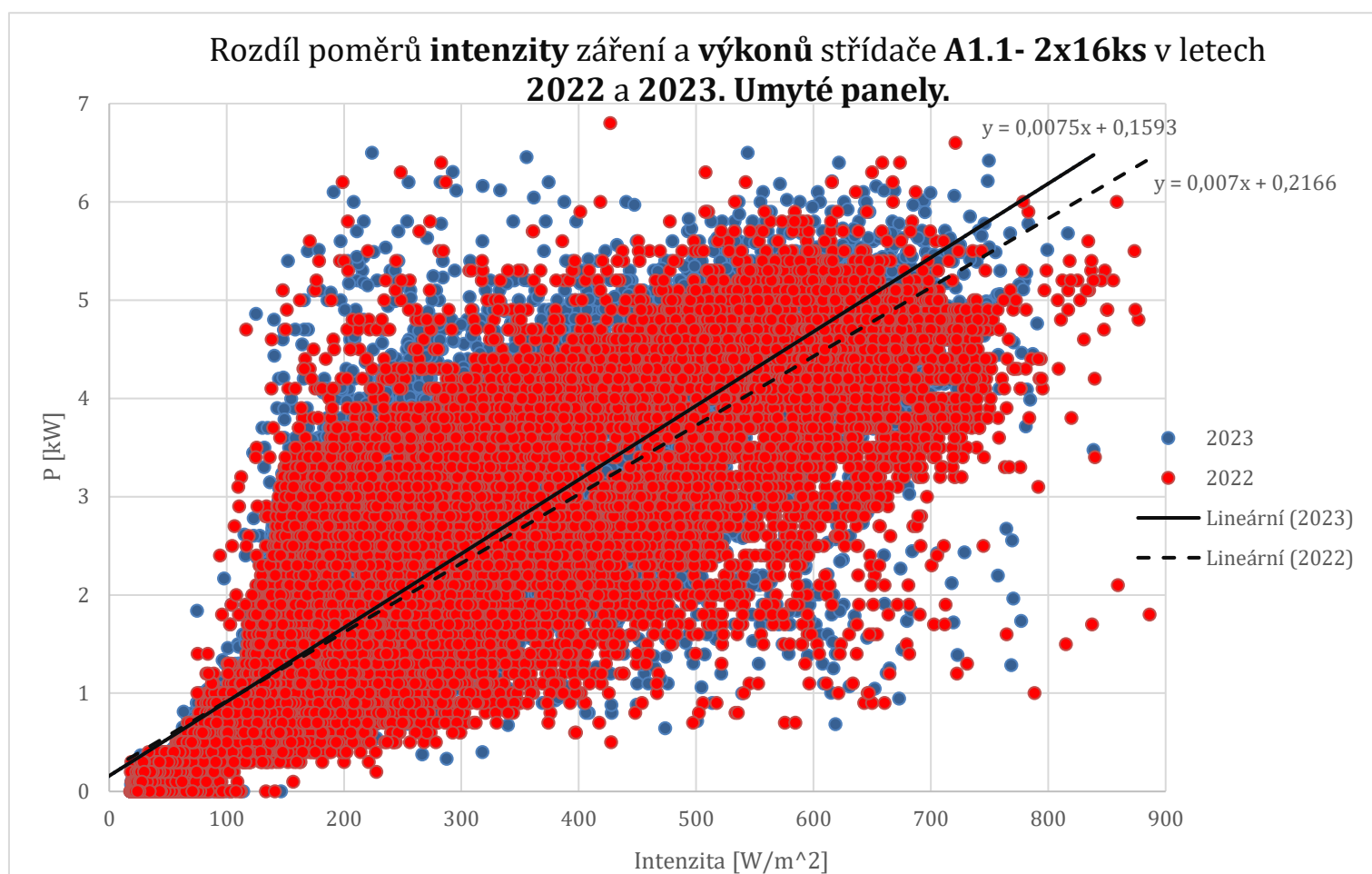
Měření modulů. Měření za opravdových venkovních podmínek.

Jelikož ve většině případu, fotovoltaické elektrárny nejsou rozmístěné v laboratoři, ale venku, bylo zapotřebí vyhodnotit rozdíl výkonu elektrárny za běžných venkovních přírodních podmínek.

Změřena byla intenzita slunečního záření v daném období pomocí čidla, které je umístěno na střeše budovy FEL ČVUT. Změřen byl i výkon fotovoltaické elektrárny v období **14.06.2022- 01.09.2022** před čištěním až **14.06.2023- 01.09.2023** po čištění.

Celkově se jedná o 15ks měřených střídačů. Střídač **D1.6 1x17** ks byl z měření vypuštěn, jelikož v systému Mervis se vyskytla jistá datová propast, a nebyly zaznamenány hodnoty daného střídače za velmi velké časové období.

Zde je grafická ukázka poměru mezi intenzitou slunečního záření a výkonem střídače **A1.1-2x16ks**.(Obr.24)



Obrázek 24 Rozdíl poměrů intenzity záření a výkonů střídače A1.1- 2x16ks v letech 2022 a 2023

Celkově se jedná o 14x ks grafických zhodnocení a **1 118 400** datových údajů. Dle zadání vedoucího bakalářské práce se přistoupilo na vyhodnocení pomocí směrníc jednotlivých střídačů. Poté byly spočítány rozdíly hodnot z roku 2022 a 2023 pomocí rovnic směrníc jednotlivých grafických průběhů. Zde je tabulka s ukázkou rovnic a vypočtených procentuálních rozdílů jednotlivých střídačů.

U stringy **D.3.13 1x18**, **D.3.14 1x18** a **D.3.15 1x17** bylo pozorováno, že se jedná o příliš velkou odchylku oproti zbylým 11ti skupinám hodnot. Daná odchylka mohla být způsobena příliš malou přesností vyhodnocení programu Mervis SCADA. Můžeme tedy vidět, že střední procentuální hodnota zvýšení výkonu fotovoltaické elektrárny ČVUT FEL Dejvice činí dle změřených námi hodnot **6,99 %**.

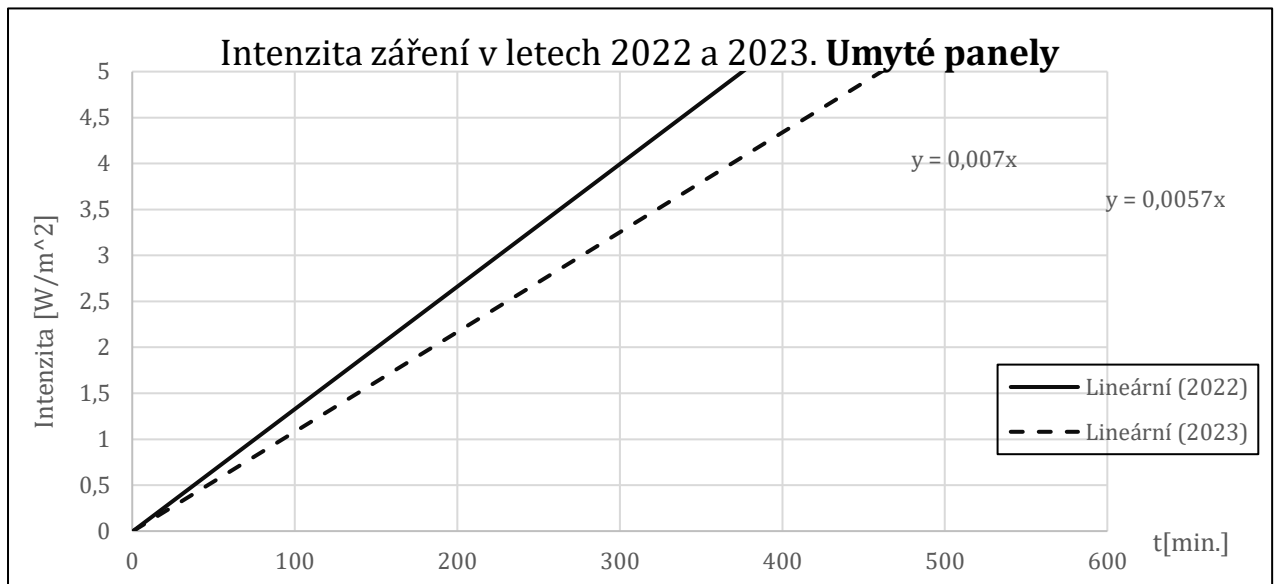
Název střídačů	Rozdíl směrnic [%]
A1.1 - 2x16	5,616
A1. 2 - 2x16	4,123
A1. 3 - 2x15	5,214
D1. 4 - 1x18	8,423
D1. 5 - 1x18	7,169
A2. 7 - 2x18	5,736
A2. 8 - 2x18	4,003
A2. 9 - 18+17x1	1,248
A3. 10 - 2x15	6,029
A3. 11 - 2x14	4,89
A3. 12- 2x14	6,622
D3. 13 - 1x18	13,143
D3. 14 - 1x18	12,544
D3. 15 - 1x17	13,112

Tabulka 2. Rozdíl výkonu jednotlivých řad modulů

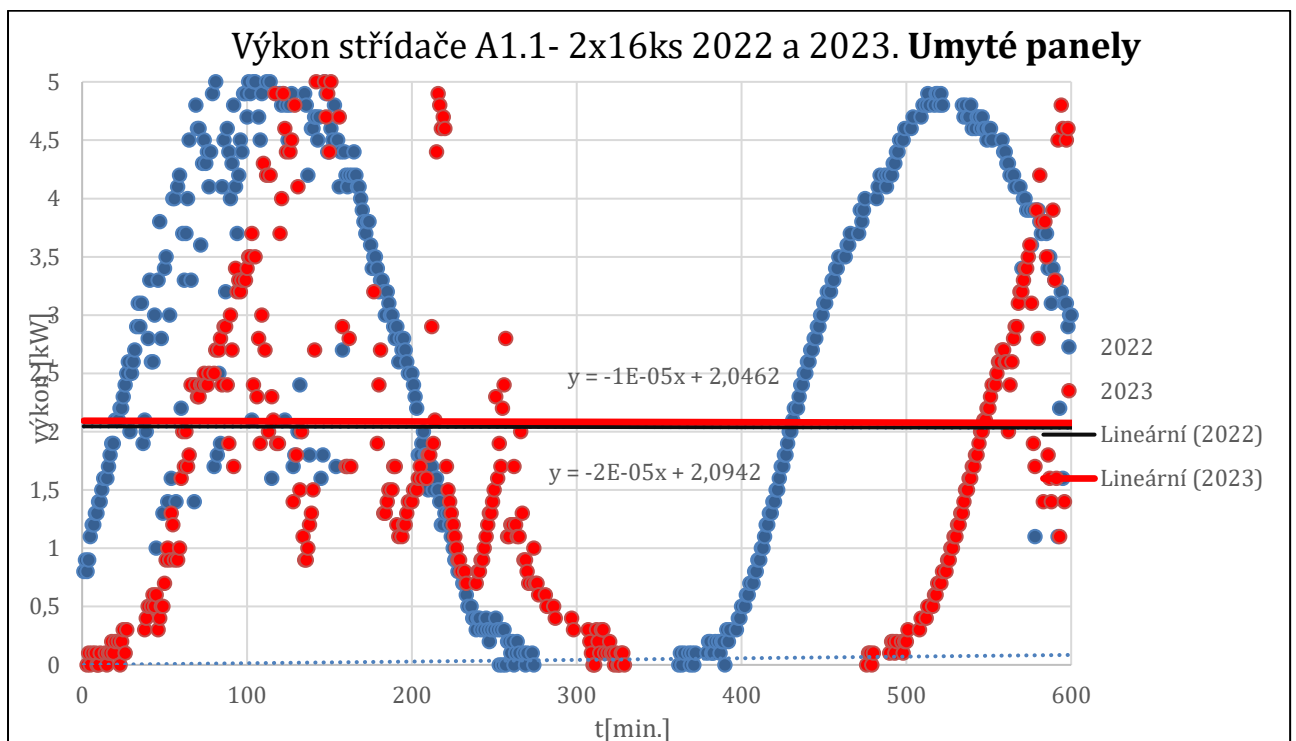
Nárůst výkonu dle většiny hodnot [%]
6,99

Tabulka 3. Střední hodnota rozdílu výkonu jednotlivých řad modulů

Pro srovnání s referenční sadou modulu na hale VVN, kde neprobíhalo očištění modulů, byly také vyhodnoceny průběhy intenzity slunečního záření a výkonu zvlášť.



Obrázek 25 Intenzita záření v letech 2022 a 2023. Umyté panely



Obrázek 26 Výkon střídače A1.1- 2x16ks v letech 2022 a 2023. Umyté panely

Zatím co u průběhu intenzity vidíme pokles (což mohlo být způsobeno změnou počasí a větším počtem srážek), u průběhů výkonu pomoci směrnic vidíme mírný nárůst. (Obr.26)

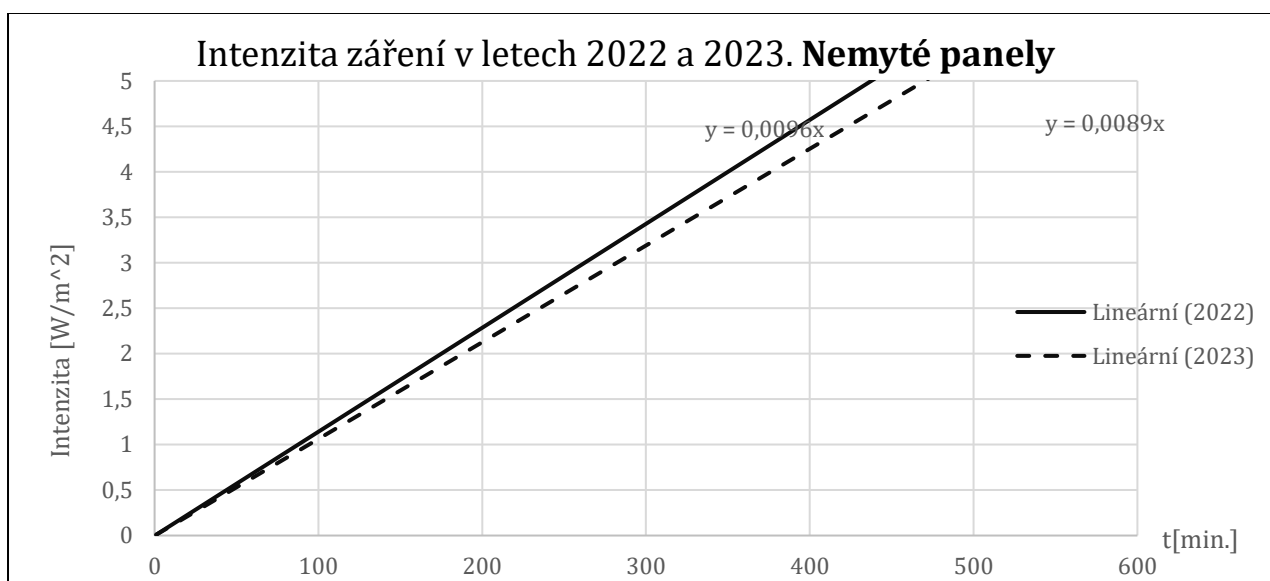
Níže jsou uvedeny analogické průběhy pro referenční **nemyté moduly** na hale VVN.

	2023
Hodnota rovnice směrnice	2,0942
	2022
Hodnota rovnice směrnice	2,0462
Rozdíl [%]	2,35

Obrázek 27 Nárůst výkonu umytých modulů.

	2023
Hodnota rovnice směrnice	92857,14
	2022
Hodnota rovnice směrnice	114035,1
Rozdíl [%]	-18,57

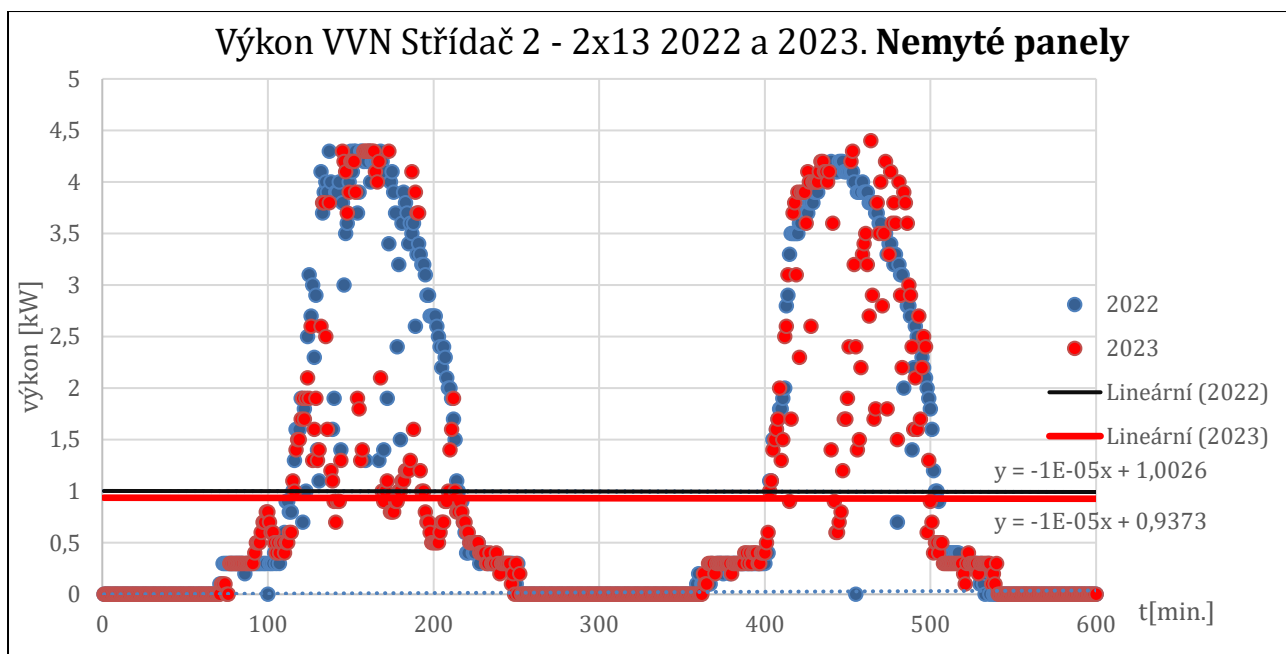
Obrázek 28 Pokles intenzity umytých modulů.



Obrázek 29 Intenzita záření v letech 2022 a 2023. Nemyté panely.

	2023
Hodnota rovnice směrnice	73033,71
	2022
Hodnota rovnice směrnice	67708,33
Rozdíl [%]	-7,87

Obrázek 30 Pokles intenzity nemytých modulů.



Obrázek 31 Obrázek 26 Výkon střídače A1.1- 2x16ks v letech 2022 a 2023. Nemyté panely .

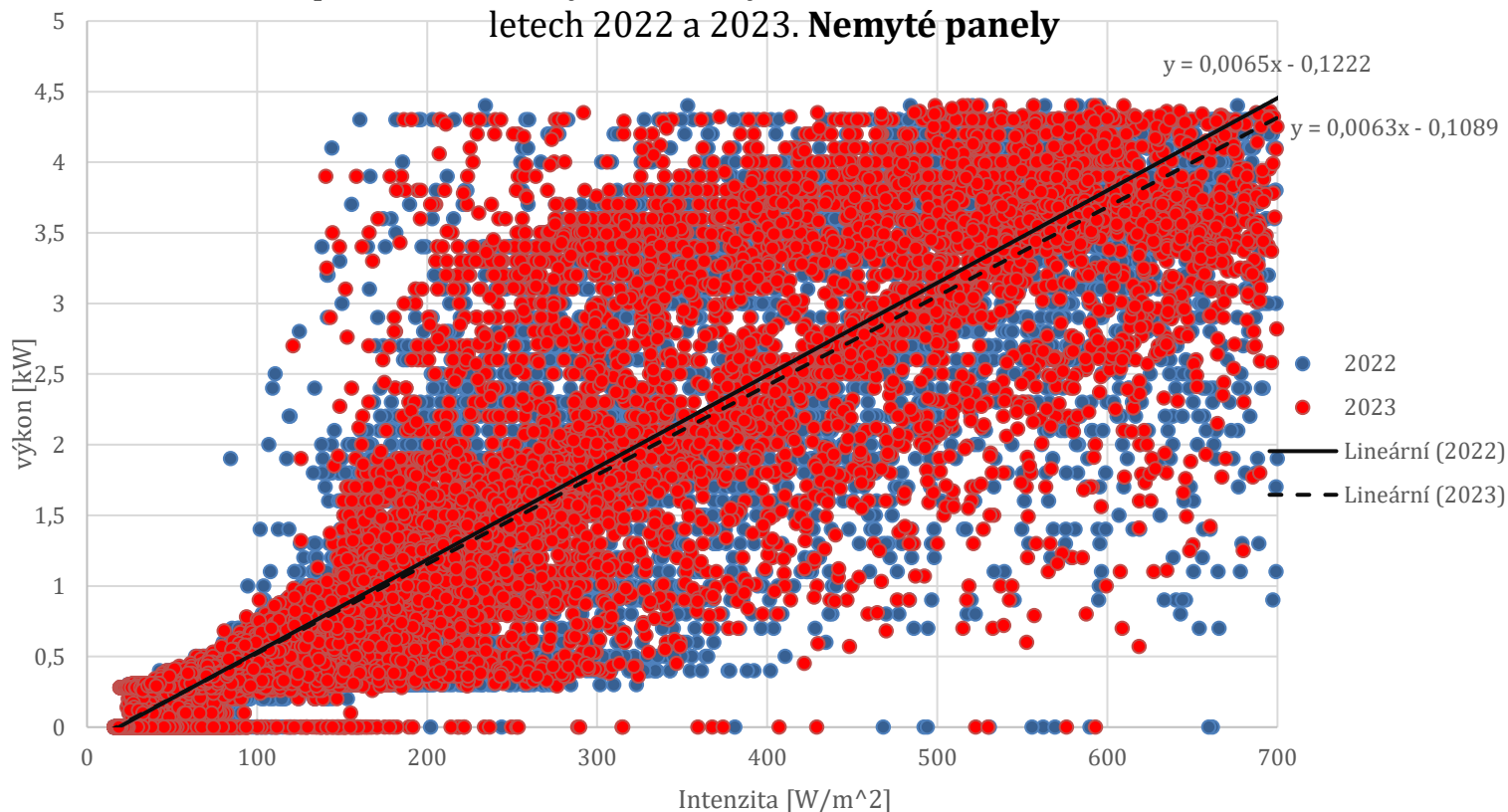
Zde můžeme vidět nejen pokles intenzity záření, ale i pokles výkonu. Jelikož k očištění nedošlo, uplatňuje se zde běžná degradace modulů. (Obr. 31)

	2023
Hodnota rovnice směrnice	0,9373
	2022
Hodnota rovnice směrnice	1,0026
Rozdíl [%]	-6,51

Obrázek 32 Pokles výkonů modulů umytých.

Jako finální referenční prvek, byl sestaven průběh výkonu v závislosti na intenzitě záření nemytých panelů haly VVN. (Obr. 33)

Rozdíl poměrů intenzity záření a výkonů střídače VVN Střídač 2 - 2x13 v letech 2022 a 2023. Nemyté panely



Obrázek 33 Rozdíl poměrů intenzity záření a výkonů střídače VVN Střídač 2 - 2x13 v letech 2022 a 2023. Nemyté panely

Zde můžeme vidět, že oproti umytým panelům, skutečně dochází k poklesu směrnice.

	2023
Hodnota rovnice směrnice	108333,3333
	2022
Hodnota rovnice směrnice	104838,7097
Rozdíl [%]	-4,95 %

5.5 Nejistoty měření

Po obdržení finálních hodnot, bylo důležité určit, v jakém rozsahu se mohlo dopustit chybovosti ve věci vyhodnocení, exportu či pozorování dat. Níže je tabulka, kde bylo vyhodnocena střední směrodatná odchylka.

Směrodatné odchylky			
A1.1 - 2x16		A2. 9 - 18+17x1	
2022	1,516013387	2022	1,620555194
2023	1,543580578	2023	1,591664608
Rozdíl [%]	1,02 %	Rozdíl [%]	0,98 %
A1. 2 - 2x16		A3. 10 - 2x15	
2022	1,598810479	2022	1,505380635
2023	1,609643608	2023	1,5271408
Rozdíl [%]	1,01 %	Rozdíl [%]	1,01 %
A1. 3 - 2x15		A3. 11 - 2x14	
2022	1,696156662	2022	1,464224453
2023	1,714796094	2023	1,484734437
Rozdíl [%]	1,01 %	Rozdíl [%]	1,01 %
D1. 4 - 1x18		A3. 12 - 2x14	
2022	0,785705326	2022	1,406280933
2023	0,837353445	2023	1,47905639
Rozdíl [%]	1,07 %	Rozdíl [%]	1,05 %
D1. 5 - 1x18		D3. 13 - 1x18	
2022	0,796196768	2022	0,777659315
2023	0,819830224	2023	0,833189136
Rozdíl [%]	1,03 %	Rozdíl [%]	1,07 %
A2. 7 - 2x18		D3. 14 - 1x18	
2022	1,684242353	2022	0,73769776
2023	1,69492118	2023	0,809984994
Rozdíl [%]	1,01 %	Rozdíl [%]	1,10 %
A2. 8 - 2x18		D3. 15 - 1x17	
2022	1,789062248	2022	0,707758491
2023	1,809355386	2023	0,780862707
Rozdíl [%]	1,01 %	Rozdíl [%]	1,10 %
Průměrná směrodatná odchylka		1,03 %	

Kapitola 6: Finanční posudek

Po získání technických parametrů nárůstu výkonu po umytí fotovoltaických modulů byla vyhodnocena ekonomická část bakalářské práce.

Cílem měření je zjistit navýšení finanční částky, kterou bude budova FEL ČVUT adresou Technická 1902/2, 166 27 Praha 6 šetřit na ročních nákladech. Celkový instalovaný výkon FVE elektrárny činí **90,64 kWp**. Střední hodnota zvýšení výkonu byla změřena jako

6,99 % ± 1,03 %. Roční výkon fotovoltaické elektrárny činí **90 MW**.

Jelikož fakulta neposkytla údaje ve věci nákupu elektřiny pro vyhotovení bakalářské práce, byly použity střední hodnoty cen na trhu. Dle oficiálního webu kurzu měn České republiky dané hodnoty činí **4,16 Kč** za kWh jako cenu nákupní [1]. Ceník myti modulu byl uveden jako 35 Kč za metr čtvereční.

Dle oficiálního webu Ministerstva financí České republiky byla zjištěna inflace **4 %** [2]. Započtena byla i standartní hodnota degradace panelu a to **0,8 %** ročně. Daný údaj je bohužel pouze orientační, jelikož fakulta neposkytla datasheet instalovaných modulů.

Vyhodnocení návratnosti proběhlo pomocí metody **NPV**. Doba počtu stanovena na **4 roky**.

Čistá současná hodnota (Net Present Value - NPV) představuje klíčový ukazatel pro hodnocení investic. NPV se vypočítá jako součet diskontovaných hotovostních toků, kde diskontní sazba reflektuje náklady na nevyužitou příležitost a riziko v souladu s teorií **opportunity cost**. Vzorec pro NPV je následující:

$$NPV = \sum_{t=0}^T CF_t (1 + r_{reální})^{-t}$$

Kde CF_t tok hotovosti v čase t a r je reální diskontní sazba. [3]

cena za kWh	produkce ročně[kWh]	nárůst výkonu [%]	investice	degradace	inflace
4,16 Kč	90000	6,99 %	26 320,00 Kč	0,80 %	4 %

Tabulka 4. Vstupní data, venkovní měření

Roky	produkce ročně[kWh]
1	90000,00
2	82800,00
3	76176,00
4	70081,92

Tabulka 5. Pokles výroby před očištěním v důsledku degradace

1. *Cena 1 kWh elektřiny (aktuální) 2024*. (n.d.). Srovnání cen energií 2024 Energie123.cz. <https://www.energie123.cz/elektrina/ceny-elektricke-energie/cena-1-kwh/>
2. *Makroekonomická predikce - listopad 2023* | Ministerstvo financí ČR. (n.d.). Ministerstvo financí ČR. <https://www.mfcr.cz/cs/rozpocetova-politika/makroekonomika/makroekonomicka-predikce/2023/makroekonomicka-predikce-listopad-2023-53576>
3. *KRITÉRIA EKONOMICKÉ EFEKTIVNOSTI*. (n.d.). Titulní stránka | Moodle FEL ČVUT. https://moodle.fel.cvut.cz/pluginfile.php/243217/mod_resource/content/1/Kritéria%20ekonomické%20efektivnosti.pdf

Roky	produkce ročně[kWh]
1	96291,00
2	88587,72
3	81500,70
4	74980,65

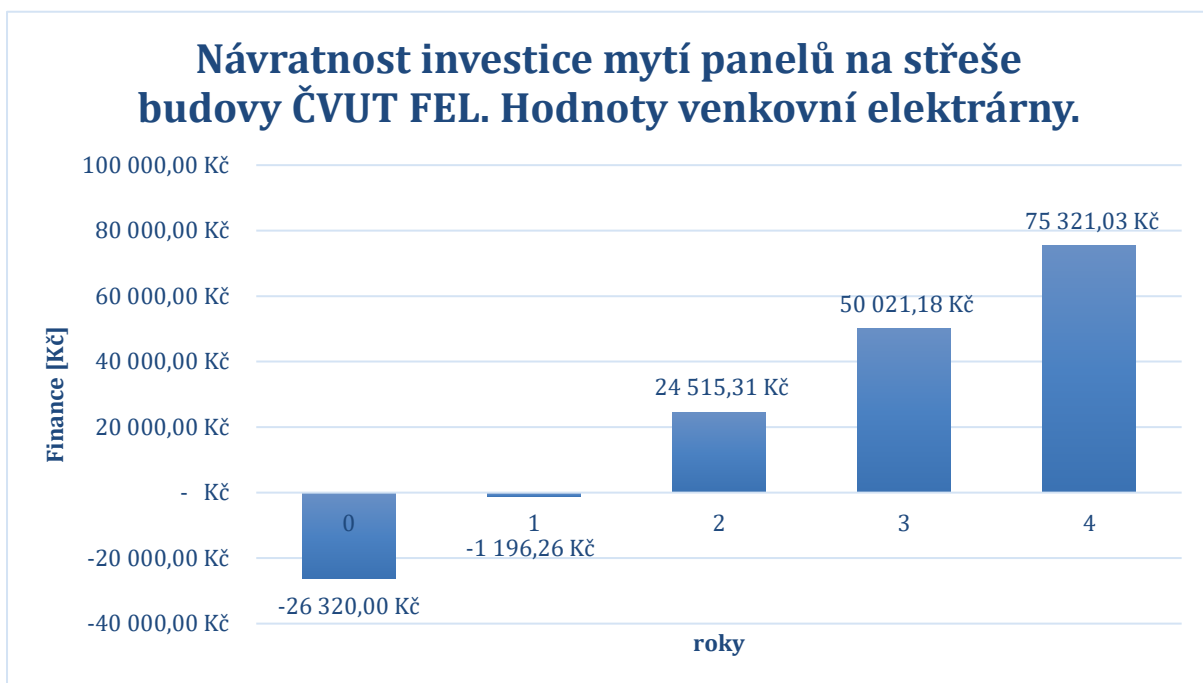
Tabulka 6. Pokles výroby po očištění v důsledku degradace

Roky	nárůst produkce[kWh]
1	6291,00
2	5787,72
3	5324,70
4	4898,73

Tabulka 7. Nárůst produkce v důsledku čištění

Rok	0	1	2	3	4
	- 26 320,00 Kč	25 123,74 Kč	23 113,84 Kč	21 264,73 Kč	19 563,55 Kč

Tabulka 8. Cash flow pro NPV A



Obrázek 34. Návratnost investice mytí panelů, 2 roky.

$$r_{reální} = \frac{1 + r_{nominální}}{1 + i} - 1$$

Kde i je očekávaná inflace r je nominální diskontní sazba.

Diskontní sazbu (diskont) obvykle určuje firma nebo investor na základě několika faktorů, jako jsou náklady na kapitál, očekávaný výnos na investici, rizika spojená s investicí a obecné ekonomické podmínky.

Jelikož nejistota měření nám vyšla jako **1,03 %** a rozdíl oproti laboratornímu měření byl o **3,6%** vyšší, uvádíme danou sumární rizikovou hodnotu **4,63 %** jako naši nominální diskontní sazbu.

$$r_{reální} = \frac{1 + 0,0463}{1 + 0,04} - 1 = 1,00605 - 1 = \mathbf{0,006}$$

Nyní můžeme spočítat čistou současnou hodnotu dané investice.

$$NPV = -26320 + \frac{25\,123,74}{(1+0,006)^1} + \frac{23\,113,84}{(1+0,006)^2} + \frac{21\,264,73}{(1+0,006)^3} + \frac{19\,563,55}{(1+0,006)^4} = \mathbf{61\,304,59\,Kč}$$

$$NPV_A = \mathbf{61\,304,59\,Kč}$$

Jelikož v bakalářské práci jsme počítali nárůst dvěma způsoby, v laboratořích a za venkovních podmínek, podívejme se, jak bude vypadat NPV v případě, že bychom počítali s daty naměřenými v laboratořích.

cena za kWh	produkce ročně[kWh]	nárůst výkonu [%]	investice	degradace	inflace
4,16 Kč	90000	3,39 %	- 26 320,00 Kč	0,80 %	4,00 %

Tabulka 9 Vstupní data pro laboratorní měření

Roky	produkce ročně[kWh]
0	93051,00
1	85606,92
2	78758,37
3	72457,70

Tabulka 10. Pokles výroby před očištěním v důsledku degradace

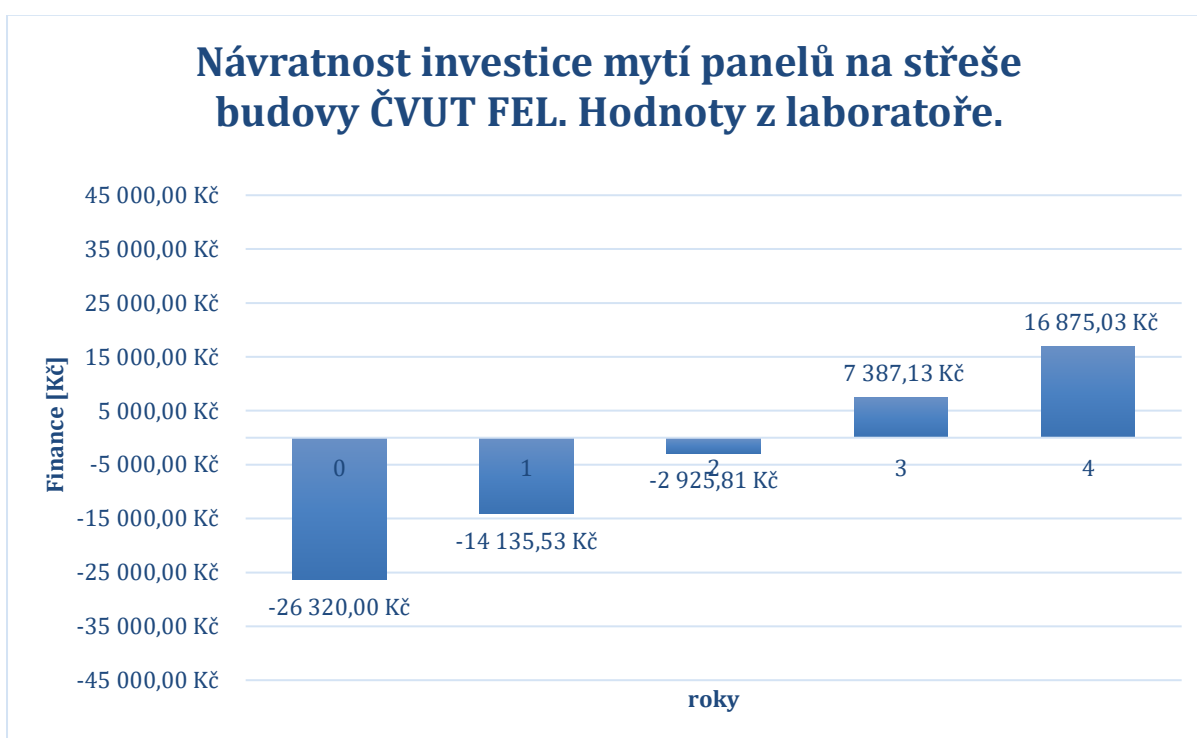
Roky	nárůst produkce[kWh]
1	3051,00
2	2806,92
3	2582,37
4	2375,78

Tabulka 11. Nárůst produkce v důsledku čištění.

Rok	0	1	2	3	4
	- 26 320,00 Kč	12 184,47 Kč	11 209,72 Kč	10 312,94 Kč	9 487,90 Kč

Tabulka 12. Cash flow pro NPV B

Můžeme tedy vidět, že **NPV = 0** dosáhneme až po 3 letech. (Obr. 35)



Obrázek 35. Návratnost investice mytí panelů, 6 let.

$$NPV = -26320 + \frac{12\,184,47}{(1+0,006)^1} + \frac{11\,209,72}{(1+0,006)^2} + \frac{10\,312,94}{(1+0,006)^3} + \frac{9\,487,90}{(1+0,006)^4} = 16\,417,6$$

$$NPV_B = 16\,417,6 \text{ Kč}$$

Můžeme tedy vidět, že k návratnosti, kde $NPV = 0$ dochází o rok později po 3 letech. NPV je téměř 4x menší, a tedy i méně výhodný.

Závěrečné zhodnocení práce

Návratnost dané investice činila dle výpočtu **2 roky** pro data změřena na venkovní elektrárně a **3 roky** pro data z laboratoře pro moduly měřené za přesných laboratorních podmínek. Daná bakalářská práce vyhodnotila danou investiční akci jako poměrně atraktivní, jelikož v obou případech vychází kladné NPV za poměrně krátkou dobu. $NPV_A = 61\,304,59\text{ Kč}$ pro venkovní měření a $NPV_B = 16\,417,6\text{ Kč}$ pro měření v laboratoři. Jak již bylo zmíněno na začátku práce, nejedná se o vzor, dle kterého by se daly vyhodnotit všechny fotovoltaické elektrárny po celém světě, ale pouze ukázkou nástrojů, které by měl být použit jako ukáзка zkoumání výkonu FVE.

Zvýšení výkonu dat venkovní elektrárny vyšlo **6,99 %**. Pro měření v laboratoři data vykazovaly nárůst o **3,39 %** oproti původnímu výkonu.

Literatura

<https://docplayer.cz/17838036-Fotovoltaicke-clanky.html>

Fotovoltaické články. Prof. Ing. Vitězslav Benda, CSc

<https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/97051/F3-BP-2021-Olejko-Filip-LSK.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Tenkové vrstvy pro zlepšení zachytu světla solárních článků. Filip Olejko

https://moodle.fel.cvut.cz/pluginfile.php/393260/mod_resource/content/0/B1B%203d.pdf

Fotovoltaické články. Prof. Ing. Vitězslav Benda, CSc

https://moodle.fel.cvut.cz/pluginfile.php/384609/mod_resource/content/0/B1B%204c.pdf

Fotovoltaické články. Prof. Ing. Vitězslav Benda, CSc Konstrukce a technologie

https://moodle.fel.cvut.cz/pluginfile.php/393260/mod_resource/content/0/B1B%203d.pdf

Fotovoltaické články. Prof. Ing. Vitězslav Benda, CSc Fotovoltaický jev

Zdroje

https://cs.wikipedia.org/wiki/Fotovoltaiický_článek

<https://wiki.mypower.cz/slovník:fotovoltaiicky-panel>

<https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm#:~:text=Jeho%20základem%20je%20tenká%20křemíková,mřížky%20začnou%20uvolňovat%20záporné%20elektrony.>

[https://scada.mervis.info/#/projects?view=project&project=f446bd01-e533-4cd2-ae6e-6d9870aa55cb&projectView=graph&graphType=Line&graphView=graph&graphRange=fromTo&graphDatapoints=5f79e4ee-0e01-467a-803c-c167d6d0d7a5,948dab43-85ef-4ce1-966e-67efff389b1c,33036e60-b823-4f3d-aed8-ca7d17f549f5,972e9aba-b49f-4cc5-95d4-fba63019d87b,59fac918-f394-436c-b5b7-e9d9f555b950,5b4cc3d1-f495-4e38-b771-bb385b748114&activeChart=selected-dp&graphOscillo=false&multipleAxis=false&graphBarNorm=false&intervalFrom=Wed%20Oct%2013%202021%2000:00:00%20GMT%2B0200%20\(Středoevropský%20letní%20čas\)&intervalTo=Sun%20Jan%2001%202023%2023:59:59%20GMT%2B0100%20\(Středoevropský%20standardní%20čas\)](https://scada.mervis.info/#/projects?view=project&project=f446bd01-e533-4cd2-ae6e-6d9870aa55cb&projectView=graph&graphType=Line&graphView=graph&graphRange=fromTo&graphDatapoints=5f79e4ee-0e01-467a-803c-c167d6d0d7a5,948dab43-85ef-4ce1-966e-67efff389b1c,33036e60-b823-4f3d-aed8-ca7d17f549f5,972e9aba-b49f-4cc5-95d4-fba63019d87b,59fac918-f394-436c-b5b7-e9d9f555b950,5b4cc3d1-f495-4e38-b771-bb385b748114&activeChart=selected-dp&graphOscillo=false&multipleAxis=false&graphBarNorm=false&intervalFrom=Wed%20Oct%2013%202021%2000:00:00%20GMT%2B0200%20(Středoevropský%20letní%20čas)&intervalTo=Sun%20Jan%2001%202023%2023:59:59%20GMT%2B0100%20(Středoevropský%20standardní%20čas))

<https://scada.mervis.info/#/projects?view=project&project=f446bd01-e533-4cd2-ae6e-6d9870aa55cb&projectView=table>

<https://www.cne.cz/solarni-ohrev-vody/uvod-do-termicky-systemu/>

<https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm>

<https://www.mfcr.cz/cs/rozpocetova-politika/makroekonomika/makroekonomicka-predikce/2023/makroekonomicka-predikce-listopad-2023-53576>

<https://www.energie123.cz/elektrina/ceny-elektricke-energie/cena-1-kwh/>

<https://www.mfcr.cz/cs/rozpocetova-politika/makroekonomika/makroekonomicka-predikce/2023/makroekonomicka-predikce-listopad-2023-53576>

https://moodle.fel.cvut.cz/pluginfile.php/243217/mod_resource/content/1/Kritéria%20ekonomické%20efektivnosti.pdf

Soupiska komponent

Typ komponentu	Značení
Fotovoltaický modul 1	32011512020406415B
Fotovoltaický modul 2	20100807013
Fotovoltaický modul 3	20100807121
Střídač 1	A1.1 - 2x16
Střídač 2	A1. 2 - 2x16
Střídač 3	A1. 3 - 2x15
Střídač 4	D1. 4 - 1x18
Střídač 5	D1. 5 - 1x18
Střídač 6	D1.6 1x17
Střídač 7	A2. 7 - 2x18
Střídač 8	A2. 8 - 2x18
Střídač 9	A2. 9 - 18+17x1
Střídač 10	A3. 10 - 2x15
Střídač 11	A3. 11 - 2x14
Střídač 12	A3. 12- 2x14
Střídač 13	D3. 13 - 1x18
Střídač 14	D3. 14 - 1x18
Střídač 15	D3. 15 - 1x17
Střídač 16	VVN Střídač 2 - 2x13

Tabulka 13. Soupiska komponent

Seznam tabulek

Tabulka 1. Tabulka MPP modulů.....	20
Tabulka 2. Rozdíl výkonu jednotlivých řad modulů	26
Tabulka 3. Střední hodnota rozdílu výkonu jednotlivých řad modulů.....	26
Tabulka 4. Vstupní data, venkovní měření	32
Tabulka 5. Pokles výroby před očištěním v důsledku degradace	32
Tabulka 6. Pokles výroby po očištění v důsledku degradace	33
Tabulka 7. Nárůst produkce v důsledku čištění	33
Tabulka 8. Cash flow pro NPV A.....	33
Tabulka 10 Vstupní data pro laboratorní měření	34
Tabulka 11. Pokles výroby před očištěním v důsledku degradace	34
Tabulka 12. Nárůst produkce v důsledku čištění.	35
Tabulka 13. Cash flow pro NPV B.....	35
Tabulka 14. Soupiska komponent.....	39

Seznam obrázků

Obrázek 1. Přehled základních struktur fotovoltaického článku: a) BSF struktura, b) struktura PERC z roku 1988 dle , c) současná struktura PERC.....	10
Obrázek 2. Ukázka fotovoltaického článku	11
Obrázek 3. Účinnost různých fotovoltaických článků	12
Obrázek 4. Ukázka velmi zašpiněných panelů. Severní Čechy, Ústí nad Labem.....	13
Obrázek 5. Fotodokumentace čištění fotovoltaických panelů.....	14
Obrázek 6. Špinavost panelu před čištěním.....	14
Obrázek 7. Elektroluminiscence panelu 20100807013 před umytím.....	17
Obrázek 8. Elektroluminiscence panelu 20100807013 po umytí demineralizovanou vodou. Větší osvit pozorujeme třeba u článku 3. řádek a 6. sloupec.	17
Obrázek 9. Elektroluminiscence panelu 20100807121 před umytím.....	17
Obrázek 10. Elektroluminiscence panelu 20100807121 po umytí čistou vodou. Větší osvit pozorujeme třeba u článku 1. řádek a 5. sloupec.	18
Obrázek 11. Elektroluminiscence panelu 32011512020406415B před umytím.	18
Obrázek 12. Elektroluminiscence panelu 32011512020406415B po umytí Duoclean vodou s vodou obyčejnou v poměru 1:20	18
Obrázek 13. Elektroluminiscence panelu 20100807323 před umytím.....	19
Obrázek 14. Elektroluminiscence panelu 20100807323 po umytí Duoclean vodou s vodou obyčejnou v poměru 1:10.....	19
Obrázek 15. Voltampérová charakteristika před umytím modulu číslo 20100807013	21
Obrázek 16. Voltampérová charakteristika po umytí modulu číslo 20100807013.....	21
Obrázek 17. Voltampérová charakteristika před umytím modulu číslo 32011512020406415B.....	22
Obrázek 18. Voltampérová charakteristika po umytí modulu číslo 32011512020406415B.	22
Obrázek 19. Voltampérová charakteristika před umytím modulu číslo 20100807121.....	23
Obrázek 20. Voltampérová charakteristika po umytí modulu číslo 20100807121.	23
Obrázek 21 Voltampérová charakteristika před umytím modulu číslo 20100807323.	24
Obrázek 22. Graf rozdílu poměrů intenzity záření a výkonů střídače A1.1- 2x16ks v letech 2022 a 2023	24
Obrázek 23 Voltampérová charakteristika po umytí modulu číslo 20100807323.	24
Obrázek 24 Rozdíl poměrů intenzity záření a výkonů střídače A1.1- 2x16ks v letech 2022 a 2023	25
Obrázek 25 Intenzita záření v letech 2022 a 2023. Umyté panely	27
Obrázek 26 Výkon střídače A1.1- 2x16ks v letech 2022 a 2023. Umyté panely	27
Obrázek 27 Nárůst výkonu umytých modulů.	28
Obrázek 28 Pokles intenzity umytých modulů.....	28
Obrázek 29 Intenzita záření v letech 2022 a 2023. Nemyté panely.	28
Obrázek 30 Pokles intenzity nemytých modulů.....	28
Obrázek 31 Obrázek 26 Výkon střídače A1.1- 2x16ks v letech 2022 a 2023. Nemyté panely	29
Obrázek 32 Pokles výkonů modulů umytých.	29
Obrázek 33 Rozdíl poměrů intenzity záření a výkonů střídače VVN Střídač 2 - 2x13 v letech 2022 a 2023. Nemyté panely	30
Obrázek 34. Návratnost investice mytí panelů, 2 roky.....	33
Obrázek 35. Návratnost investice mytí panelů, 6 let.....	35