

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
Fakulta elektrotechnická  
Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

Bakalářská práce

# Zhodnocení výkonnosti fotovoltaického pole - vliv odstranění prachu



Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Elektrotechnika a management

Vedoucí práce: RNDr. Branislav Dzurňák, Ph. D

květen 2024

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: **24.05.2024**

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 poděkoval svému 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 takové spolupráce se domnívám, že bych dané měření nikdy s takovým úspěchem neprovedl.“*

*„Také bych rád poděkoval svému ekonomickému poradci. Danou osobou je Ing. Josef Černošous. Poděkovat bych chtěl za jeho, ačkoliv ne tak rozsáhlé, nicméně velice trefné rady, které zásadně ovlivnily celkový výsledek bakalářské práce.“*

## **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 a cena nákupní elektřiny dané elektrárny. V průběhu zpracování bakalářské práce byla daná elektrárna očištěna od prachu a nečistot, a to poprvé za posledních 10 let. Cílem práce bylo vyhodnotit nárůst výkonu po očištění modulu elektrárny a finančního přínosu daného výdaje.

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 and electricity sales price data. 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 expense.

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

# Obsah

Úvod.....	8
Kapitola 1: Princip fungování fotovoltaického panelu .....	9
1.1 Princip fungování fotovoltaického článku .....	10
Kapitola 2: Výkon a produkce fotovoltaického článku. ....	12
2.1 Výkonové charakteristiky článků a panelů .....	12
2.2 Plošný výkon slunečního záření.....	12
2.3 Dělení slunečního záření .....	14
2.4 Volt ampérové charakteristiky fotovoltaického článku.....	14
2.5 Předpoklad rozložení produkovaného výkonu v roce .....	15
Kapitola 3: Problematika prachu a nečistot u fotovoltaických panelů.....	17
3.1 Závislost sklonu na znečištění FVE.....	18
Kapitola 4: Degradace fotovoltaických článků .....	19
Kapitola 5: praktická část, cíl bakalářské práce .....	20
Kapitola 6: Praktická část, popis prováděných úkonů.....	21
6.1 Popis plánu praktické části.....	21
6.2 Popis použitých čisticích prostředků a pomocné firmy pro očištění .....	22
6.3 Přístrojové vybavení laboratoře pro měření .....	22
6.4 Měření výsledků vybraných jednotlivých panelů .....	25
Kapitola 7: Výsledky měření.....	26
7.1 Měření modulu v laboratoři, měření za laboratorních podmínek.....	26
7.2 Měření modulů, měření za běžných venkovních podmínek.....	27
7.3 Výpočet a analýza degradace .....	29
7.4 Rozložení výkonů změřených modulů v roce .....	30
7.5 Výpočet a analýza navýšení výkonu .....	31
Kapitola 8: Finanční posudek a analýza trhu.....	34
8.1 Vývoj výroby elektrické energie v České republice .....	34
8.2 Fotovoltaické elektrárny v České republice.....	35
8.3 Teoretické předpoklady .....	36
8.4 Vstupní data pro finanční ohodnocení .....	37
8.5 NPV projektů .....	38
8.6 Stanovení výše diskontu.....	38
8.7 Finanční zhodnocení .....	38
Zhodnocení bakalářské práce .....	46
Literatura .....	48
Soupiska komponent .....	50
Seznam tabulek.....	51
Seznam obrázků .....	52

## 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.

Od počátku provozu prvních solárně poháněných satelitů Vanguard-1 a Sputnik-3, které byly vypuštěny na jaře roku 1958, se solární články staly hlavním zdrojem energie na vesmírných lodích. První sluneční pole ve vesmíru byla založena na monokrystalických křemíkových solárních článcích s účinností přibližně 10 % [1].

Celkově bylo dosaženo značného pokroku v technologiích výroby solárních článků, zejména v oblasti článků pro vesmírné aplikace. Tento pokrok umožnil vytvoření solárních článků s vyšší účinností a odolností vůči radiaci, což má klíčový význam pro funkci vesmírných misí.

Efektivita přeměny dané energie neboli účinnost článku závisí na velmi 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 prašnost ovzduší. Jelikož prašnost nebyla k dispozici měření a ani nebylo možné zajistit její regulaci, pracovali jsme s čistotou modulu. V spolupráci s energocentrem ČVUT FEL a společností VEIDEC s.r.o. tedy bylo provedeno očištění elektrárny.

Dané očištění však není levné, a tak je diskutabilní, zda by byla v České republice vůbec efektivní. Zapotřebí bylo porovnat rozdíl mezi zvýšením výroby společně s ušetřenými penězi za elektřinu a vynaložený výdaj na čištění panelů.

Je velice podstatné dopředu stanovit, 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, prašnost a sklon panelů. Bakalářská práce především slouží jako ukázkový nástroj k tomu, jak správně danou záležitost řešit a vyhodnocovat.



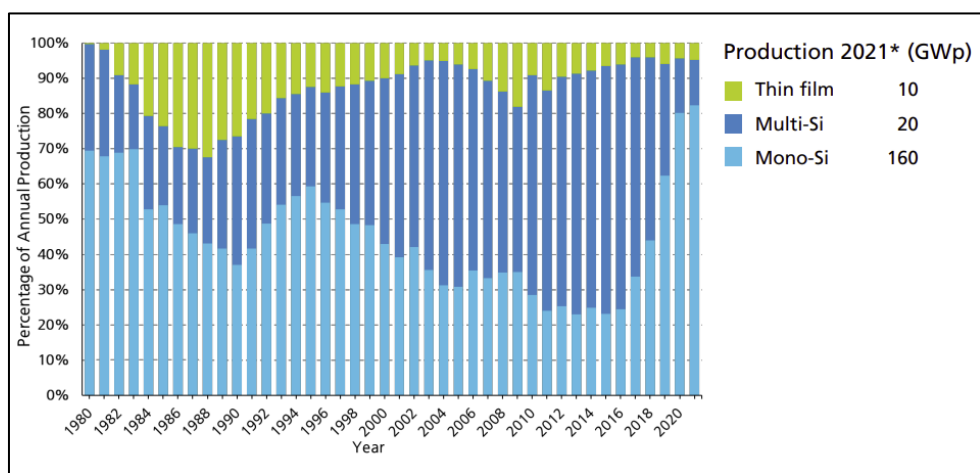
## Kapitola 1: Princip fungování fotovoltaického panelu

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

Důležité je zmínit, že v dané bakalářské práci se nebude jednat o termické solární kolektory, které slouží pouze k ohřevu užitkové vody. Základním principem takových kolektorů je průchod slunečních paprsků skleněným krytem kolektoru a pohlcování do absorbéru, který se nachází uvnitř kolektoru. V absorbéru 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 absorbéru do jedné trubice vedoucí do výměníku, ve kterém se teplá voda uchovává pro další využití.

Panely fotovoltaické mají naopak mnohem širší spektrum využití (Obr.1). 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 substrátů a mají charakteristické zkosené rohy. Vyznačují se dobrou odolností proti mechanickému poškození a extrémním teplotám, kromě toho jsou vysoce účinné. Účinnosti monokrystalických článků se pohybují okolo **21 %**, polykrystalických pak **19 %** [2] 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 vůči vysokým teplotám. Nicméně jsou oblíbené, protože jsou levnější než monokrystalické moduly [3].

Krystalický křemík tvoří **95 %** produkce všech fotovoltaických panelů [2]. Zbylé 5% produkce se týkají fotovoltaické technologie tenkých vrstev, které se skládají z polovodičových materiálů, jako je amorfní křemík, teluridu kademnatého nebo selenidu mědi, india a galia.[3]



Obrázek 1 Poměr produkce různých typu článků ve světě roků 2021[2].

## 1.1 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  $E = \frac{hc}{\lambda}$ . Jestliže na povrch materiálu dopadá tok fotonů  $\phi_{IN}(\lambda)$ , část se odrazí  $R(\lambda)$  a část  $\phi_0(\lambda)$ , pronikne do materiálu. Fotony, které pronikly do materiálu, interagují s částicemi materiálu. Při průchodu světla materiálem intenzita klesá se vzdáleností od povrchu [4].

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

Rovnice 1 – vztah pro výpočet dopadajícího množství fotonů

$R(\lambda)$  – odrazivost povrchu

$\phi_0(\lambda)$  – absorbované množství fotonů

$\lambda(m)$  – vlnová délka

$c(ms^{-1})$  – rychlost světla

$E(J)$  – energie

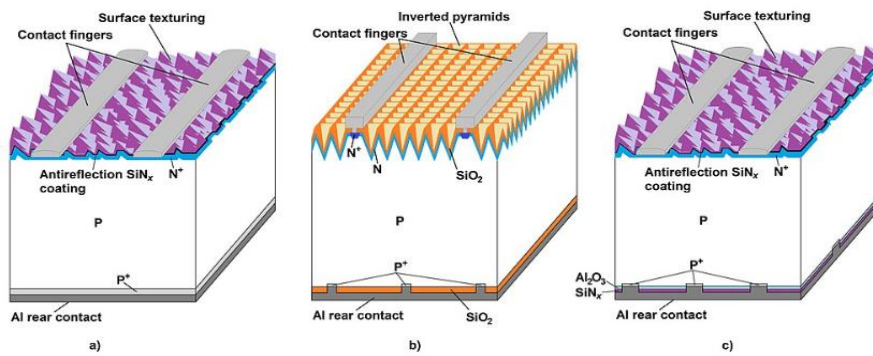
$\phi_{IN}(\lambda)$  – dopadající množství fotonu

Při nižších teplotách jsou elektrony v materiálu v nižším energetickém stavu, což znamená, že když absorbují energii z fotonů, dosáhnou vyššího energetického stavu efektivněji. To vede k vyšší generaci elektrického proudu. Naopak při vyšších teplotách mají elektrony již vyšší počáteční energii, takže dodatečná energie z fotonů nemá tak výrazný efekt na jejich celkovou energii, což vede k nižší účinnosti solárních panelů v teplejších podmínkách. Když jsou slunečním zářením aktivovány, je nárůst jejich energie vyšší. Proto je účinnost panelů vyšší v zimě (přibližně o **0,4 %** na každý °C [4]) než v létě.

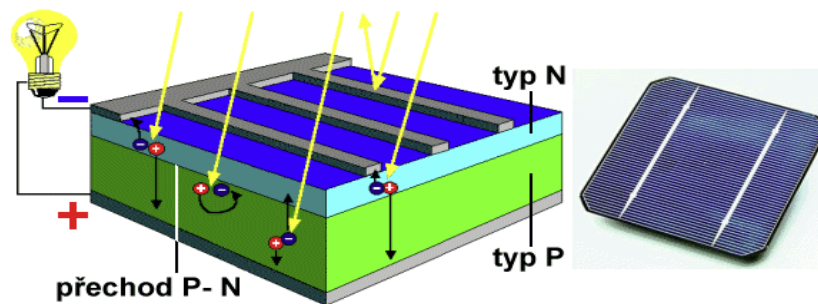
Pro určení účinností fotovoltaického modulu existuje několik důležitých parametrů. Dané parametry jsou:  $U_{oc}$  napětí naprázdno,  $I_{sc}$  – proud nakrátko,  $U_{MPP}$  – napětí při jmenovitém výkonu panelů,  $I_{MPP}$  – proud při jmenovitém výkonu,  $P_{MPP}$  – samotný jmenovitý výkon jako násobek. Dané veličiny budou později rozebrány v Kapitole číslo 2.

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 (Obr.3). 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** [5]. 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 (Obr. 2), 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 pasivního materiálu na zadní stranu solárního článku. Tato pasivační vrstva pomáhá omezit rekombinaci elektronů a děr, což následně snižuje energetické ztráty a zvyšuje účinnost článku.



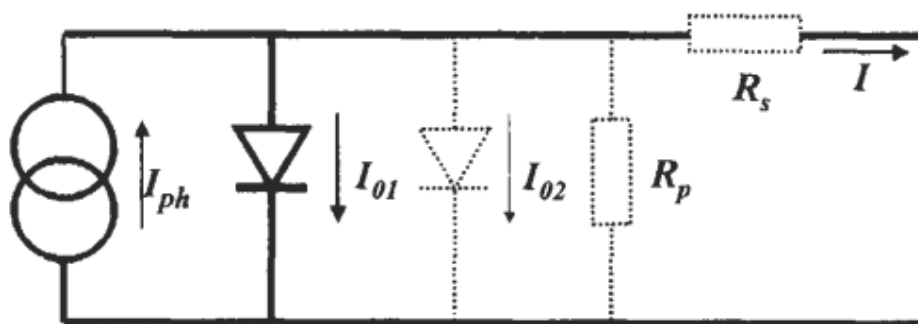
Obrázek 2 Přehled základních struktur fotovoltaického článku: a) BSF struktura, b) struktura PERC z roku 1988 dle, c) současná struktura PERC [6].



Obrázek 3 Ukázka fotovoltaického článku [5].

Pro představu fungování fotovoltaického článku můžeme článek nahradit jednoduchým schématem (Obr.4).

Zdroj proudu ( **$I_{ph}$** ): Reprezentuje generovaný proud způsobený dopadajícím světlem na solární článek. Tento zdroj proudu je typicky modelován paralelně s diodou. Dioda ( **$D$** ): Reprezentuje p-n přechod uvnitř solárního článku. Modeluje chování přeměny světelné energie na elektrickou energii. Diodová rovnice, často používaná k modelování tohoto prvku, zohledňuje vztah mezi napětím a proudem na diodě při osvětlení. Paralelní rezistor ( **$R_p$** ): Reprezentuje paralelní odbočení, kde část generovaného proudu obchází diodu a proudí přímo alternativní cestou. To je obvykle způsobeno defekty nebo nedokonalostmi v polovodičovém materiálu. Sériový rezistor ( **$R_s$** ): Reprezentuje interní odpor solárního článku, včetně odporu z kovových kontaktů, polovodičového materiálu a dalších prvků ve spojení s diodou. Způsobuje pokles napětí na solárním článku [1].



Obrázek 4 Náhradní schéma fotovoltaického článku [1].

## Kapitola 2: Výkon a produkce fotovoltaického článku.

### 2.1 Výkonové charakteristiky článků a panelů

Na štítku fotovoltaického panelu jsou obvykle uvedeny následující údaje:

$U_{MPP}$  – napětí při jmenovitém výkonu

$I_{MPP}$  – proud při jmenovitém maximálním výkonu.

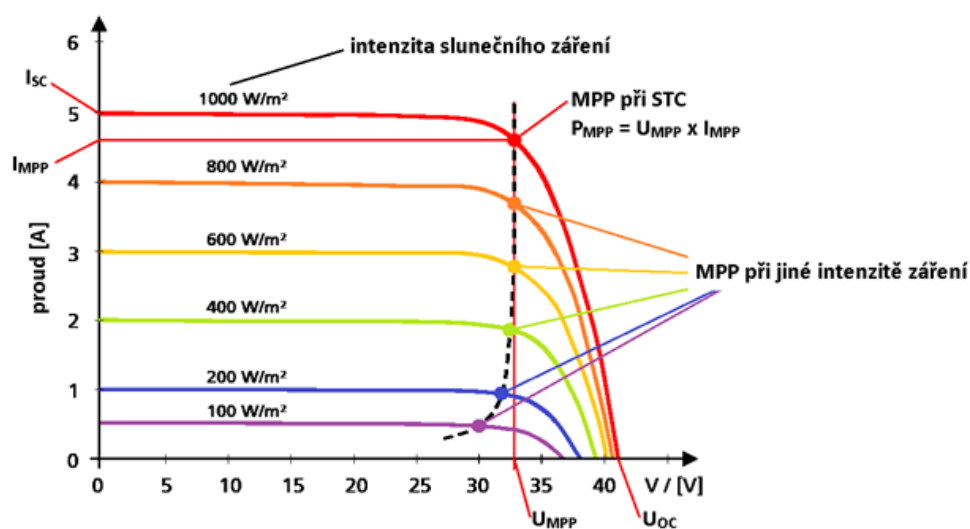
$P_{MPP}$  –  $U_{MPP} \times I_{MPP}$  jmenovitý maximální výkon panelu

$U_{oc}$  – 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. [7].

Dané údaje můžeme graficky sledovat na grafu volt ampérové charakteristiky (Obr. 5).



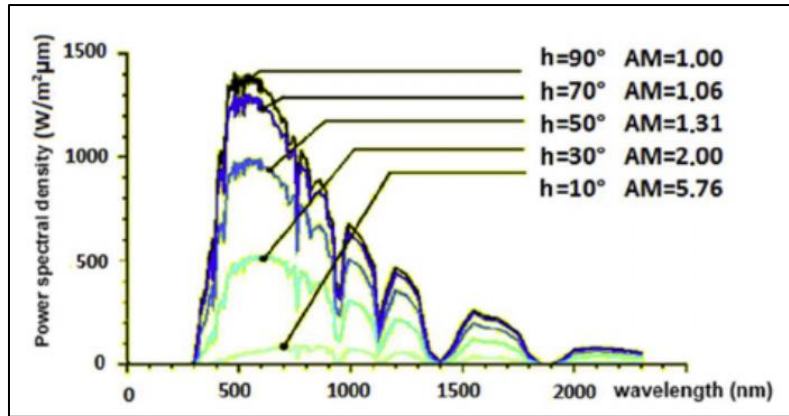
Obrázek 5 Volt ampérová charakteristika různých fotovoltaických článků [8].

### 2.2 Plošný výkon slunečního záření

Účinnost fotovoltaického článku se měří podílem výstupního elektrického výkonu z jednotkové plochy fotovoltaického článku a intenzity slunečního záření. **Sluneční záření** je výkon na jednotku plochy (hustota povrchového výkonu) přijatý ze Slunce ve formě elektromagnetického záření v rozsahu vlnových délek měřicího přístroje. Sluneční záření se měří ve wattech na metr čtvereční (**W/m<sup>2</sup>**) v jednotkách SI.

STC (standardní testovací podmínky) jsou definovány při teplotě **25 °C**, intenzitě slunečního záření **1000 W/m<sup>2</sup>**, a atmosférické masy **AM = 1,5** (Obr.6)[9]. Relativní poloha Slunce vůči pozorovateli se mění v čase, a proto se také mění efektivní množství atmosféry, skrz kterou prochází sluneční záření. Vliv této atmosférické hmoty je vyjádřen koeficientem AM.

Dle obrázku 6 můžeme vidět graf závislosti spektrální hustoty výkonu globálního záření, tj. jeho intenzitu pro vybrané váhy atmosférických koeficientů AM a úhel dopadajících paprsků ze Slunce na povrch Země  $h$ .



Obrázek 6 Sluneční záření v atmosféře dle různé atmosférické hmoty na území Slovenské republiky [9].

Činitel plnění neboli „fill factor“ (Obr.7) a účinnost článku jsou dané vztahy [4]:

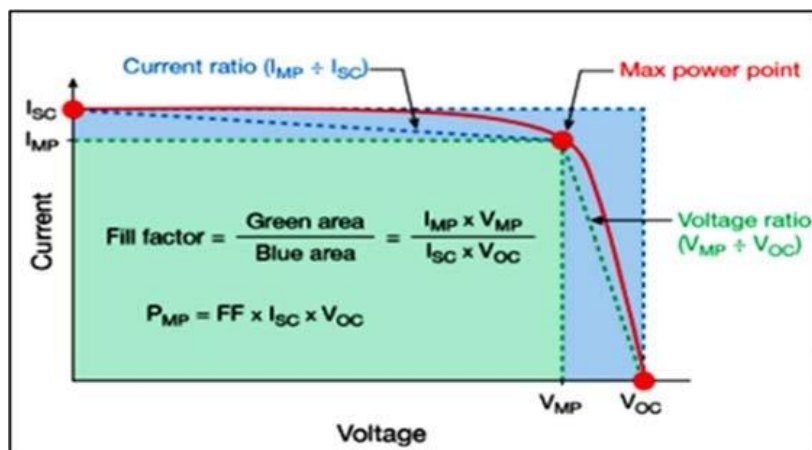
$$FF = \frac{U_{MPP} * I_{MPP}}{U_{oc} * I_{sc}}$$

Rovnice 2 – vztah pro výpočet fill faktorů článku

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

Rovnice 3 – vztah pro výpočet účinnosti článku

Typická účinnost kvalitních krystalických křemíkových článků je v současnosti **17,5–18,0 %** při STC [10]. Při intenzitě dopadajícího záření pod **200 W/m<sup>2</sup>** 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.



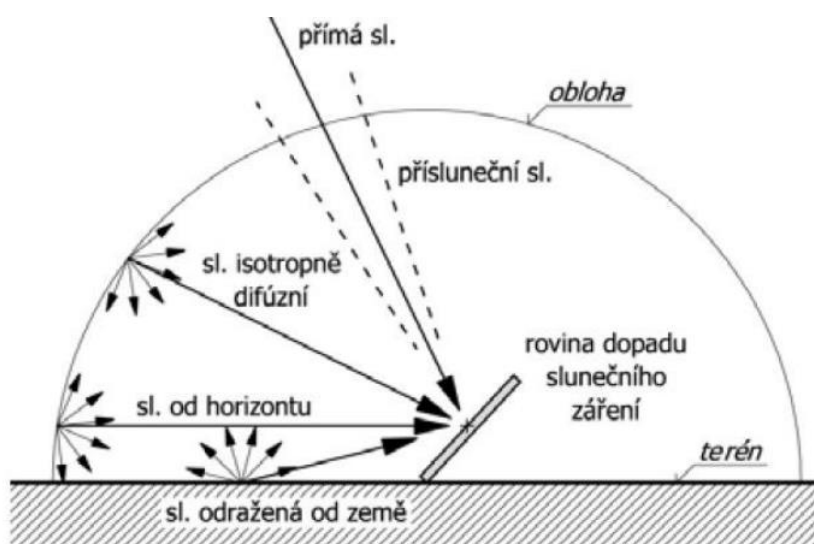
Obrázek 7. Grafické zobrazení fill faktorů v grafu volt ampérové charakteristiky [11].

### 2.3 Dělení slunečního záření

Celkové globální záření se skládá z několika složek [12]:

1. **Odražené záření (GR):** Odražené záření pochází od okolních předmětů, jako jsou budovy, pozemky, a další povrchy, které odrážejí sluneční světlo zpět do prostředí.
2. **Přímé záření (GB):** Přímé záření jsou paprsky světla, které neprošly žádným odrazem nebo rozptylem a přímo dopadají na povrch Země.
3. **Difúzní záření (GD):** Difúzní záření je záření, které přichází z celé oblohy, s různými směry a úhly, s minimálním rozlišením mezi přímým a odraženým světlem.

**Celkové záření (G)** je součtem přímého, difúzního a odraženého záření:  $G = GB + GD + GR$ . (Obr. 8)



Obrázek 8 Nákres dopadajícího záření na modul [12].

### 2.4 Volt ampérové charakteristiky fotovoltaického článku

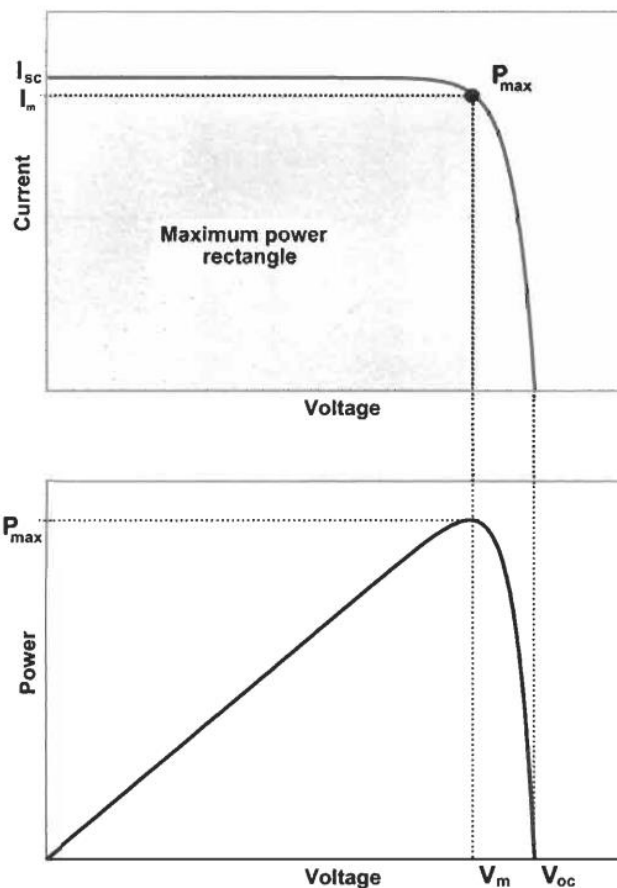
Voltampérové charakteristiky (V-A charakteristiky) fotovoltaického článku jsou grafická vyobrazení závislosti výstupního napětí a výstupního proudu na solárním článku při různých osvětleních a zatíženích. Tyto charakteristiky jsou klíčovým nástrojem pro analýzu a hodnocení výkonu solárních článků. Typický tvar V-A charakteristiky fotovoltaického článku je podobný křivce vypjatého oblouku [1]. (Obr.9). Při napětí na otevřeném obvodu (bez externí zátěže) se výstupní napětí solárního (open-circuit voltage) článku zvyšuje s osvětlením, zatímco výstupní proud také stoupá, ale s nižší rychlostí. Při uzavřeném obvodu (se zátěží) se výstupní napětí (short-circuit current) snižuje, zatímco výstupní proud roste. Zde je ukázka rovnice voltampérové charakteristiky při osvětlení[4]:

$$I = I_l - I_0 \left[ e^{\left( \frac{qU}{kT} - 1 \right)} \right]$$

Rovnice 4 – rovnice křivky volt ampérové charakteristiky fotovoltaického článku

Kde  $I$ [A] je celkový produkovaný proud článku,  $I_l$ [A] je proud vyvolaný osvětlením,  $I_0$ [A] je proud bez osvětlení,  $q$  [-] je náboj,  $U$ [V] je napětí,  $T$ [°C] je teplota a  $k$ [J\*s] je Planckova konstanta.

V-A charakteristiky poskytují informace o maximálním výkonu (Maximum Power Point, MPP), který je dosažen při optimálním nastavení zátěže, kde je produkce energie solárního článku nejúčinnější. Analyzováním těchto charakteristik můžeme posoudit výkonnost, účinnost a stabilitu fotovoltaických systémů.

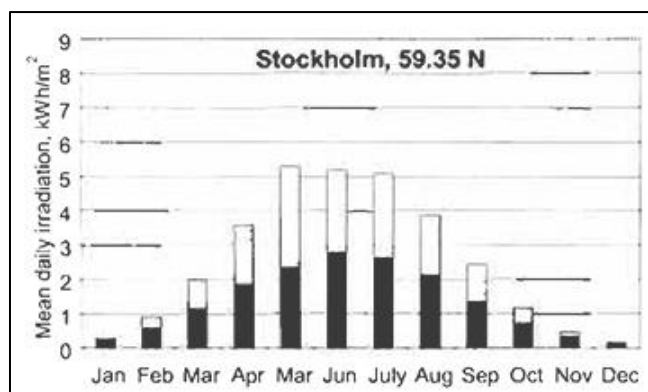


Obrázek 9 V-A charakteristika ideálního článku (nahore) a produkovaný výkon článku (vespod). Generovaný výkon je úměrný ploše obdélníku pod křivkou na obrázku horním.[1]

## 2.5 Předpoklad rozložení produkovaného výkonu v roce

Jedním z nejdůležitějších faktorů, které ovlivňují produkci elektřiny pomocí fotovoltaického panelů je počasí. V dříve zmíněných kapitolách jsme již poukázali na parametry jako je teplota, hustota slunečního záření a velikost srážek. Všechny dané parametry se liší v závislosti na ročním období, ve kterém se právě nacházíme. Kvůli větší hustotě světelného toku v letním období, můžeme předpokládat, že v období zimním bychom dosahovali výroby mnohem menší. Zde je ukázka předpokládaného rozložení produkce fotovoltaické elektrárny v roce. (Obr.10) [1]



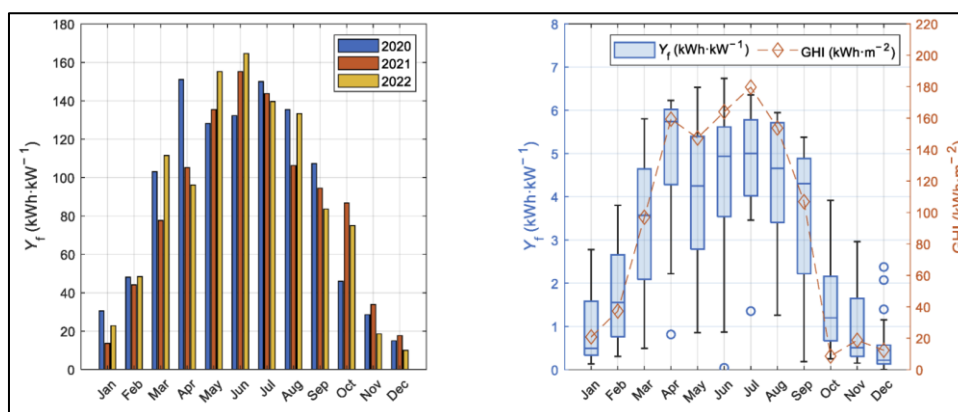


Obrázek 10. Teoretický předpoklad rozložení produkovaného výkonu v roce fotovoltaických článků. [1]

Abychom provedli podrobnější analýzu, použili jsme výsledky studie prováděné v období 2020–2022 v Polsku. Při měření výkonu v roce 2022 bylo dosažené následujících početních i grafických výsledků (Obr. 11) [13]. Dle následujících výsledků můžeme vidět několikanásobně větší produkci v období březen–září. Dané výsledky budou porovnány se změřenými daty v roce 2022 pro elektrárnu v práci zkoumanou.

	Předpoklad [kWh]
Leden	14
Únor	48
Březen	110
Duben	151
Květen	155
Červen	165
Červenec	150
Srpen	135
Září	82
Říjen	75
Listopad	19
Prosinec	10
SUMA	1113

Tabulka 1. Předpokládané rozložení produkovaného výkonu v roce v závislosti na období.



Obrázek 11. Rozložení produkovaného výkonu v roce fotovoltaických článků dle studie prováděné v letech 2020–2022 [13].



### Kapitola 3: Problematika prachu a nečistot u fotovoltaických panelů

Na globální úrovni je znečištění solárních fotovoltaických (FV) systémů prachem a sněhem a následná ztráta energetického výtěžku jedním z největších faktorů ovlivňujících výtěžek systému po záření. Zejména v suchých oblastech může znečištění výrazně ovlivnit velké fotovoltaické elektrárny, což vyžaduje snížení těchto účinků čištěním celých systémů a následně vede ke snížení příjmů kvůli vyšším provozním nebo kapitálovým výdajům (např. na investice do antiznečišťovacích povlaků nebo čistících robotů a jejich údržby).



*Obrázek 12 Ukázka velmi zašpiněných panelů. Severní Čechy, Ústí nad Labem (osobní zdroj).*

Co se prachu týče, jedná se o velmi podstatnou tematiku. Jelikož se životnost panelů pohybuje v řádu 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 prašnost (Obr.12). Co se znečištění týče, je zde velmi podstatný instalovaný úhel panelů, protože se od něj odvíjí, jak moc budou nečistoty na panelech přetrvávat. Jako další velmi podstatný faktor je roční počet srážek v oblasti instalace, neboť při strmém instalačním úhlu panelu je velmi dobrým přírodním čističem obyčejná dešťová voda. Prašnost ovzduší v důsledku nedostatku možnosti měření a regulace daného parametru byla opomenuta a nebyla zařazena do celkového výsledku měření. Dalším problémem není jen prach, ale i sníh, který však v této 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 a větší prašivostí bychom měli volit řešení strmějšího sklonu modulu. Snížíme tak množství prachu v rozích jednotlivých modulů, jak je tomu na obrázku číslo 12.

Co ale za zmínku rozhodně stojí, je zašpinění panelů daného měření. Nejedná se tak pouze o lehce čitelný prach deštěm, 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. Neefektivnější způsob řešení daného problému je čištění manuální a následné leštění panelu.

Ačkoliv sníh a prašnost 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, byla data vyhodnocena s ohledem na množství obdrženého světla, což nám umožňuje zkoumat jen a pouze efektivitu jednotlivých článků.

### 3.1 Závislost sklonu na znečištění FVE

Instalovaný úhel mezi fotovoltaickým modulem a povrchem bývá rozhodujícím faktorem při znečištění ve chvíli, když se díváme na daný faktor ve větším časovém měřítku. Daný úhel instalace panelů se optimalizuje hlavně kvůli zeměpisné šířce lokality. Je tedy nutno brát ohled na polohu slunce, která závisí na zeměpisné šířce.

Pro instalace na území České republiky nad **15°** je dle odborníků znečištění méně podstatné, než je tomu u opačného případu instalací [14]. Při velkém sklonu je značná část zašpinění očištěná v důsledku srážek. Čištění modulu od prachu a znečištění je tedy mnohem účinnější v zemích, kde se vyskytuje během roku menší počet srážek.

V roce 2023 byla v Pákistánu provedená studie Budovy s integrovaným solárním fotovoltaickým zařízením pro čištění povrchu pro optimalizaci elektrického výkonu fotovoltaických modulů ve znečištěné atmosféře [15].

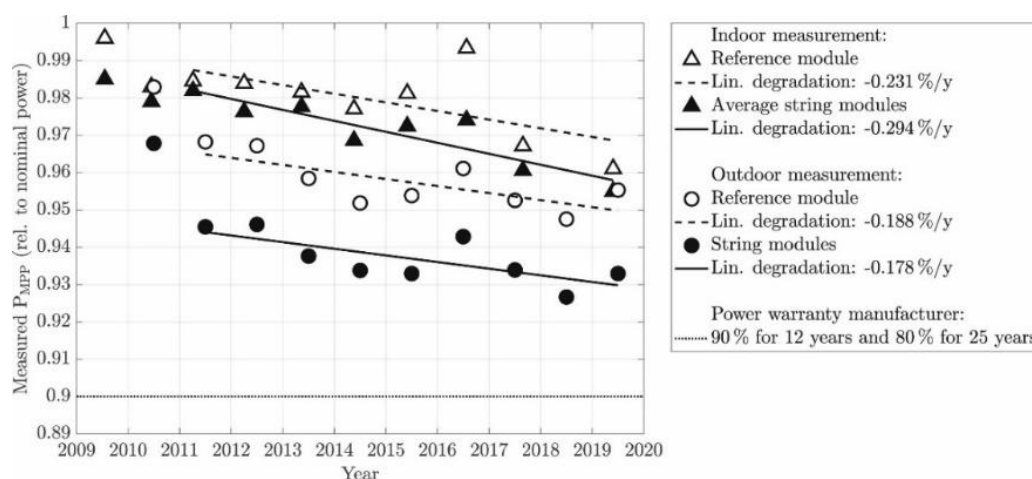
Experimenty byly prováděny v klimatických podmínkách pákistánského Islámábádu s použitím poli-PV modulů. Výsledky ukázaly, že ztráty znečištěním při úhlech náklonu **23°, 33° a 43°** byly **16,20 %**, **14,12 %** a **11,64 %**. Nově navrhovaný čistící systém, který byl použit, využíval trysky s plochým ventilátorem k rozstříkávání vody a obnovený výkon po dvaceti dnech účinného čištění byl **12,07 %**, **11,40 %** a **9,92 %**.

Během procesu čištění bylo k vyčištění plochy **1,48 m<sup>2</sup>** solárního FV modulu potřeba v průměru **7,325 l** vody. Tento postup čištění má navíc chladičí účinek na FV moduly, což vede ke snížení teploty předního povrchu o **0,82 °C**, **0,52 °C** a **0,45 °C** při úhlech náklonu **23°, 33°** respektive **43°**. Teplota zadního povrchu byla také snížena o **1,2 °C**, **0,74 °C** a **0,3 °C** při odpovídajících úhlech náklonu. Kromě toho finanční hodnocení navrhovaného automatického čistícího systému ukazuje jeho proveditelnost pro domácí i komerční FV systémy. Na dané studii tedy můžeme vidět, že při největším úhlu bylo dosaženo nejmenších výsledků očištění. Nejvíce přínosné bylo očištění pro sklon **23°**.

## Kapitola 4: Degradace fotovoltaických článků

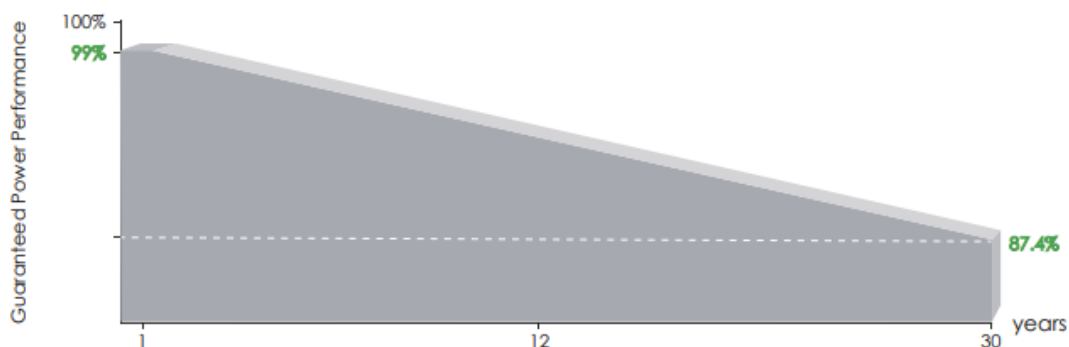
Míra degradace fotovoltaických (FV) modulů závisí na technologii, výrobci a environmentálních podmínkách. To ztěžuje přenos výsledků analýzy degradace z jedné země do druhé. Celosvětově bylo provedeno několik studií zabývajících se analýzou degradace fotovoltaických modulů vystavených běžnému poli podmínek. Studie ukazují, že fotovoltaické moduly prokazují rychlou míru degradace **1 % – 3 %** během prvního roku expozice v poli a následně vykazují pomalejší lineární míru degradace **0,5 – 1,0 %/rok** [16]. Střední hodnota degradace je uvedena dle studií jako **1,23 %** výkonu ročně.

Na obrázku č.13 můžeme vidět graficky znázorněnou předpokládanou degradaci výkonu starších modulů uváděnou v odborné literatuře [1].



Obrázek 13 Předpokládaná degradace výkonu fotovoltaických článků [1].

Za posledních 20 let však fotovoltaika značně pokročila z hlediska vývoje a zlepšení vlastností. Níže je graficky vyobrazena degradace aktuálních modulů. Můžeme zde vidět výrazný posun k lepšímu (Obr. 14) [17].



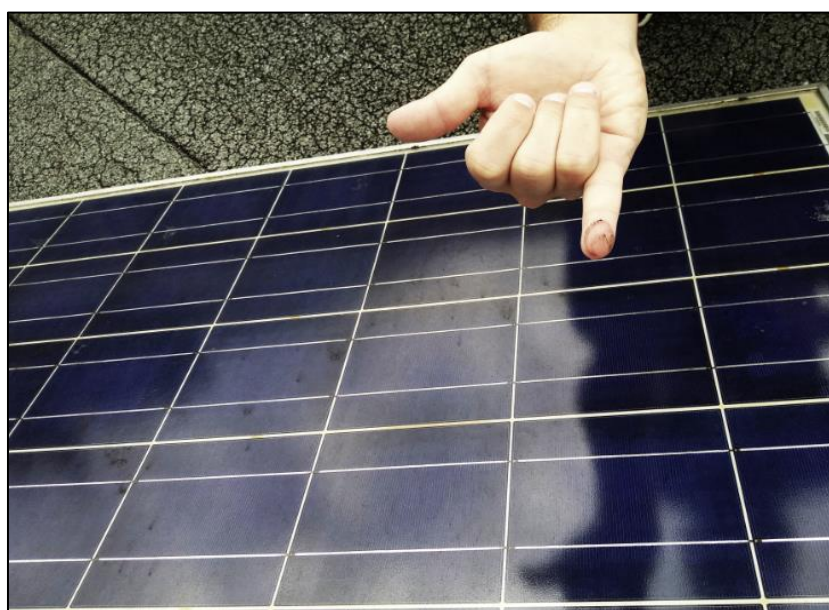
Obrázek 14 Degradace výkonu modulu Tiger Neo N-type [17].

## Kapitola 5: praktická část, cíl bakalářské práce

Cílem daného bakalářského projektu a následující bakalářské práce je vyhodnotit výdaj vynaložený na očištění **412 ks** fotovoltaických modulů o instalovaném výkonu **90,64 kWp** a sklonem panelů **25°**. Jedná se o moduly „LDK SOLAR POLYCRYSTALLINE MODULE 240P WATT“. Je důležité zmínit, že testované panely byly instalovány před 12 lety v roce 2012. Také je velice podstatné zmínit, že čištění probíhalo v termínech **od 5.10.2022 do 6.10.2022**. Jak bude v následujících kapitolách zmíněné, tak výkon produkovaný v zimní sezoně je několikanásobně menší, takže očekáváme menší nárůst v % výkonu, než by tomu bylo, kdybychom moduly očišťovali na jaře. Největšího účinku bychom dosáhli v případě, kdyby očištění proběhlo po jarních pylech před letní sezónou. Fotodokumentace ze dne čištění níže. (Obr. 15, Obr.16).



*Obrázek 15 Fotodokumentace čištění fotovoltaických panelů (osobní zdroj).*



*Obrázek 16 Špinavost panelu před čištěním (osobní zdroj).*

## Kapitola 6: Praktická část, popis prováděných úkonů

### 6.1 Popis plánu praktické části

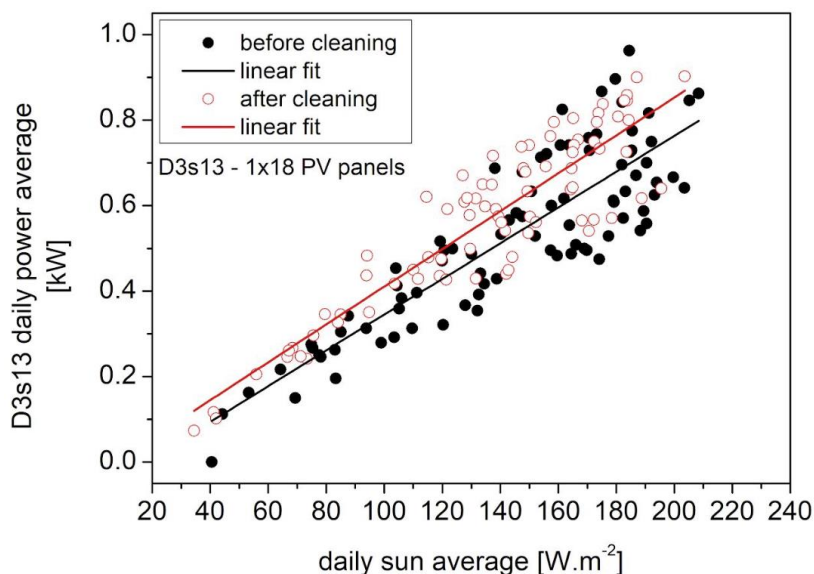
V průběhů měření byly zjištěny značné chyby v zaznamenávacích programech, proto byly z analyzovaného spektra vypuštěny některé skupiny modulů. Jedná se přesně o moduly pod střídači **D1.6, D1.5 a A2.7**. V důsledku dané situace jsme tedy zkoumali celkově 322 modulů o instalovaném výkonu **77,28 kWp**. Níže jsou technické parametry, které byly obdrženy z datasheetu [18]:

Hodnoty výkonu po 12 letech – záruka [%]	90
Hodnoty výkonu po 25 letech – záruka [%]	80
Rozměry modulu [mm.]	1642/994/40
Instalovaný výkon modulu [kWp]	240

Tabulka 2. Datasheet modulu zkoumané elektrárny.

Pro detailnější porovnání byly odmontovány 4 panely LDK SOLAR (Obr. 15). Poté byly změřeny jejich parametry **elektroluminiscence** a **V-A charakteristiky**. Poté byly dané tři moduly umyté. Na závěr se měření opakovalo. Moduly jsou označeny jako 20100807323, 32011512020406415 B, 20100807013 a 20100807121.

Následně v termínech **5.10.2022 až 6.10.2022** byly očištěny všechny moduly na střeše ČVUT Dejvice. Poté byly odečtena data v časovém intervalu od 21.01.2012 po současnost. Byla provedená analýza výkonu před čištěním v roce 2022 a po čištění v roce 2023. Nejdříve byla vyzkoušena metoda měření 3 měsíců před – po ve věci výkonů a hustoty slunečního záření bodově (Obr. 17). To znamená, že v jednotlivých dnech byl po 5 minutách změřen výkon a intenzita záření. Obě veličiny byly vyjádřeny v poměru a ve výsledku vyjádřily grafické znázornění (viz obr. 17).



Obrázek 17 Závislost průměrného denního výkonu na průměrné hustotě osvětlení pro střídač D3s13 (osobní zdroj)



V důsledků měření se zde objevily značné nejistoty, a tak se přistoupilo na vyhodnocení pomocí metody jiné. Provedená analýza měsíců pomocí následující metody porovnávala data v jednotlivých letech, abychom brali v potaz možnou odchylku vzniklou vlivem teploty. Také na rozdíl od předchozí metody jsme se nedívali na jednotlivé body výkonu a hustoty záření, ale na celkovou sumární hodnotu celkového produkovaného výkonu, který jsme vyjádřili v poměru k hustotě slunečního záření. Hustota záření byla měřena po 5 minutách v jednotlivých letech stejně jako metoda první. Jediný rozdíl tedy byl, že místo jednotlivých poměrně rozptýlených bodů jsme měli vyjádření jedné konstanty, která nám určovala poměr mezi celkovou vyrobenou energií a celkovou hustotou slunečního záření v jednotlivých letech.

## 6.2 Popis použitých čisticích prostředků a pomocné firmy pro očištění

Čištění provedla společnost **VEIDEC, 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 na eko toxicitu pro využití v agrovoltaice [19].

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

## 6.3 Přístrojové vybavení laboratoře pro měření

Měření proběhlo v akreditované laboratoři ČVUT FEL. Laboratoře katedry jsou vybaveny přístrojovým vybavením pro měření fotovoltaických článků i celých fotovoltaických modulů. Pracoviště jsou průběžně inovována a doplňována o nová zařízení.

### PASAN Sun Simulator 3c

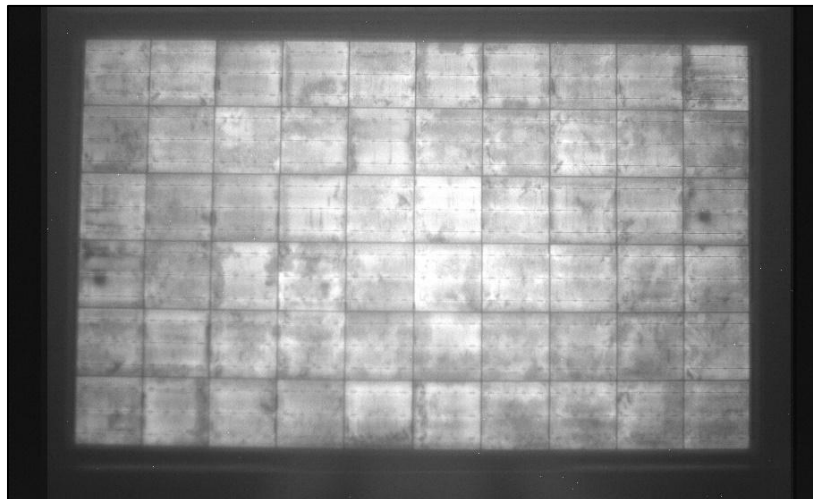
je zařízení sloužící k měření volt-ampérových charakteristik fotovoltaických modulů. Pro běžná měření se používají tzv. standardní testovací podmínky (STC):

Základní údaje:	
teplota článků [°C]	25
spektrum AM [-]	1.5
intenzita záření [W/m <sup>2</sup> .]	1000

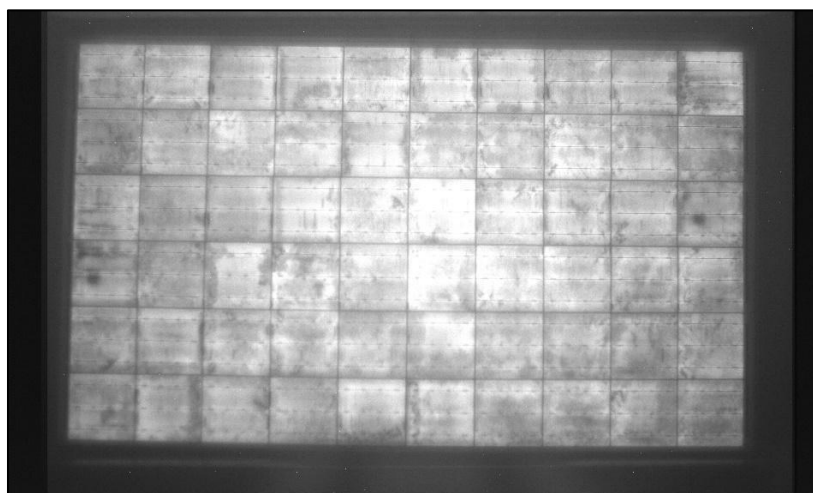
*Tabulka 3. Údaje STC při měření v laboratoři.*

Z naměřených charakteristik jsou následně vypočítány parametry PV modulu. Kromě měření za STC umožňuje zařízení měřit FV moduly i při jiných intenzitách záření, což může být užitečné při modelování chování FVE elektráren, článků i celých fotovoltaických modulů. Pracoviště jsou průběžně inovována a doplňována o nová zařízení.

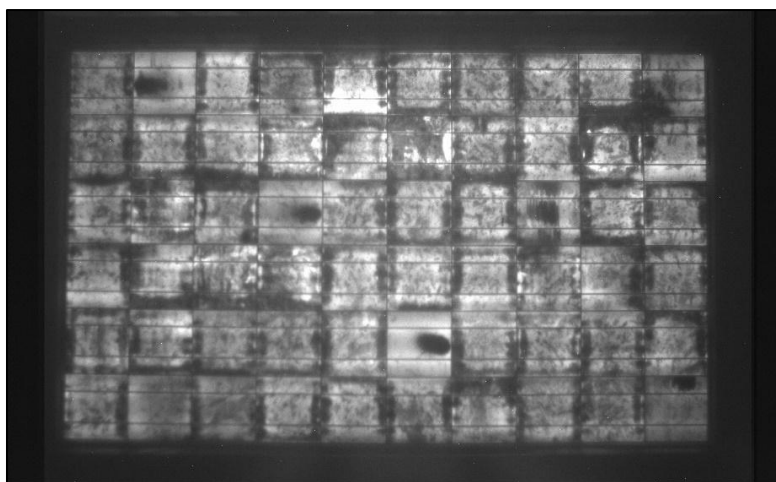
Detekce elektroluminiscence v infračervené části spektra byla změřena pomocí přístroje Gsola. Elektroluminiscenční testy jsou vhodné pro zákazníky, kteří potřebují analyzovat stav modulů z hlediska prasklin, nekontaktních částí článků nebo PID efektu [20]. Následující obrázky znázorňují elektroluminiscenci jednotlivých 4 modulů, které byly zkoumány v důsledku měření. (Obr. 18-24).



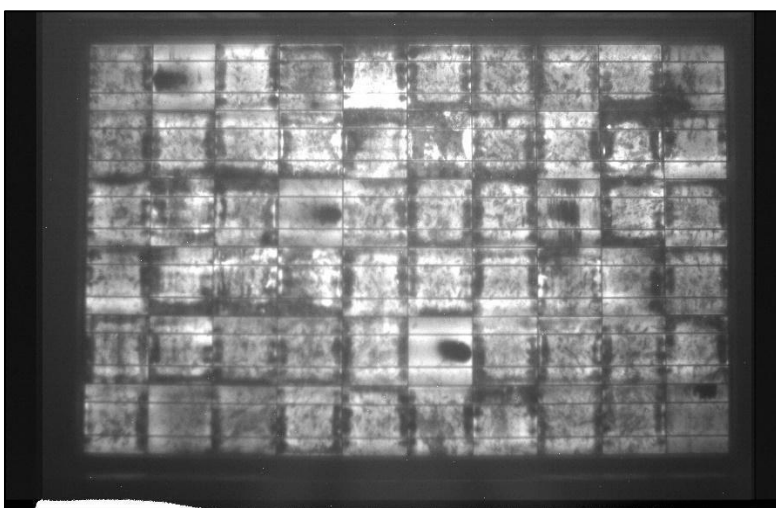
*Obrázek 18 Elektroluminiscence panelu 20100807013 před umytím*



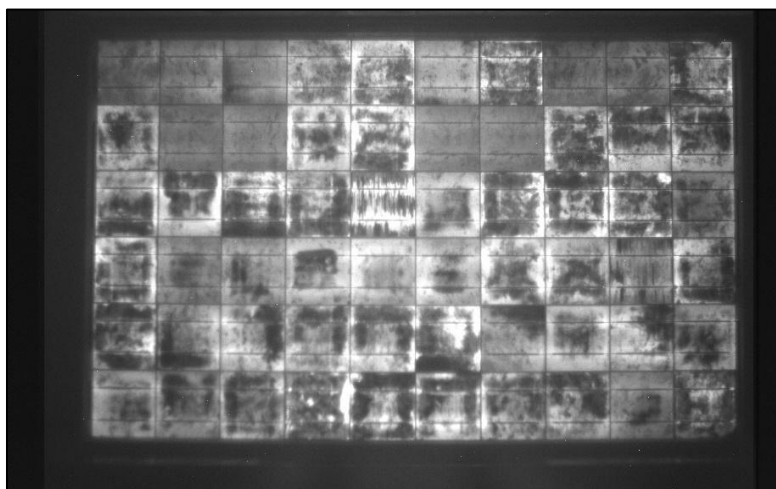
*Obrázek 19 Elektroluminiscence panelu 20100807013 po umytí demineralizovanou vodou*



*Obrázek 20 Elektroluminiscence panelu 20100807121 před umytím*

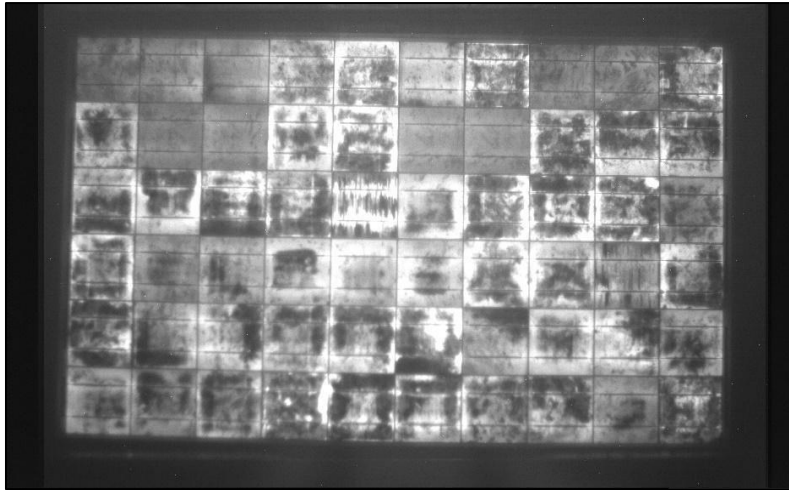


*Obrázek 21 Elektroluminiscence panelu 20100807121 po umytí čistou vodou*



*Obrázek 22 Elektroluminiscence panelu 32011512020406415 B před umytím*





*Obrázek 23 Elektroluminiscence panelu 32011512020406415 B po umytí Duoclean vodou s vodou obyčejnou v poměru 1:20*

#### **6.4 Měření výsledků vybraných jednotlivých panelů**

Výsledky elektroluminiscence jednotlivých modulů ukázaly malé rozdíly. Zde spíš zkoumáme poškození panelů, což může zapříčinit nepřesnosti při 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. Pokud bychom se dopustili mechanického poškození v důsledku čištění, mohli bychom tedy zaznamenat pokles jasů v jednotlivých místech modulů po očištění.

## Kapitola 7: Výsledky měření

### 7.1 Měření modulu v laboratoři, měření za laboratorních podmínek

Jelikož fotoluminescence nevykázala žádná vážná poškození vybraných modulů, pokračovali jsme v měření dalších parametrů. Změřen byl proud a napětí daných článků. Dané hodnoty jsme využili k sestavení Voltampérové charakteristiky. Z dané charakteristiky byl odečten bod MPP neboli bod maximálního jmenovitého napětí.

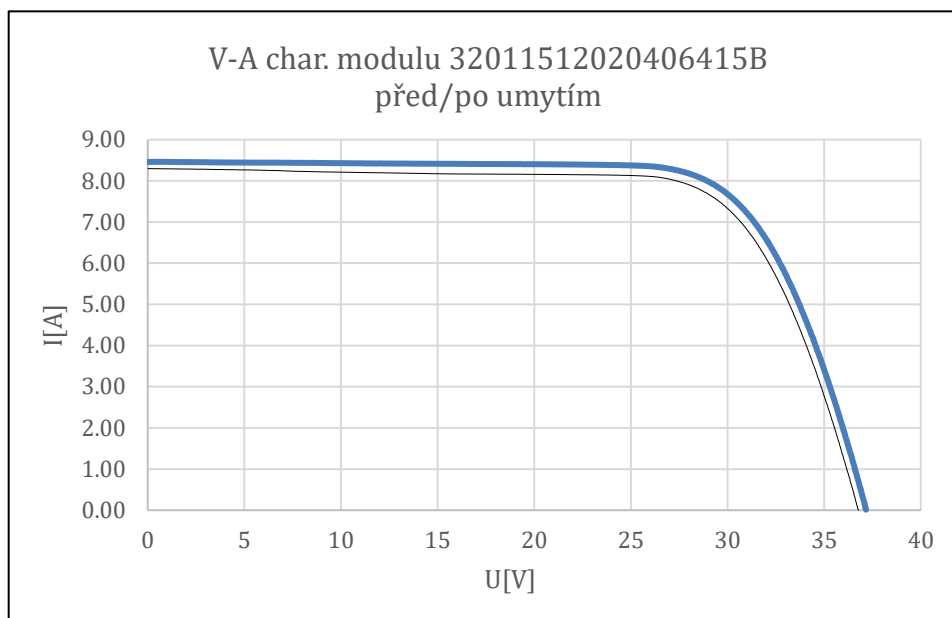
Zkoumané byly panely **32011512020406415 B**, **20100807013**, **20100807121**, **20100807323** a **20100807323**. Zde je tabulka, která uvádí rozdíl hodnoty MPP před a po očištění, včetně procentuálního výpočtu navýšení výkonu vyhodnocených třech modulů. Dle tabulky č. 4 tedy můžeme vidět, že střední procentuální hodnota navýšení MPP a tedy i výkonové zhodnocení panelu se lišilo o **3,4 %**.

Názvy měřených modulů v laboratoři	MPP [W]	Rozdíl MPP [%]
32011512020406415 B před	222,832	4,002
32011512020406415 B 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 [%]		<b>3,4</b>

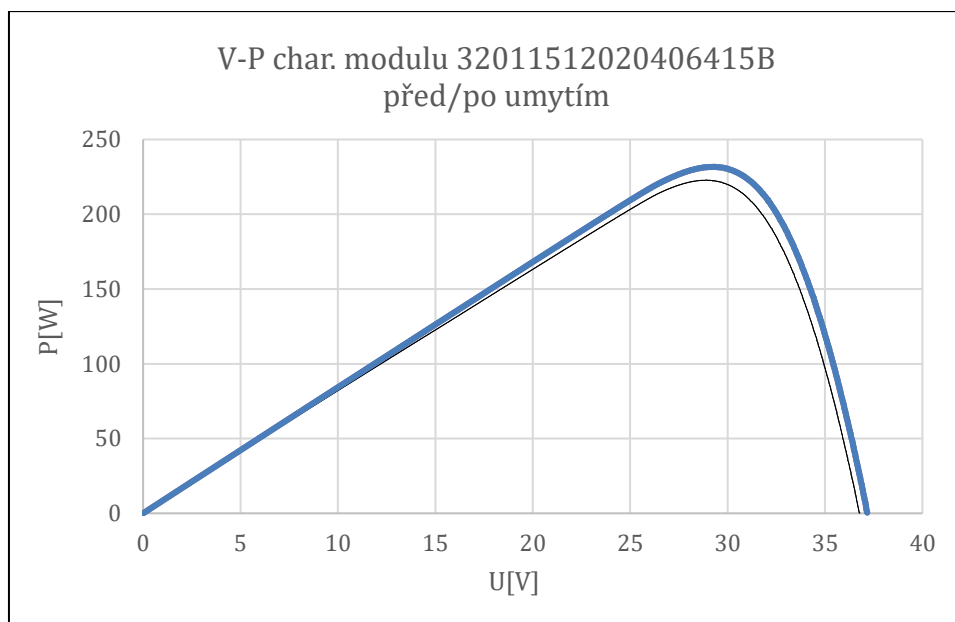
Tabulka 4. Tabulka MPP modulů. Výsledek laboratorních měření.

Nejhorších výsledků tedy bylo dosaženo po mytí demineralizovanou vodou a tekutinou s poměrem Duoclean prostředku s obyčejnou vodou v poměru 1:10. Mytí čistou vodou ukázalo střední výsledky. Největšího zlepšení jsme dosáhli pomocí mytí tekutinou s poměrem Duoclean prostředků s vodou obyčejnou 1:20.

Zadáním bakalářské práce bylo změřit rozdílné V-A charakteristiky (Obr. 25). Také byly změřeny V-P charakteristiky (Obr. 26) jednotlivých modulů pro lepší vizualizaci přínosnosti očištění. Zde je ukázka charakteristik jednoho ze čtyř modulů. Zbylé moduly a jejich charakteristiky vyšly obdobně.



Obrázek 24 V-A charakteristika vybraného modulu před a po umytí



Obrázek 25 V-P charakteristika vybraného modulu před a po umytí

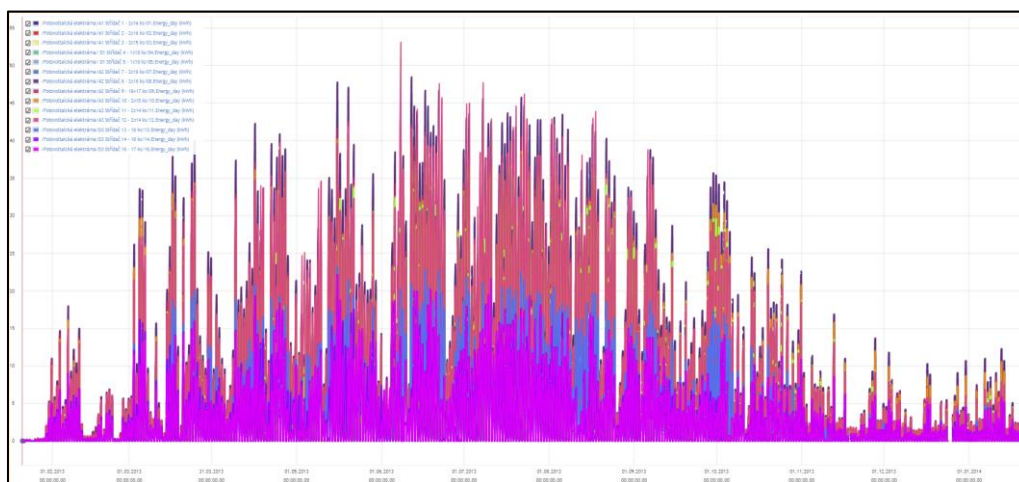
## 7.2 Měření modulů, měření za běžných venkovních podmínek

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

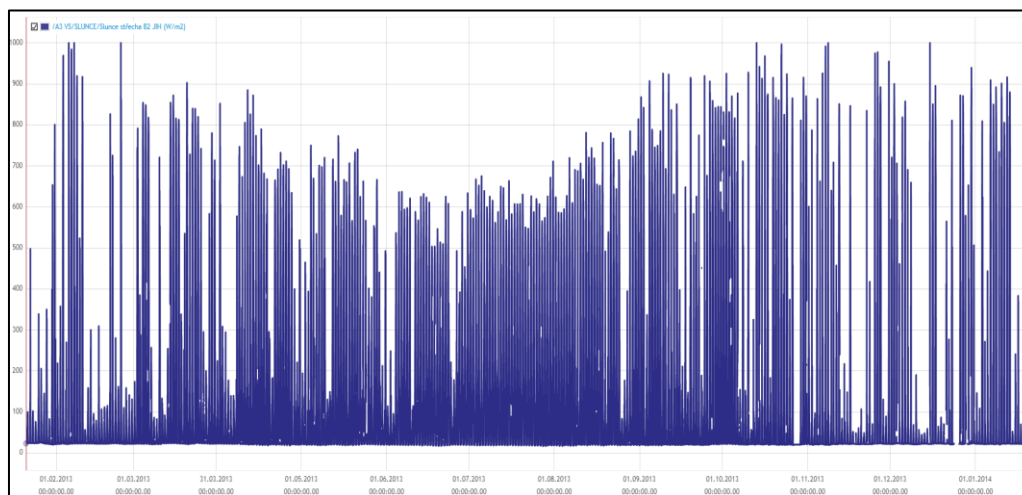
Změřena byla intenzita slunečního záření v daném období pomocí čidla, které je umístěno na střeše budovy FEL ČVUT. Změřen byl i výkon fotovoltaické elektrárny v období **2012–2023**, a to bezprostředně rok před čištěním a rok po čištění.

Celkově se jedná o 13 ks měřených střídačů. Střídače **D1.6 1x17**, **D1.5** a **A2.7** ks byly z měření vyjmuty, neboť se v systému Mervis vyskytla jistá datová propast, a tak nebyly zaznamenány hodnoty daného stringu za dlouhé časové období.

Zde je grafická ukázka výkonu v programu MERVIS všech střídačů pro rok 2013 (Obr. 27), a ukázka grafického znázornění hustoty světelného toků v daném programu (Obr. 28).



Obrázek 26 Grafický průběh vyprodukovaného výkonu měřených modulů v roce 2013 (osobní zdroj)



Obrázek 27 Hustota světelného toku po 5 minutách v roce 2013 (osobní zdroj)

### 7.3 Výpočet a analýza degradace

Analýza degradace probíhala následujícím způsobem. Zkoumána byla data z prvního roku instalace **2012** a rok po očištění elektrárny **2022**. Byla vyjádřena sumární hodnotu světelného toku, kterou jsme měřili po **5** minutách. Poté byl změřen celkový výkon vyrobené elektřiny v jednotlivých letech. Poměr těchto dvou výsledku jsme vyjádřili jako  $k$  – poměr mezi výkonem a světelným tokem. Jednotlivé poměry byly porovnány a zjistili jsme **6,97 %** degradaci po 10 letech, což činí **0,69 %** průměrnou degradaci ročně. Jedná se tedy o velice podobný údaj, který je uvedený v příslušném datasheetu.

Sumární hustota světelného toku 2012 [MW/m <sup>2</sup> ]	Sumární hustota světelného toku 2022 [MW/m <sup>2</sup> ]
12,78	13,65

Název střídače	Produkce výkonu za rok 2012 [MWh]	počet modulů [ks.]	Název střídače	Produkce výkonu za rok 2022 [MWh]
A.1.1	6,264	32	A.1.1	6,363
A1.2	6,576	32	A1.2	6,593
A1.3	6,966	30	A1.3	6,946
D1.4	2,796	18	D1.4	3,276
D1.5	-	18	D1.5	-
A2.7	-	36	A2.7	-
A2.8	7,365	36	A2.8	7,343
A2.9	6,349	35	A2.9	6,152
A3.10	6,409	30	A3.10	6,378
A3.11	6,226	28	A3.11	6,116
A3.12	6,596	28	A3.12	5,912
D3.13	3,615	18	D3.13	3,096
D3.14	2,625	18	D3.14	3,218
D3.15	3,056	17	D3.15	3,001
<b>Celkový výkon [MWh]</b>	<b>64,843</b>		<b>Celkový výkon [MWh]</b>	<b>64,394</b>

Modulů celkem [ks.]	<b>376</b>
Zkoumaných modulů celkem [ks.]	<b>322</b>
Poměr mezi celkovým výkonem a průměrným množstvím hustoty světelného toku pro rok 2012	<b>0,535</b>
Poměr mezi celkovým výkonem a průměrným množstvím hustoty světelného toku pro rok 2022	<b>0,497</b>
Pokles poměrů [%]	<b>6,97</b>
Průměrná degradace za rok [%]	<b>0,697</b>

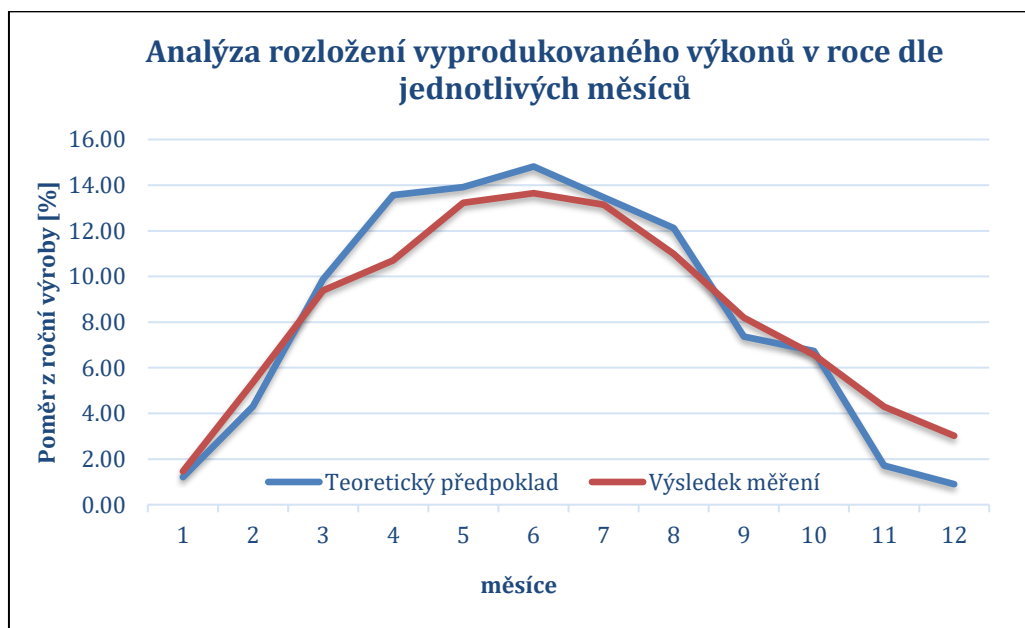
Tabulka 5. Analýza degradace modulů v období 2012–2022

## 7.4 Rozložení výkonů změřených modulů v roce

Jak již bylo zmíněné v kapitole č.1 v teoretickém předpokladu o rozložení výroby v závislosti na časovém období, je nutno uvažovat danou skutečnost při vyhodnocování nárustu efektivity modulů. Změřili jsme tedy hodnoty v jednotlivých měsících pro rok 2022, což jsme potřebovali pro zjištění množství produkce v časovém intervalu říjen–prosinec 2022. Daný interval odpovídá době působení očištění. Sumární hodnotu produkce tedy v ekonomické analýze budeme brát jako hodnotu, pro kterou bude působit procentuální nárůst výkonu. V případě že bychom takto neučinili, dopustili bychom se chyby, kdy bychom pletli mezi sebou nárůst efektivity a nárůst produkce. Níže je vidět číselný a grafický výsledek změřených hodnot (Obr. 29):

	Výroba 2022 [kWh]	Část ročního výkonu [%]
Leden	0,94	1,46
Únor	3,45	5,36
Březen	6,04	9,38
Duben	6,90	10,71
Květen	8,52	13,23
Červen	8,79	13,65
Červenec	8,47	13,15
Srpen	7,08	10,99
Září	5,27	8,19
Říjen	4,22	6,56
Listopad	2,76	4,29
Prosinec	1,94	3,02
SUMA	64,4	100

Tabulka 6. Výsledek rozložení produkce elektrárny v roce v závislosti na období.



Obrázek 28. Porovnání výsledných hodnot rozložení výkonu v roce s teoretickým předpokladem (teoretický předpoklad převzat z publikace [13]).

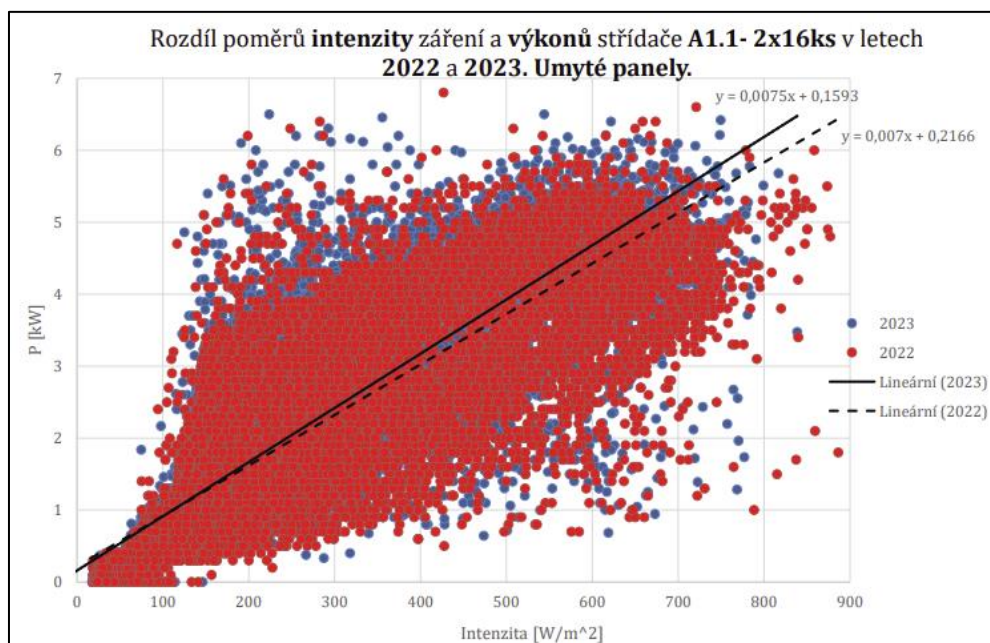
Můžeme dle odečtených hodnot vidět, že výsledek odpovídá teoretickému předpokladu. V ekonomické analýze tedy budou použity hodnoty rozložení výkonu v roce změřené pro rok 2022.

## 7.5 Výpočet a analýza navýšení výkonu

Při analýze pomocí první metody se jednalo o 14x ks grafických zhodnocení jednotlivých střídačů. Pomocí této metody nevykazovaly střídače **D1.5** a **A2.7** takové chybné údaje, jak tomu bylo u metody druhé.

Dle zadání vedoucího bakalářské práce se přistoupilo k vyhodnocení pomocí směrnic jednotlivých stringů. Poté byly spočítány rozdíly hodnot z roku 2022 a 2023 pomocí rovnic směrnic jednotlivých grafických průběhů (Obr. 30).

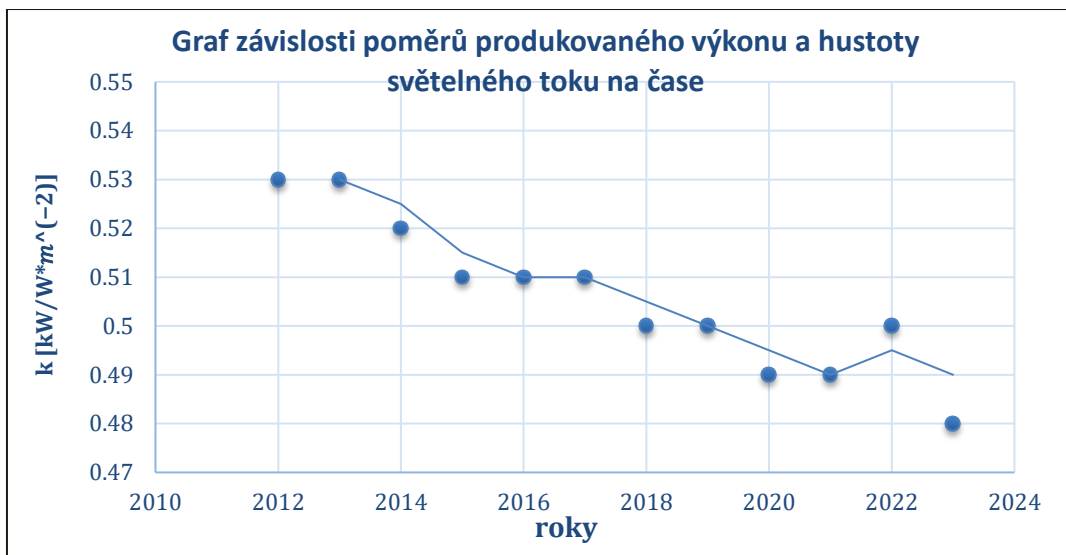
Střední procentuální hodnotu zvýšení výkonu fotovoltaické elektrárny ČVUT FEL Dejvice činí dle námi změřených hodnot **7 %** dle metody první. Jelikož v průběhu metody byly po analýze v různých obdobích objeveny značné rozptyly hodnoty, přistoupilo se na vyhodnocení pomocí jiné metody.



Obrázek 29 Rozdíl poměrů intenzity záření a výkonů střídače VVN Střídač 2 - 2x13 v letech 2022 a 2023 Nemyté panely (osobní zdroj)

Druhou metodou byla analýza, kdy jsme oproti metodě první nezkoumali výkon v jednotlivých bodech, ale odečetli jsme celkový sumární vyprodukovaný výkon, který pak byl vyjádřen v poměru s hustotou světelného toku. Poté byl vyhodnocen souhrn všech poměrů za všechny roky pro všechny střídače společně s grafem.

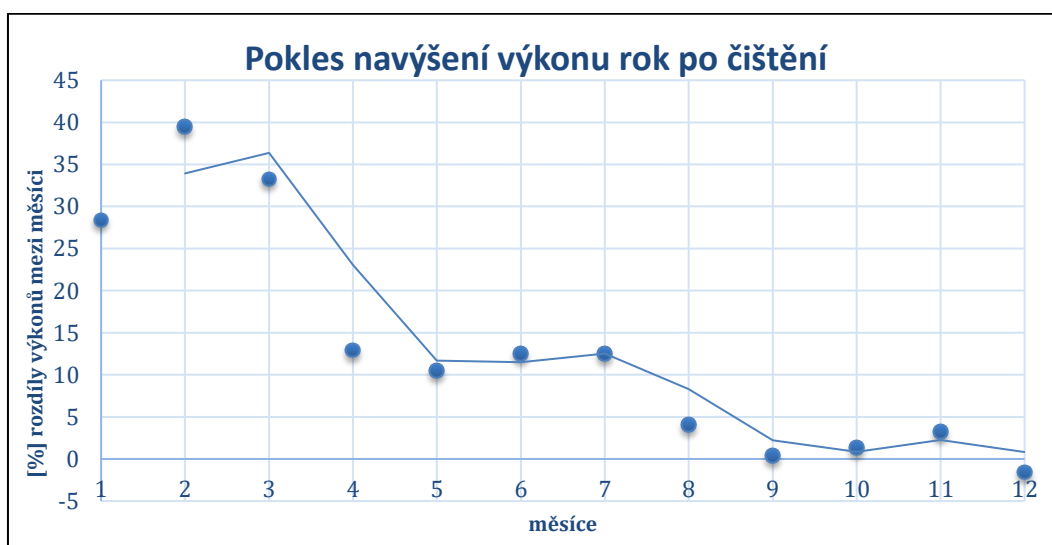
Protože nemůžeme plně zavrhnout skutečnost, že nezkoumáme rozdíl teploty, provedla se analýza jednotlivých měsíců mezi sebou v jednotlivých letech. Dospěli jsme k navýšení výkonů o **2 %** pro rok 2022 (Obr. 31). V roce 2023 jsme měli již zaznamenán pokles na **- 4 %** oproti hodnotě z roku čištění.



Obrázek 30 Grafické znázornění poklesu poměrů mezi výkonem a hustotou světelného toku v letech 2012-2023

Zde můžeme vidět, že dle teoretického předpokladu (Kapitola č.4) nastává v prvním roce větší pokles výkonu, zatímco v následujících letech před očištěním elektrárny v roce 2022 je pokles způsobený pouze degradací, a to orientačně o **1 %** ročně. V roce 2022 můžeme vidět nárůst vzniklý v důsledku očištění.

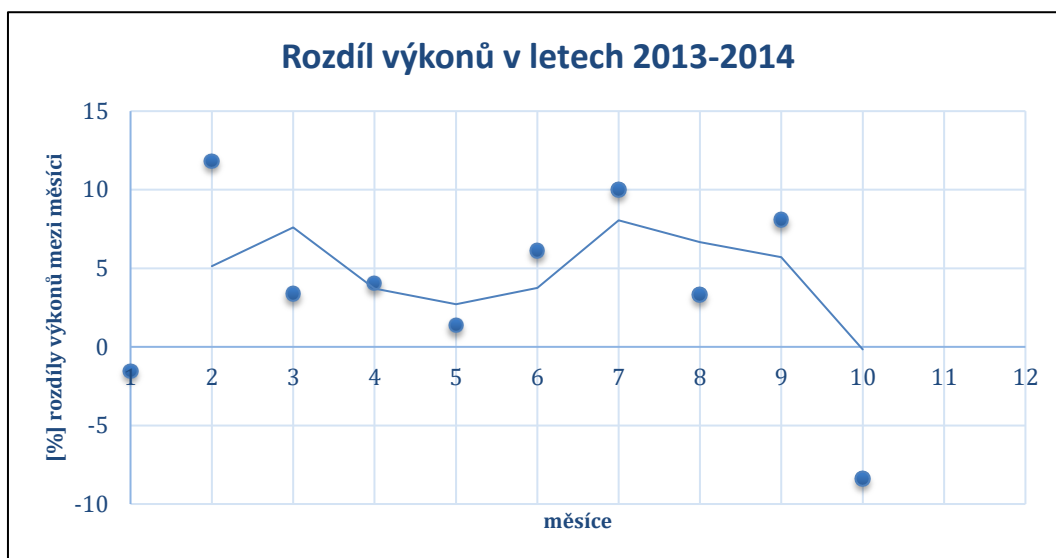
Abych ověřili správnost metody, v grafu Pokles navýšení výkonu rok po očištění (Obr. 32) jsme zkoumali rozdíl v % v roce **2023** po čištění a v roce **2022** u jednotlivých měsíců před čištěním. Zaznamenali jsme tedy, že k výrazné změně došlo pouze po dobu 3 měsíců. Z dané skutečnosti byla stanovena doba působení navýšení výkonů jako **3 měsíce**. Hodnoty navýšení do 15 % v následujících měsících dle grafu referenčních hodnot byly označeny jako data, kdy již není působení očištění platné (Obr. 33) – takzvaný „šum“.



Obrázek 31 Grafické znázornění poklesu poměrů mezi výkonem a hustotou světelného toku měsíců v roce po čištění 2023 a rok před očištěním 2022

Jelikož v průběhu měření jsme objevili značné nepřesnosti, změřili jsme jednotlivé měsíce pro rok 2013 a 2014, kde by k žádnému jinému rozdílu, než tomu v důsledku degradace dojít nemělo.





Obrázek 32 Rozdíl výkonů v letech 2013-2014

Zde můžeme vidět, že se jedná o rozptyl měřených dat v hodnotě **10-15 %**. Z daného důvodu byly zohledněny v grafu pouze první **3 měsíce** poklesu ročního výkonu, kde navýšení v procentech přesahuje hodnoty dané nejistoty (Obr. 33).

Dodatečně byly změřeny střídače **D3s13, D3s14 a D3s15**, a to z důvodu, kdy v první metodě byl zaznamenán větší přínos očištění než u všech ostatních jednotek. Dle poskytnutých údajů tomu bylo tak proto, že dané sady střídačů byly zašpiněny výrazněji než ostatní. Pomocí metody druhé jsme tedy zaznamenali nárůst poměrů výkonu a hustoty světelného toků jako **8,1/7,4/7,5 %**.

Výstupem z části technické, který byl pro ekonomické zhodnocení použit, jsou tedy následující data:

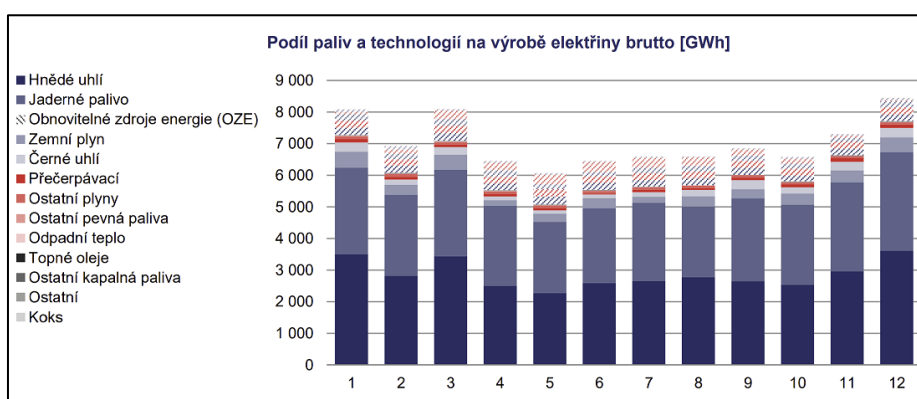
Výstup technické části		
Přínos očištění	2	%
Působení očištění	3	měsíců
Množství vyprodukované energie v roce očištění 2022	64 094	kWh
Množství výkonu ovlivněného očištěním v zimě	8 931	kWh
Množství výkonu ovlivněného očištěním v letě	25 783,5	kWh
Střední navýšení výkonů střídače více znečištěných modulů	7,6	%
Průměrná roční degradace výkonů	0,7	%
Celková plocha zkoumaných FVE modulů	526	m <sup>2</sup>

Tabulka 7. Výstup technické části bakalářské práce.

## Kapitola 8: Finanční posudek a analýza trhu

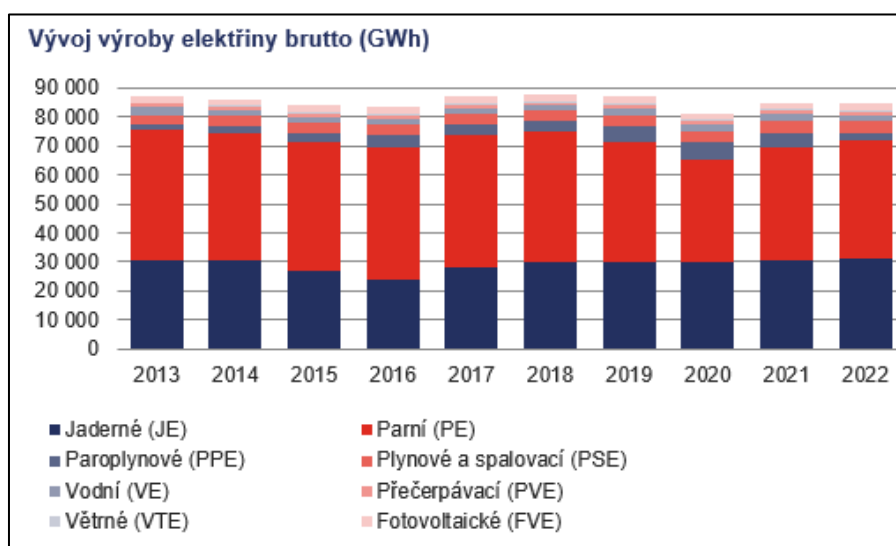
### 8.1 Vývoj výroby elektrické energie v České republice

V České republice se v současné době vyrábí elektrická energie z různých zdrojů. Nejvyšší podíl stále zaznamenávají uhelné elektrárny (Obr. 34), které zaznamenaly v minulosti svůj rozmach díky vysoké úrovni tuzemského strojírenství a ocelářství. Jaderné elektrárny se také staly významným zdrojem elektřiny od 80. let, kdy začala fungovat první jaderná elektrárna v zemi – Dukovany. Snahy o ekologické trendy a snižování negativních dopadů spalování fosilních paliv však vedou k významným změnám v oblasti elektroenergetiky. Současný tlak na snížení podílu uhelných elektráren a blížící se konec životnosti mnoha tradičních zdrojů energie vedou k hledání nových metod zajištění dostatečné produkce elektřiny. (Obr. 34)



Obrázek 33 Podíl paliv a technologií na výrobě elektřiny brutto v jednotlivých měsících pro rok 2022 [21].

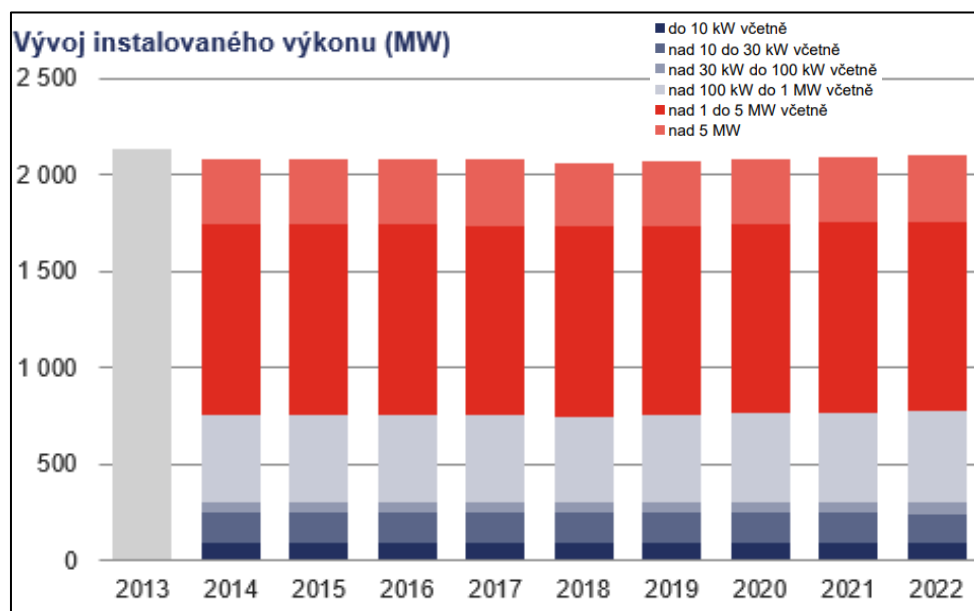
Ačkoliv v poslední době Česká republika prošla značnými změnami v segmentu výroby elektrické energie pomocí ekologicky přínosných zdrojů, je patrné dle následujícího obrázku (Obr. 35), že největším výrobcem elektrické energie jsou v České republice stále elektrárny jaderné a parní [21].



Obrázek 34 Vývoj výroby elektřiny v České republice [21].

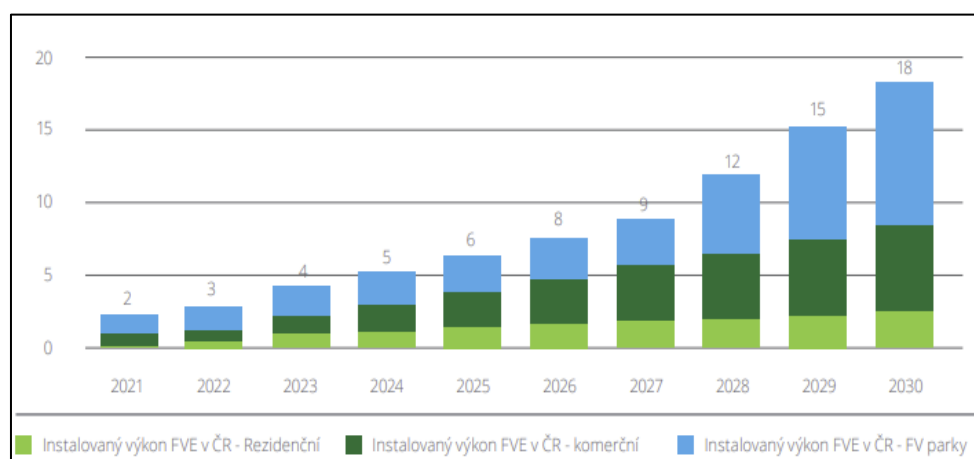
## 8.2 Fotovoltaické elektrárny v České republice

Fotovoltaické elektrárny v České republice představují klíčový prvek v rozvoji obnovitelných zdrojů energie v zemi. Jejich význam stále roste v souvislosti s celosvětovým trendem k udržitelnějšímu a ekologičtějšímu způsobu výroby elektrické energie [21].



Obrázek 35 Vývoj instalovaného výkonu FVE v České republice [21].

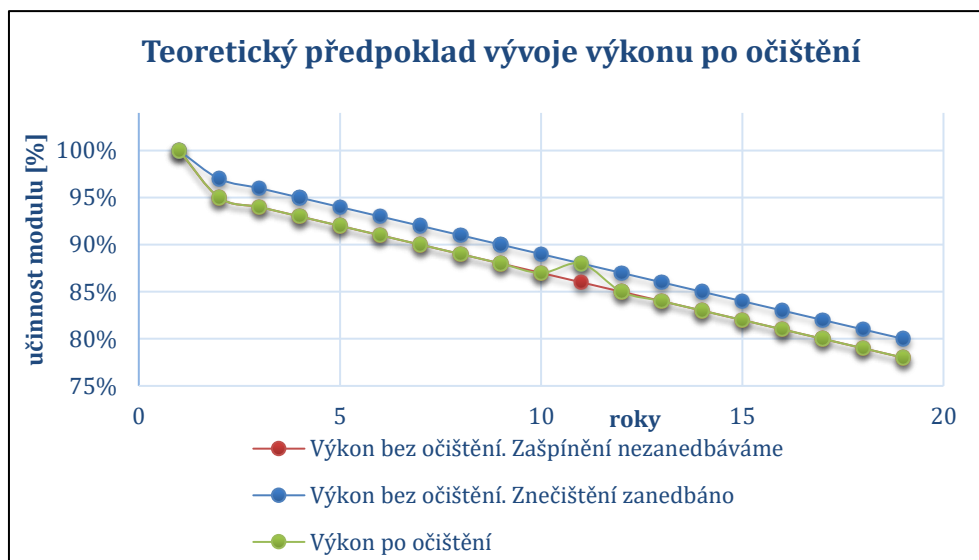
V důsledku změny politické a ekonomické situace v Evropě dosáhl vývoj ekologických způsobů výroby elektrické energie značného nárůstu (Obr. 36). Z daného důvodu bylo stanoveno mnoho předpokladů a motivačních hodnot, jakých velikostí by mohly fotovoltaické elektrárny v České republice dosáhnout do roku 2030 (Obr. 37).



Obrázek 36 Celkový instalovaný výkon FVE při výstavbě s využitím dostupné finanční podpory (GW) [22].

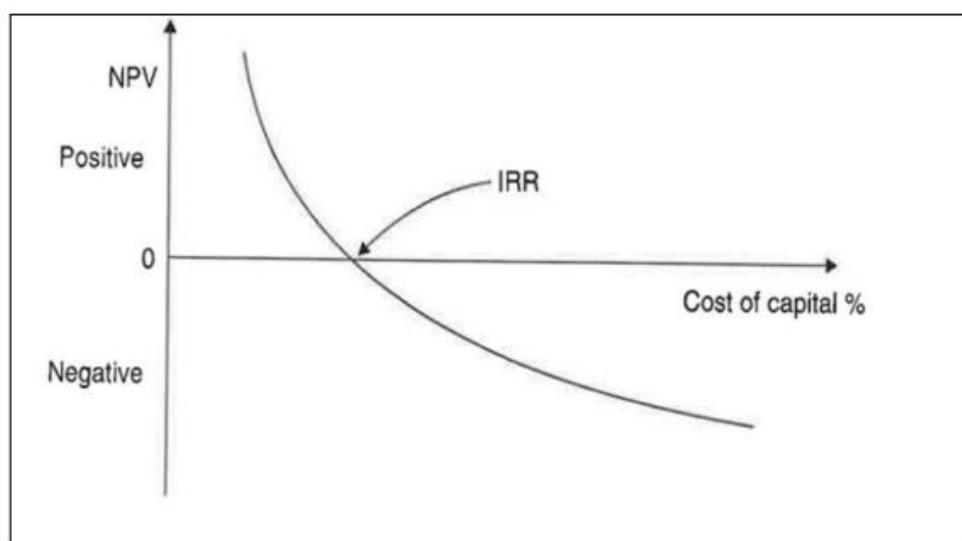
### 8.3 Teoretické předpoklady

Dle teoretických předpokladů jsme vyhodnotili v předchozích kapitolách průběh degradace výkonu fotovoltaické elektrárny. Poté jsme vyjádřili pokles výkonu v důsledku zašpinění (červeně). Výsledný nárůst výkonu v důsledku očištění jsme zaznamenali na našem teoretickém předpokladů zelenou křivkou. Cílem práce bylo zaznamenat vliv očištění a dobu, po kterou by daný přínos přetrvával. Teoretický předpoklad jsme znázornili na následujícím grafu. (Obr.38)



Obrázek 37 Teoretický předpoklad vývoje výkonu FVE po očištění (osobní zdroj).

Jelikož očištění je pouze výdaj, ke kterému došlo po 10 letech, kdy již předpokládáme zaplacení investice fotovoltaické elektrárny, sestavili jsme situaci, kdy bychom elektrárnu pořídili a provozovali od roku 2024 nově. Pro danou situaci jsme vyhodnotili čistou současnou hodnotu (NPV) (obr. 39).



Obrázek 38 Teoretický předpoklad průběhu NPV [23].

## 8.4 Vstupní data pro finanční ohodnocení

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

Cílem bylo zjistit finanční částku, 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, z něhož jsme po zohlednění nepřesností vyhodnocovali pouze **77,28 kWp** instalovaného výkonů. Celková hodnota zvýšení výkonu byla změřena jako **2 %**. Produkce elektrárny v roce čištění byla odečtena jako **64 MWh**.

Pro ekonomický výpočet byla také zjištěna data zimního tarifu pro nákup elektřiny a také zelený bonus, což je finanční částka, která je vyplácena za určité množství vyprodukované energie pomocí obnovitelných zdrojů [24]. Ačkoliv univerzita má smlouvu stále aktivní, pro elektrárnu novou již daný bonus není možný k získání. Bude tedy při výpočtu NPV nové elektrárny vypuštěn.

Cena elektřiny (zimní)	1,81	Kč/kWh
Zelený bonus za vyrobenou kWh	11,3	Kč

Tabulka 8 Cena nákupní elektřiny v létě a velikost zeleného bonusu pro budovu ČVUT Dejvice.

Neboť očištění proběhlo ze strany společnosti zdarma a zároveň společnost běžně čištění neprovádí a ceník nemá, byla použita střední hodnota za metr čtvereční očištění dle ceníku jednotlivých firem. Celkově dle přepočtu tedy střední částka činí **19 280 Kč** za umytí zkoumaných modulů na střeše budovy FEL ČVUT.

Společnost	Cena [Kč/m <sup>2</sup> ]	Celková cena
Kerosin s.r.o. [25]	-	14000
Profi Servis s.r.o. [26]	35	18410
AMTEAM AGENCY EU s.r.o. [27]	40	21040
Nano Fusion s.r.o. [28]	45	23670
Střední cena umytí zkoumané FVE		<b>19 280</b>

Tabulka 9 Společnosti poskytující služby ve věci servisu a čištění fotovoltaických modulů

## 8.5 NPV projektů

Jako kritérium pro hodnocení výnosnosti projektu jsme využili metodu pro výpočet NPV. Tato metoda je jedním z nejpoužívanějších finančních ukazatelů. Její hlavní výhodou je, že bere v úvahu časovou hodnotu peněz a také fakt, že výsledkem je hodnota přínosu investice v dnešních cenách. Výpočet NPV se provede dle vzorce:

**NPV** [Kč].... čistá současná hodnota,

**CF<sub>t</sub>** [Kč].... peněžní toky v rocích

**n**[roky].... doba životnosti projektu,

**r** [%] .... diskontní úroková míra.

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

Rovnice 5 – výpočet čisté současné hodnoty

## 8.6 Stanovení výše diskontu

Důležitým aspektem při výpočtu NPV je stanovení diskontu. Ten lze stanovit například sečtením bezrizikové úrokové sazby a prémie za riziko, které realizací projektu investor podstupuje. Bezrizikovou nominální úrokovou sazbu lze stanovit na základě následujících údajů. Meziroční inflaci jsem pro výpočet stanovil z inflačního cíle ČNB na hodnotu **2 %** [29]. Prémii za riziko jsem stanovil na **1 %**. Důležitou zmínkou je, že v případě vyhodnocení aktuálního stavu, kdy fotovoltaická elektrárna již existuje po dobu 12 let, předpokládáme, že investice vynaložená na realizaci dané elektrárny je již splacena. Tím pádem se zde bavíme o bezrizikové hodnotě, a prémie za riziko by byla rovna 0 %. Výsledný diskont pro základní scénář je tedy sečtením těchto dvou veličin a celkově tedy **3 %** pro výpočet pro elektrárnu novou.

## 8.7 Finanční zhodnocení

Nejprve jsme provedli zhodnocení pro stav aktuální. Pracovali jsme s následujícími daty:

Přínos očištění	2	%
Střední navýšení výkonu pro vysoké zašpinění	7,67	%
Množství vyprodukované energie v roce 2022	64 094	kWh
Množství výkonu ovlivněného očištěním v zimě	8931	kWh
Množství výkonu ovlivněného očištěním v letě	25 783,5	kWh
Působení očištění	3	měsíce
Průměrná roční degradace výkonů	0,7	%
Cena elektřiny (zimní)	1,81	Kč/kWh
Cena elektřiny (letní)	1,77	Kč/kWh
Zelený bonus za vyrobenou kWh	11,3	Kč

Tabulka 10. Data použita při ekonomickém zhodnocení.

V návaznosti na informace zmíněné v kapitole 2, je velice podstatné zmínit, že procentuální přínos očištění je rozdílem poměrů vyprodukované elektřiny a hustoty světelného toku. Není tak možné počítat s přínosem **2 %** z celkového vyprodukovaného výkonu za rok, jelikož působení očištění trvalo pouze **3 měsíce**. Proto byl v návaznosti na teoretický předpoklad (Obr. 11) vytvořen výpočet rozložení

vyprodukovaného výkonů v roce, abychom zjistili, pro jakou velikost vyprodukovaného výkonu budeme zkoumat naše zvýšení efektivity přeměny. Níže je tabulka s výsledkem předpokladů a měření.

	Předpokládaná výroba – studie [kWh]	Změřená výroba v roce 2022 [kWh]	Rozložení předpokládané výroby [%]	Rozložení změřené výroby [%]	Rozložení výroby FVE 77,4 kWp [MWh]
Leden	14	0,94	1,21	1,46	1,13
Únor	48	3,45	4,31	5,36	4,15
Březen	110	6,04	9,88	9,38	7,26
Duben	151	6,90	13,56	10,71	8,29
<b>Květen</b>	<b>155</b>	<b>8,52</b>	<b>13,92</b>	<b>13,23</b>	<b>10,24</b>
Červen	<b>165</b>	<b>8,79</b>	<b>14,82</b>	<b>13,65</b>	<b>10,57</b>
Červenec	<b>150</b>	<b>8,47</b>	<b>13,47</b>	<b>13,15</b>	<b>10,18</b>
Srpen	135	7,08	12,12	10,99	8,51
Září	82	5,27	7,36	8,19	6,34
Říjen	75	4,22	6,74	6,56	5,08
Listopad	19	2,76	1,71	4,29	3,32
Prosinec	10	1,94	0,90	3,02	2,34
SUMA	1113	64,4	100	100	77,4

Tabulka 11. Srovnání rozložení výkonu v roce dle jednotlivých měsíců hodnot referenčních a změřených.

Po analýze hodnot z tabulky číslo 9, jsme zkoumali stav elektrárny s produkcí výkonů 64,4 MWh ročně. Po dosazení výkupní ceny elektřiny 1,81 pro zimní období (září–únor), a letní období (březen–srpen), vyhodnotili příjem, způsobený očištěním v jednotlivých měsících pro malé a velké zašpinění.

	Ovlivněný výkon	Navýšení o 2 %	Navýšení o 7,67 %	Příjmy 2 %	Příjmy 7,67 %
Měsíce	MWh	MWh	MWh	Kč	Kč
Leden	10,43	0,209	0,800	377,6	1 448,0
Únor	16,39	0,328	1,257	593,3	2 275,4
Březen	21,46	0,429	1,646	776,9	2 979,2
Duben	24,21	0,484	1,857	857,0	3 286,7
<b>Květen</b>	<b>25,78</b>	<b>0,516</b>	<b>1,977</b>	<b>912,6</b>	<b>3 499,9</b>
Červen	24,34	0,487	1,867	861,6	3 304,4
Červenec	20,82	0,416	1,597	737,0	2 826,5
Srpen	16,57	0,331	1,271	586,6	2 249,5
Září	12,25	0,245	0,940	433,7	1 663,0
Říjen	8,92	0,178	0,684	322,9	1 238,3
Listopad	5,64	0,113	0,433	204,2	783,0
Prosinec	6,33	0,127	0,486	229,1	878,8

Tabulka 12. Velikost příjmu dle čištění v jednotlivých měsících. Největšího příjmu je dosaženo při očištění v květnu.

Z dané tabulky je jasně vidět, že největších příjmu bychom dosahovali, v případě očištění elektrárny v květnu. Po obdržení daného výsledku byly stanoveny 2 možnosti očištění. Zimní v měsíci říjen, a letní v měsíci květen.

Po vyhodnocení dat (Příloha 1) jsme dostali následující situaci:

V první analýze tedy jsme zkoumali stav aktuální, pro situaci fakulty, kdy bychom chtěli provozovat čištění od roku 2022 pravidelně každý rok. Výpočet se provedl pro situaci s čerpáním zeleného bonusu a bez, v letním a zimním období.

ZIMNÍ ČIŠTĚNÍ	
S VYUŽITÍM ZELENÉHO BONUSŮ	
Přínos ročně I [kWh]	178,63
Přínos ročně kvůli zelenému bonusu [Kč]	2018
Přínos kvůli ceně energií nákupní [Kč]	323,95
Maximální cena mytí v zimním období [Kč]	<b>2342</b>

Tabulka 13. Maximální cena výdaje pro NPV = 0 pro čištění v zimě s využitím zeleného bonusu.

ZIMNÍ ČIŠTĚNÍ	
BEZ VYUŽITÍM ZELENÉHO BONUSŮ	
Přínos ročně [kWh]	178,63
Přínos kvůli ceně energií nákupní [Kč]	324
Maximální cena mytí v zimním období [Kč]	<b>324</b>

Tabulka 14. Maximální cena výdaje pro NPV = 0 pro čištění v zimě bez využití zeleného bonusu.

LETNÍ ČIŠTĚNÍ	
S VYUŽITÍM ZELENÉHO BONUSŮ	
Přínos ročně [kWh]	515,53
Přínos ročně kvůli zelenému bonusu [Kč]	5825
Přínos kvůli ceně energií nákupní [Kč]	912,46
Maximální cena mytí v letním období	<b>6738</b>

Tabulka 15. Maximální cena výdaje pro NPV = 0 pro čištění v létě s využitím zeleného bonusu.

LETNÍ ČIŠTĚNÍ	
S VYUŽITÍM ZELENÉHO BONUSŮ	
Přínos ročně [kWh]	515,53
Přínos kvůli ceně energií nákupní [Kč]	935
Maximální cena mytí v zimním období [Kč]	<b>935</b>

Tabulka 16. Maximální cena výdaje pro NPV = 0 pro čištění v létě bez využití zeleného bonusu.

Dle poskytnutých informací, bylo stanoveno že čištění prováděla jedna osoba po dobu 2 dnů, kdy každý den daná osoba strávila u čištění 8 h. Můžeme tedy na základě těchto informací stanovit analýzu nové pracovní pozice na fakultě pro osobu, která by očišťovala panely místo specializované společnosti.

Platové ohodnocení	Zimní čištění	Letní čištění
Zelený bonus aktivní	146 Kč/h.	421 Kč/h.
Bez zeleného bonusu	20 Kč/h.	58 Kč/h.

Tabulka 17. Maximální platové ohodnocení nově vytvořené pozice pro umytí modulů pro NPV = 0

Vyhodnotili jsme tedy, že pokud by fakulta již neměla smlouvy ve věci zeleného bonusu, neměl by daný výdaj smysl. V případě jeho platnosti bychom pak jistě zvolili čištění letní, kde bychom mohli poskytnout maximální výši hodinové mzdy ve výši **421 Kč**.



Jelikož však provedené čištění bylo uskutečnění pomocí společnosti VEIDEC, musíme uvažovat o stanovené střední ceně za čištění **19 280 Kč**. Ani jedna z variant se nedostává pod hranici střední ceny, a ani pod hranici nejnižší částky 14 000 Kč od společnosti Kerosin. Proto předpokládáme výdaj ve věci očištění elektrárny pomocí tuzemské firmy jako ekonomický nevýhodný.

Abychom však vypočítali čistou současnou hodnotu peněz a uplatnili diskontování a zhodnocení možného rizika v čase, byl sestaven model případu, kdy investuji do fotovoltaické elektrárny nové. Výpočet NPV pro aktuální stav se jeví jako zbytečný, jelikož po dobu již existující elektrárny počítáme s již vrácenou finančně investovanou částkou v roce 2012. Nový model tedy bude počítat s aktuální cenou instalace fotovoltaické elektrárny o instalovaném výkonu **77,4 kWp** bez akumulárního uložště. Všechny ceny a parametry byly poskytnuty po vypracování indikativní nabídky od společnosti reWATT [30]. Použity byly následující data:

Výpočet NPV pro investici do nové elektrárny		
Přínos očištění	2	%
Přínos očištění – velké zašpinění	7,67	%
Nákupní cena elektřiny zima	1,81	Kč/kWh
Zelený bonus	11	Kč/kWh
Střední cena umytí zkoumané FVE	19 280	Kč
Instalovaný výkon	77,4	kWp
Množství výkonu ovlivněného očištěním v zimě	10 735	kWh
Množství výkonu ovlivněného očištěním v letě	30 983,2	kWh
Investice	1 600 000	Kč
Diskont	3	%
Degradace výkonu ročně	0,42	%
Cena střídače	37 500	Kč
Záruka životnosti střídače	20	let
Cena modulů	360 000	Kč/všechny moduly
Záruka životnost modulů	15	let
Životnost investice	30	let

*Tabulka 18. Stanovení parametrů pro analýzu investice do instalace střešní fotovoltaické elektrárny a následná úvaha o přínosu výdaje očištění*

Po kalkulaci jsme dospěli k závěru následujících NPV pro různé případy. Uvažovali jsme stav se zeleným bonusem a bez. Stav pro panely špinavé málo a moc. Dané parametry byly zkoumány bez zeleného bonusu a proběhla analýza jak pro letní, tak i zimní čištění.

NPV pro FVE bez čištění BEZ zeleného bonusu	685 604	Kč
NPV pro FVE bez čištění s zeleným bonusem	16 527 066	Kč
NPV pro FVE s navýšením výkonů 2% zimní	314 747	Kč
NPV pro FVE s navýšením výkonů 7,67% zimní	334 702	Kč
NPV pro FVE s navýšením výkonů 2% letní	271 498	Kč
NPV pro FVE s navýšením výkonů 7,67% letní	327 817	Kč

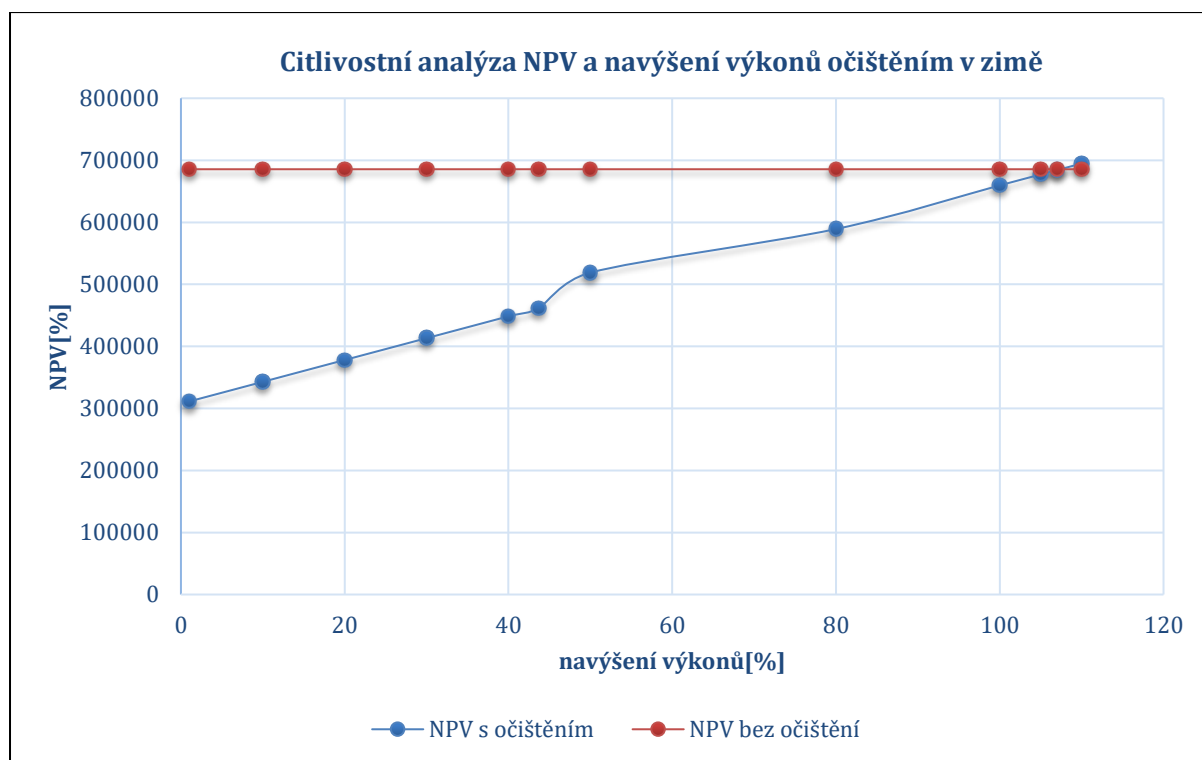
*Tabulka 19. Stanovené hodnoty NPV pro jednotlivé situace.*

Již z měřených výsledků je patrné, že čištění není za daných parametrů finančně atraktivní. Proto jsme vyhodnotili několik grafických zobrazení citlivostních analýz, abychom zjistili, za jakých podmínek investice do elektrárny a následný výdaj ve věci jejího očištění dává smysl. Jelikož k znovu zašpinění došlo po 3 měsících, předpokládáme znovu znečištění každoroční.

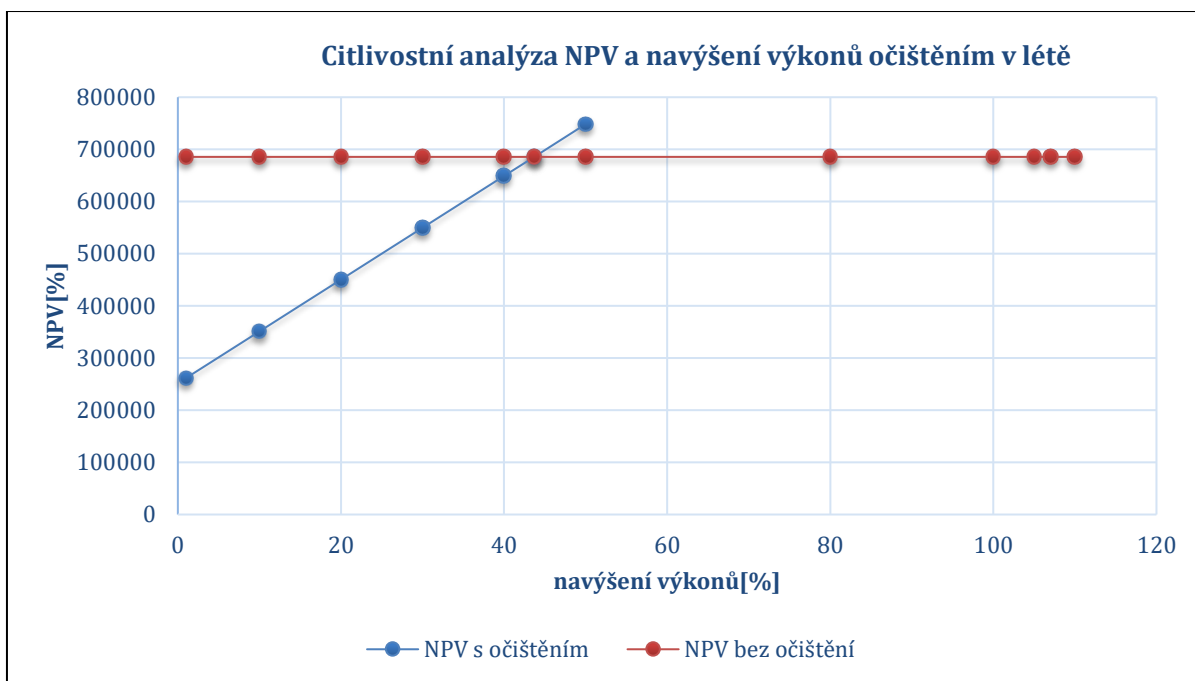
Navýšení výkonů [%]	NPV – Letní čištění [Kč]	NPV – Zimní čištění [Kč]	NPV bez čištění [Kč]
1	261 568	311 227	685 604
10	350 988	342 901	685 604
20	450 344	378 094	685 604
30	549 700	413 287	685 604
40	649 056	448 481	685 604
<b>43,7</b>	<b>685 604</b>	461 502	<b>685 604</b>
50	748 412	518 867	685 604

Tabulka 20. Analýza hodnoty NPV pro zimní a letní čištění v případě navýšení výkonu

Z dané tabulky výsledku plyne, že v případě očištění modulů s nákupní cenou energií **1,81 Kč / kWh** a **1,77 Kč / kWh** pro období zimní a období letní, čištění dává smysl pouze pro 43,7 % nárstu efektivity v létě. Pro čištění zimní jsme nedosáhli hodnoty NPV ani při 50 % navýšení výkonů. Takto obrovský rozdíl je dán velkým rozdílem produkce elektřiny v těchto obdobích. Níže je citlivostní analýza pro oba případy (obr. 40-41).



Obrázek 39. Citlivostní analýza NPV a navýšení výkonů očištěním v zimě ve srovnání s NPV bez čištění elektrárny.



Obrázek 40. Obrázek 39. Citlivostní analýza NPV a navýšení výkonů očištěním v létě ve srovnání s NPV bez čištění elektrárny.

Z daných výsledků je patrné, že očištění elektrárny před obdobím zimním s malou produkcí je finančně nevýhodné. Proto další úvahy se budou týkat očištění pouze v období letním na počátku měsíce května. Níže jsou výsledky závislosti čisté současné hodnoty na cenách energií pro případ nárstu efektivity 2 %.

Cena nákupní energií [Kč/kWh]	NPV s očištěním [Kč]	NPV bez čištění [Kč]
1	-816 604	-449 934
1,5	-110 041	251 016
2	596 522	951 965
2,5	1 303 085	1 652 915
3	2 009 648	2 353 865
4	3 422 774	3 755 764
6	6 249 026	6 559 562
8	9 075 278	9 363 361
10	11 901 529	12 167 159
15	18 967 159	19 176 655

Tabulka 21. Analýza hodnoty NPV pro letní čištění v případě navýšení nákupní ceny energií pro malé znečištění.

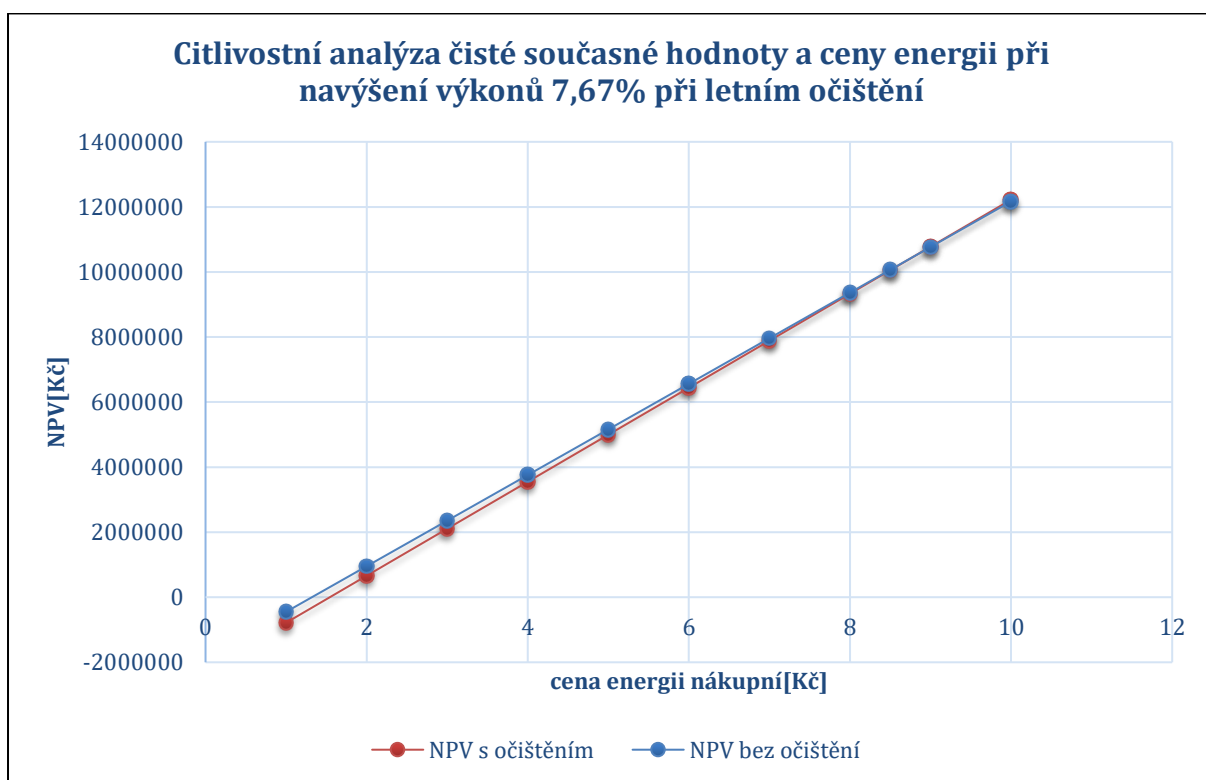
Vidíme, že ani při astronomické ceně energií 15 Kč/kWh jsme nedosáhli hodnoty NPV bez očištění. Citlivostní analýza zde z daného důvodu byla vynechána.

Další analýzou bude očištění v létě v případě nárstu efektivity **7,67 %**, kterého jsme dosáhli u více znečištěných modulů. Níže je tabulka s výsledky:

Cena nákupní energií	NPV s očištěním [Kč]	NPV bez čištění
1	-784 776	-449 934
2	660 177	951 965
3	2 105 131	2 353 865
4	3 550 084	3 755 764
5	4 995 038	5 157 663
6	6 439 991	6 559 562
7	7 884 945	7 961 462
8	9 329 898	9 363 361
8,5	10 052 375	10 064 310
<b>9</b>	<b>10 774 852</b>	<b>10 765 260</b>
10	12 219 805	12 167 159

Tabulka 22. Analýza hodnoty NPV pro letní čištění v případě navýšení nákupní ceny energií pro velké znečištění.

Můžeme dle výsledku vidět, že pro očištění více špinavých modulů pro očištění v období letním, dává daný výdaj smysl v případě, kdy klient by měl sjednanou smlouvu s nákupní cenou elektřiny pouze za 9 Kč/kWh a více. Daný stav ze všech předchozích je jediným reálným a zároveň i nejlepším výsledkem (Obr. 42).

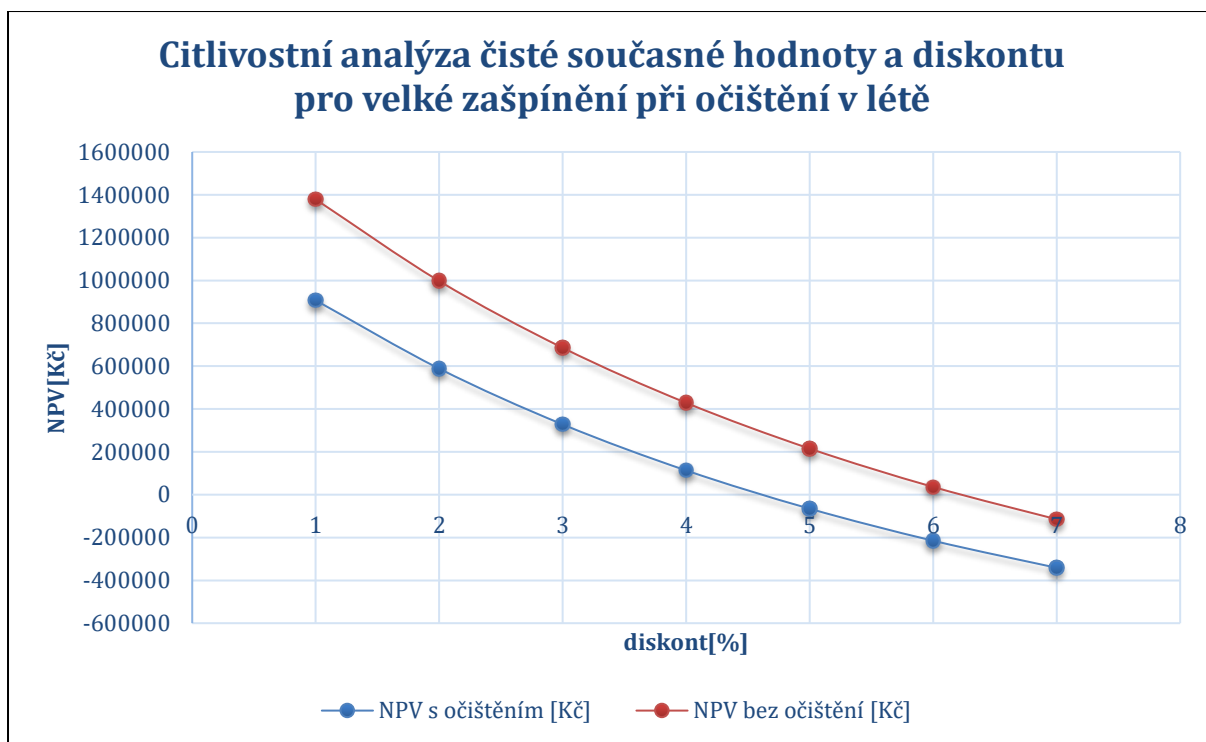


Obrázek 41. Citlivostní analýza čisté současné hodnoty a ceny energií při navýšení výkonů 7,67 % při letním očištění ve srovnání s NPV bez očištění elektrárny.

Jako poslední analýzu jsme provedli výpočet závislosti NPV bez očištění a s očištěním v letním období pro špinavější moduly s nárůstem efektivity **7,67 %** na diskontu.

Volba diskontu [%]	NPV s očištěním [Kč]	NPV bez očištění [Kč]
1	907 069	1 378 310
2	588 436	997 313
3	327 838	685 604
<b>4</b>	<b>112 996</b>	428 572
5	-65 541	214 955
<b>6</b>	<b>-215 090</b>	<b>36 032</b>
7	-341 342	-114 988

Tabulka 23. Analýza hodnoty NPV pro letní čištění více zašpiněných modulů v závislosti na diskontu.



Obrázek 42. Citlivostní analýza čisté současné hodnoty a diskontu pro velké zašpinění při očištění v létě ve srovnání s hodnotou NPV bez očištění.

Můžeme tedy dle vypočtených výsledku vidět, že největší diskont pro kladnou čistou současnou hodnotu činí **4,5 % pro** případ s očištěním, a **6 %** pro případ bez čištění elektrárny (Obr. 43).

Výsledkem ekonomické části bakalářské práce je ne moc pozitivní ekonomický stav pro případ, kdy bychom skutečně uvažovali o čištění fotovoltaické elektrárny. Pomocí různých typů citlivostních analýz jsme určili kritické body, při kterých hodnota NPV investice do elektrárny bez čištění modulů se rovnala hodnotě NPV investice do elektrárny s očištěním daných modulů. Dané kritické body však byly dosaženy pomocí parametrů značně vyšších, než je tomu tak pro případ běžného výrobce zelené energie pomocí fotovoltaické elektrárny.

## Zhodnocení bakalářské práce

V průběhu práce byly použité různé metody vyhodnocování výkonu fotovoltaické elektrárny, hustoty světelného toku a ekonomických vstupů s danými parametry spojenými. Vyhodnocován byl možný nárůst efektivity přeměny energie slunečního záření na energii elektrickou, vzniklý v důsledku očištění modulů. Jelikož působení nárůstů výkonů bylo stanoveno jako **3 měsíce**, nebyl plně využit potenciál zákroku kvůli špatnému načasování doby čištění před zimním obdobím s menším výkonem, než by tomu bylo v létě. Proto byly stanoveny poměry a teoretické předpoklady stavů, kdy bychom čištění prováděli v jiných měsících. Jako nejvíce finančně výhodný měsíc pro čištění jsme stanovili měsíc **květen**.

Analýza přínosu ve věci efektivity modulů byla nejdříve provedena pomocí laboratorního měření, kde jsme exaktně provedli odečet dat parametrů V-A charakteristik a elektroluminiscence 4 modulů v akreditované laboratoři ČVUT FEL. Zde jsme dosáhli výsledků **3,4 %** navýšení efektivity. Zapotřebí však bylo analyzovat moduly pro celou elektrárnu. Proto jsme provedli analýzu pomocí první metody, která se ukázala jako značně nepřesná. Dosaženo bylo výsledků **7 %** navýšení efektivity.

Abychom dosáhli přesnějších dat, provedli jsme zhodnocení navýšení pomocí druhé metody, kde jsme dosáhli značně přesnějších výsledků měření. Dosažli jsme zde **2 %** navýšení pro většinu modulů. Pro menší část elektrárny se zvětšeným zašpiněním v důsledku jejich špatného umístění na střeše jsme dosáhli nárůst **7,6 %** navýšení.

Abychom dosáhli menších chyb ve věci vyhodnocování byla vypočtena exaktní hodnota průměrné degradace modulů, která byla stanovena jako **0,7 %**. Daná hodnota odpovídá předpokladů z poskytnutého datasheetu 0,8 % ročně.

Důležité je podotknout, že ačkoliv jsme po celou dobu práce se snažili minimalizovat možnou nepřesnost výpočtů, kvůli několika podstatným faktorům plně zamezit možné odchylky od stavu skutečného možné nebylo. Prvním faktorem je skutečnost, že k dispozici nebylo žádné teplotní čidlo. Abychom zamezili větší chybě v důsledku zanedbání analýzy teploty, bylo v práci posuzováno mezi jednotlivými měsíci v intervalu 10 let. Druhým důležitým bodem je umístění čidla osvětlení, které má pouze jedno místo. Z čehož plyne, že jasně stanovit přesnou hustotu světelného toku každého modulů možné nebylo.

Po obdržení výstupu z technické části jsme zkoumali celkový ekonomický stav, kdy jsme vyhodnotili přínos očištění pro elektrárnu ČVUT v aktuálním stavu. Hodnotili jsme za podmínek sjednaných dle smlouvy ve věci ceny elektřiny nákupní a částky za takzvaný „Zelený bonus“. Druhou metodu v ekonomické části práce jsme provedli pro elektrárnu novou, kde jsme zkoumali případ, kde bychom chtěli přistoupit na zcela novou investici a narozdíl od prvního případu, nejednalo by se o stav, kdy je částka investována již je dávno splacená.

Pro stav aktuální jsme stanovili střední cenu očištění dle několika aktuálních firem na trhu. Daný krok jsme provedli, jelikož společnost, která čištění provedla, elektrárnu očistila zcela zdarma. Střední cenu za umytí jsme stanovili jako **19 280 Kč**. Poté jsme odečetli z poskytnutých zdrojů cenu nákupní v zimním období a v období letním. Dle harmonogramů tarifů jsme tak stanovili (viz. Příloha 1) hodnotu pro cenu nákupní elektřiny v létě **1,77 Kč/kWh**, a v zimě **1,81 Kč/kWh**. Po následné analýze (str. 38) jsme dospěli k závěrů, že dle stanovených hodnot NPV, není čištění bez aktivní smlouvy ve věci zeleného bonusu finančně atraktivní. Jakožto alternativa, bylo navrženo vytvoření pracovní pozice na pozici uklízeče fotovoltaických modulů. Následně po obdržení informací o počtu lidí a počtu odpracovaných hodin, potřebných k očištění elektrárny, jsme navrhli orientační hodinovou mzdu. To

vše jsme provedli v závislosti na tom, zda bychom čištění provedli v zimě, anebo v létě, zda se stále aktivní smlouvou zeleného bonusu či bez. Dospěli jsme k hodnotě **421 Kč/h.** pro očištění v létě během aktivního zeleného bonusu, a **146 Kč/h.** pro očištění v období zimním. Jelikož stav bez zeleného bonusu byl finančně pod hranicí minimální hodinové mzdy v České republice, vyhodnocujeme výdaj očištění bez aktivní smlouvy ve věci zeleného bonusu jako finančně nevýhodný.

Druhá metoda, která byla v ekonomické části práce posuzována, se týkala stavu nové investice do nové fotovoltaické elektrárny bez akumulace. Zde jsme po stanovení všech parametrů opět dospěli k názoru, že pro aktuální parametry ani jedno řešení bez zeleného bonusu by pro investora výhodné nebylo. Abychom určili kritické body, při kterých bychom dosáhli hodnoty NPV s očištěním shodné, s hodnotou NPV bez čištění, vyhodnotili jsme několik grafických zobrazení citlivostních analýz. Pro citlivostní analýzu NPV v závislosti na velikosti zvýšení efektivity, pro období zimní bychom museli dosáhnout absurdní hodnoty **107 %**. Pro očištění letní bychom stavu dosáhli při stále nadměrně vysoké hodnotě **43 %**. Zde vidíme, že úvahy o zimním čištění nejsou pro pozitivní ekonomický stav reálné, proto v následujících krocích jsme uvažovali očištění pouze v období letním.

Pro letní období jsme stanovili další citlivostní analýzu, kde jsme posuzovali závislost čisté současné hodnoty pro panely méně zašpiněné (nárůst efektivity **2 %**) na ceně energii. Jelikož ani při nepravděpodobné hodnotě 15 Kč/kWh jsme nedosáhli na hodnotu NPV bez čištění, usuzujeme, že pro znečištění malé, nemá cena energie zásadní vliv na ekonomický výsledek situace.

Jeden z posledních posudků byla citlivostní analýza hodnoty NPV pro silně znečištěné panely (nárůst efektivity **7,6 %**) při čištění letním, na ceně energii. Zde jsme dosáhli hodnoty NPV potřebné pro stav návratnosti daného výdaje při ceně energii **9 Kč/kWh**. Daný stav počítáme jako jediný reálný ze všech zmíněných a posuzovaných v dané práci pro novou elektrárnu.

Posledním posudkem byla citlivostní analýza hodnoty NPV pro silně znečištěné moduly během letního čištění v závislosti na změně diskontu. Zde jsme dosáhli diskontu **4,5 %** pro hodnotu NPV s očištěním elektrárny, a hodnoty **6 %** pro hodnotu NPV bez čištění.

Po celkovém hodnocení výše zmíněných dat, můžeme jasně stanovit, že očištění fotovoltaické elektrárny v České republice je značně neprofitabilní v případě, kde by moduly nebyly vystaveny extrémnímu znečištění. Také by se dalo o daném výdaji uvažovat v případě jiných extrémních parametrů. Pro průměrnou instalaci však daný výdaj ztrácí na významu, a není z ekonomického hlediska rozumným zárokem pro zvětšení celkového zisku podniku.

## Literatura

- [1] T. Markvart, L. Castaner; Practical Handbook of Photovoltaics; ISBN 978-0-12-385934-1; 2012:  
[https://www.academia.edu/8047879/PRACTICAL\\_H\\_A\\_N\\_D\\_B\\_O\\_O\\_K\\_OF\\_Phot\\_iarkvart\\_and\\_1\\_ELSEVIER\\_H\\_andbook\\_of\\_Photovoltaics\\_Section\\_Finder](https://www.academia.edu/8047879/PRACTICAL_H_A_N_D_B_O_O_K_OF_Phot_iarkvart_and_1_ELSEVIER_H_andbook_of_Photovoltaics_Section_Finder)
- [2] Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, ISE with support of PSE Projects GmbH; 2023:  
<https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf>
- [3] Chint Global blog – Difference between Thin-Film and Crystalline Silicon Solar Panel; 2023:  
<https://chintglobal.com/blog/difference-between-thin-film-and-crystalline-silicon-solar-panel/>
- [4] Prof. Ing. Vitězslav Benda, CSc., Ing. Pavel Hrzina, Ph.D. Solární systémy a elektrochemické zdroje. Fotovoltaický jev, fotovoltaické články a jejich charakteristiky; 2023:  
[https://moodle.fel.cvut.cz/pluginfile.php/393260/mod\\_resource/content/0/B1B%203d.pdf](https://moodle.fel.cvut.cz/pluginfile.php/393260/mod_resource/content/0/B1B%203d.pdf)
- [5] Solární (fotovoltaické) články; 2023:  
<https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm#:~:text=Jeho%20z%C3%A1kladem%20je%20tenk%C3%A1%20k%C5%99em%C3%ADkov%C3%A1,m%C5%99%C3%AD%C5%BEky%20za%C4%8Dnou%20uvol%C5%88ovat%20z%C3%A1porn%C3%A9%20elektrony>
- [6] Fotovoltaický článek; 2023:  
[https://cs.wikipedia.org/wiki/Fotovoltaick%C3%BD\\_%C4%8DI%C3%A1nek#:~:text=Prakticky%20se%20dosahuj e%20v%20p%C5%99%C3%ADpad%C4%9B,8%2D15%20procent%20dle%20technologie](https://cs.wikipedia.org/wiki/Fotovoltaick%C3%BD_%C4%8DI%C3%A1nek#:~:text=Prakticky%20se%20dosahuj e%20v%20p%C5%99%C3%ADpad%C4%9B,8%2D15%20procent%20dle%20technologie).
- [7] Eirini Gkoutioudi; Panagiotis Bakas; Antonios Marinopoulos Conference: 2013 IEEE 39th Photovoltaic Specialists Conference; 2023: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6745070>
- [8] Nejpoužívanější pojmy ve fotovoltaice; 2014:  
[https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11772\\_nejpouzivanejsi-pojmy-ve-fotovoltaice](https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11772_nejpouzivanejsi-pojmy-ve-fotovoltaice)
- [9] F. Žemla, J. Cigánek, D. Rosinová, E. Kučera, O. Haffner; Complex Positioning System for the Control and Visualization of Photovoltaic Systems; Energies 16 (10); 2023: <https://doi.org/10.3390/en16104001>
- [10] Prof. Ing. Vitězslav Benda, CSc. Fotovoltaické články (historie, současný stav a trendy); 2023  
<https://docplayer.cz/17838036-Fotovoltaicke-clanky.html>
- [11] Ahmed Subhi Abdalkafor – University of Anbar. Mohammed Qasim Taha – University of Anbar. Analysis of the Hard and Soft Shading Impact on Photovoltaic Module Performance Using Solar Module Tester; 2019:  
<http://doi.org/10.11591/ijpeds.v10.i2.pp1014-1021>
- [12] Prof. Ing. Vitězslav Benda, CSc., Ing. Pavel Hrzina, Ph.D. Solární systémy a elektrochemické zdroje. Solární energie; 2023): [https://moodle.fel.cvut.cz/pluginfile.php/393259/mod\\_resource/content/0/BIB%201d.pdf](https://moodle.fel.cvut.cz/pluginfile.php/393259/mod_resource/content/0/BIB%201d.pdf)
- [13] Sławomir Gulkowski, Ewelina Krawczak. Long-Term Energy Yield Analysis of the Rooftop PV System in Climate Conditions of Poland; 2024): <https://doi.org/10.3390/su16083348>
- [14] Zpravodajský servis ČVUT; 2023:  
<https://aktualne.cvut.cz/zpravy-z-medii/20230103-tipy-pro-solarniky-snih-se-ometat-nevyplati-pozor-na-zastineni-treba-i>



- [15] Shayan Umar, Adeel Waqas. Science Direct. A building integrated solar PV surface; 2022  
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119122>
- [16] Bernard Aboagye. Science Direct. Degradation analysis of installed solar photovoltaic modules; 2021:  
<https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.10.046>
- [17] Tiger Neo N-type 54HL4R-(V) 425-445 Watt datasheet; 2023  
<https://jinkosolar.eu/wp-content/uploads/JKM425-445N-54HL4R-V-F1.3C1-EN-BF-EU.pdf>
- [18] LDK SOLAR MODULES datasheet; 2010:  
[http://www.jabe-elektrotechnik.nl/fileadmin/user\\_upload/LDK\\_solar\\_module.pdf](http://www.jabe-elektrotechnik.nl/fileadmin/user_upload/LDK_solar_module.pdf)
- [19] Veidec – výrobce a distributor chemických výrobků 2024: <https://veidec.com/en/duo-clean>
- [20] ČVUT / Fakulta elektrotechnická / Katedra elektrotechnologie / LDFS / Služby; 2024:  
<https://ldfs.fel.cvut.cz/lumin.html>
- [21] ERU – roční zpráva o provozu elektrizační soustavy České republiky; 2022:  
<https://eru.gov.cz/rocnizprava-o-provozu-elektrizacni-soustavy-cr-pro-rok-2022>
- [22] Svaz moderní energetiky – Rozvoj obnovitelných zdrojů v Česku do roku 2030; 2023:  
<https://www.modernienergetika.cz/wp-content/uploads/2023/06/Rozvoj-obnovitelnych-zdroju-do-roku-2030-Final-quality-pod-sebou-.pdf>
- [23] Masarykova univerzita – Metody NPV a IRR Metody\_NPV\_a\_IRR; 2016:  
[https://is.muni.cz/el/sci/podzim2016/G5111/um/Metody\\_NPV\\_a\\_IRR.pdf](https://is.muni.cz/el/sci/podzim2016/G5111/um/Metody_NPV_a_IRR.pdf)
- [24] Energetický regulační úřad – zelený bonus; 2022:  
<https://eru.gov.cz/jaky-je-rozdil-mezi-zelenym-bonusem-vykupni-cenou>
- [25] Kerosin s.r.o. – služby a servis; 2024: <https://www.kerosin.cz/sluzba/servis/>
- [26] ProServis s.r.o. – služby, mytí fotovoltaických panelů; 2024:  
<https://www.profi-servis.cz/sluzby/myti-fotovoltaickych-panelu>
- [27] SolarCareProgram – služby, čištění fotovoltaických panelů; 2024:  
<https://solarcareprogram.cz/cistenifotovoltaickychpanelu/>
- [28] NanoFusion – price list 2023; 2023: <https://www.cistenimpregnace.com/en/cistenifvepanelu>
- [29] Česká národní banka – inflační cíl; 2024: <https://www.cnb.cz/cs/menova-politika/inflacni-cil/>
- [30] reWATT s.r.o. – realizace fotovoltaických elektráren; 2024: <https://www.rewatt.cz/>

## Soupiska komponent

Typ komponentu	Značení
Fotovoltaický modul 1	32011512020406415 B
Fotovoltaický modul 2	20100807013
Fotovoltaický modul 3	20100807121
Fotovoltaický modul 4	20100807323
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

*Tabulka 6. Soupiska komponent*

## Seznam tabulek

Tabulka 1. Předpokládané rozložení produkovaného výkonu v roce v závislosti na období.....	16
Tabulka 2. Datasheet modulu zkoumané elektrárny.....	21
Tabulka 3. Údaje STC při měření v laboratoři. ....	22
Tabulka 4. Tabulka MPP modulů. Výsledek laboratorních měření.....	26
Tabulka 5. Analýza degradace modulů v období 2012–2022 .....	29
Tabulka 6. Výsledek rozložení produkce elektrárny v roce v závislosti na období. ....	30
Tabulka 7. Výstup technické části bakalářské práce.....	33
Tabulka 8 Cena nákupní elektřiny v létě a velikost zeleného bonusu pro budovu ČVUT Dejvice.	
Tabulka 9 Společnosti poskytující služby ve věci servisu a čištění fotovoltaických modulů.....	37
Tabulka 10. Data použita při ekonomickém zhodnocení.....	38
Tabulka 11. Srovnání rozložení výkonu v roce dle jednotlivých měsíců hodnot referenčních a změřených.....	39
Tabulka 12. Velikost příjmu dle čištění v jednotlivých měsících. Největšího příjmu je dosaženo při očištění v květnu. ....	39
Tabulka 13. Maximální cena výdaje pro NPV = 0 pro čištění v zimě s využitím zeleného bonusu.	40
Tabulka 14. Maximální cena výdaje pro NPV = 0 pro čištění v zimě bez využití zeleného bonusu.	40
Tabulka 15. Maximální cena výdaje pro NPV = 0 pro čištění v létě s využitím zeleného bonusu.	40
Tabulka 16. Maximální cena výdaje pro NPV = 0 pro čištění v létě bez využití zeleného bonusu.	40
Tabulka 17. Maximální platové ohodnocení nově vytvořené pozice pro umytí modulů pro NPV = 0 .....	40
Tabulka 18. Stanovení parametrů pro analýzu investice do instalace střešní fotovoltaické elektrárny a následná úvaha o přínosu výdaje očištění .....	41
Tabulka 19. Stanovené hodnoty NPV pro jednotlivé situace. ....	41
Tabulka 20. Analýza hodnoty NPV pro zimní a letní čištění v případě navýšení výkonu .....	42
Tabulka 21. Analýza hodnoty NPV pro letní čištění v případě navýšení nákupní ceny energií pro malé znečištění. ....	43
Tabulka 22. Analýza hodnoty NPV pro letní čištění v případě navýšení nákupní ceny energií pro velké znečištění. ....	44
Tabulka 23. Analýza hodnoty NPV pro letní čištění více zašpiněných modulů v závislosti na diskontu. ....	45

## Seznam obrázků

Obrázek 1 Poměr produkce různých typu článků ve světě roků 2021[2].	9
Obrázek 2 Přehled základních struktur fotovoltaického článku: a) BSF struktura, b) struktura PERC z roku 1988 dle, c) současná struktura PERC [6].	11
Obrázek 3 Ukázka fotovoltaického článku [5].	11
Obrázek 4 Náhradní schéma fotovoltaického článku [1].	11
Obrázek 5 Volt ampérová charakteristika různých fotovoltaických článků [8].	12
Obrázek 6 Sluneční záření v atmosféře dlé různé atmosferické hmoty na území Slovenské republiky [9].	13
Obrázek 7. Grafické zobrazení fill factoru v grafu volt ampérové charakteristiky [11].	13
Obrázek 8 Nákres dopadajícího záření na modul [12].	14
Obrázek 9 V-A charakteristika ideálního článku (nahore) a produkovaný výkon článku (vespod). Generovaný výkon je úměrný ploše obdélníku pod křivkou na obrázku horním.[1]	15
Obrázek 10. Teoretický předpoklad rozložení produkovaného výkonu v roce fotovoltaických článků. [1]	16
Obrázek 11. Rozložení produkovaného výkonu v roce fotovoltaických článků dle studie prováděné v letech 2020 – 2022 [13].	16
Obrázek 12 Ukázka velmi zašpiněných panelů. Severní Čechy, Ústí nad Labem (osobní zdroj). ...	17
Obrázek 13 Předpokládaná degradace výkonu fotovoltaických článků [1].	19
Obrázek 14 Degradace výkonu modulu Tiger Neo N-type [17].	19
Obrázek 15 Fotodokumentace čištění fotovoltaických panelů (osobní zdroj).	20
Obrázek 16 Špinavost panelu před čištěním (osobní zdroj).	20
Obrázek 17 Závislost průměrného denního výkonu na průměrný hustotě osvitu pro střídač D3s13 (osobní zdroj).	21
Obrázek 18 Elektroluminiscence panelu 20100807013 před umytím.	23
Obrázek 20 Elektroluminiscence panelu 20100807013 po umytí demineralizovanou vodou	23
Obrázek 21 Elektroluminiscence panelu 20100807121 před umytím.	24
Obrázek 22 Elektroluminiscence panelu 20100807121 po umytí čistou vodou	24
Obrázek 23 Elektroluminiscence panelu 32011512020406415 B před umytím	24
Obrázek 24 Elektroluminiscence panelu 32011512020406415 B po umytí Duoclean vodou s vodou obyčejnou v poměru 1:20	25
Obrázek 25 V-A charakteristika vybraného modulu před a po umytí	27
Obrázek 26 V-P charakteristika vybraného modulu před a po umytí.	27
Obrázek 27 Grafický průběh vyprodukovaného výkonu měřených modulů v roce 2013	28
Obrázek 28 Hustota světelného toku po 5 minutách v roce 2013	28
Obrázek 29. Porovnání výsledných hodnot rozložení výkonu v roce s teoretickým předpokladem.	
Obrázek 30 Rozdíl poměrů intenzity záření a výkonů střídače VVN Střídač 2 - 2x13 v letech 2022 a 2023 Nemyté panely	31
Obrázek 31 Grafické znázornění poklesu poměrů mezi výkonem a hustotou světelného toku v letech 2012-2023	32
Obrázek 32 Grafické znázornění poklesu poměrů mezi výkonem a hustotou světelného toku měsíců v roce po čištění 2023 a rok před očištěním 2022.	32
Obrázek 33 Rozdíl výkonů v letech 2013-2014	33

Obrázek 34 Podíl paliv a technologií na výrobě elektřiny brutto v jednotlivých měsících pro rok 2022 [21].	34
Obrázek 35 Vývoj výroby elektřiny v České republice [21].	34
Obrázek 36 Vývoj instalovaného výkonu FVE v České republice [21].	35
Obrázek 37 Celkový instalovaný výkon FVE při výstavbě s využitím dostupné finanční podpory (GW) [22].	35
Obrázek 38 Teoretický předpoklad vývoje výkonu FVE po očištění (osobní zdroj).	36
Obrázek 39 Teoretický předpoklad průběhu NPV [23].	36
Obrázek 40. Citlivostní analýza NPV a navýšení výkonů očištěním v zimě ve srovnání s NPV bez čištění elektrárny.	42
Obrázek 41. Obrázek 39. Citlivostní analýza NPV a navýšení výkonů očištěním v létě ve srovnání s NPV bez čištění elektrárny.	43
Obrázek 42. Citlivostní analýza čisté současné hodnoty a ceny energií při navýšení výkonů 7,67% při letním očištění ve srovnání s NPV bez očištění elektrárny.	44
Obrázek 43. Citlivostní analýza čisté současné hodnoty a diskontu pro velké zašpínění při očištění v létě ve srovnání s hodnotou NPV bez očištění.	45