



---

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

**Využití protihlukových stěn pro výrobu elektřiny**

**Noise barriers utilization for electricity production**

Diplomová práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Management energetiky a elektrotechniky

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Králík, Ph.D.

**Bc. Mikuláš Prouza**

---

Praha 2022



## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Prouza** Jméno: **Mikuláš** Osobní číslo: **474434**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávatel katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**  
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**  
Specializace: **Management energetiky a elektrotechniky**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Využití protihlukových stěn pro výrobu elektřiny**

Název diplomové práce anglicky:

**Noise barriers utilization for electricity production**

Pokyny pro vypracování:

1. Současný stav technologií PV pro integraci do stavebních konstrukcí
2. Energetický potenciál integrovaných PV
3. Solární protihlukové stěny a jejich specifika
4. Ekonomické zhodnocení projektu protihlukové stěny s využitím PV

Seznam doporučené literatury:

KRIPPNER, Roland, Gerd BECKER a Susanne HAUGER, ed. Building-integrated solar technology: architectural design with photovoltaics and solar thermal energy. 1. Auflage. Munich: Detail Business Information, 2017. Edition Detail green books. ISBN 978-3-95553-362-5.  
SRDEČNÝ, Karel. Fotovoltaika v budovách: dosavadní zkušenosti pro budoucí rozvoj. Praha: EkoWATT, 2009. ISBN 978-80-87333-04-4.  
GOETZBERGER, Gerhard KLEISS, Salvatore CASTELLO, Georg HILLE, Christian REISE, E. WIEMKEN, Jethro BETCKE, V.A.P. DIJK, Nicola PEARSALL, Kathleen HYNES, B. GAIDDDON, T. NORDMANN a A. FROELICH. Evaluation of the potential of PV noise barrier technology for electricity production and market share, Final Report. 1999.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**Ing. Tomáš Králík, Ph.D. katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd FEL**

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

Datum zadání diplomové práce: **07.02.2022** Termín odevzdání diplomové práce: **20.05.2022**

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2023**

Ing. Tomáš Králík, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

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

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta



## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a v souladu s Metodickým pokynem o dodržení etických principů pro vypracování závěrečných prací a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Praze dne .....

.....

Bc. Mikuláš Prouza



## Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce, panu Ing. Tomáši Králíkovi, Ph.D., za cenné připomínky a rady v průběhu vypracování této práce. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat za podporu při celé době studia své přítelkyni a své rodině, bez kterých by to nebylo možné.





## Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá tematikou využití protihlukových stěn k výrobě elektrické energie. Teoretická část se věnuje problematice produkce emisí skleníkových plynů na území Evropy, stanovení cílů v oblasti klimatu a zvýšení počtu OZE v sektoru energetiky. Praktická část se zaměřuje na stanovení energetického potenciálu současných protihlukových stěn na území České republiky za pomoci WGS souřadnic zaznamenaných v geografickém nástroji GIS. Výsledkem práce je určení energetického potenciálu zmapovaných protihlukových stěn a ekonomické hodnocení projektu fotovoltaické protihlukové stěny.

## Klíčová slova

Obnovitelné zdroje energie, emise skleníkových plynů, klimatické cíle, protihlukové stěny, Haversinova rovnice, GIS data, výroba elektřiny, zhodnocení investice

## Abstract

This diploma thesis deals with the topic of using noise barriers for power generation. The theoretical part deals with production of greenhouse gas emissions in Europe, setting climate targets and increasing of RES in the power energy sector. The practical part focuses on the determination of the energy potential of the current noise barriers in the Czech Republic using WGS coordinates recorded in a GIS tool. The result of the diploma thesis is determination of the energy potential of the mapped noise barriers and the economic evaluation of the photovoltaic noise barrier project.

## Key words

Renewable energy sources, greenhouse gas emissions, climate targets, noise barriers, Haversine equation, GIS data, production of electricity, investment evaluation



# Obsah

Obsah .....	XI
Seznam použitých zkratk.....	XIII
Seznam obrázků .....	XIV
Seznam tabulek .....	XV
Seznam grafů.....	XVI
Úvod .....	17
1. Problematika klimatu a OZE.....	19
1.1. Green deal .....	19
1.2. Fit for 55.....	21
1.3. Taxonomie EU .....	23
1.4. Cíle ČR v oblasti energetiky .....	25
1.5. Plány municipalit .....	27
2. Integrace FV článků do budov.....	31
2.1. Integrace do fasád .....	31
2.2. Integrace do střech .....	33
2.3. Integrace do protihlukových stěn.....	35
2.4. Současný stav technologií integrace .....	37
3. Připojení decentrálních zdrojů do distribuční soustavy .....	39
3.1. Podmínky pro připojení FVE do distribuční soustavy.....	39
3.2. Možnosti prodeje vyrobené elektřiny do DS .....	40
3.3. Vliv decentrálních FVE na elektrizační soustavu .....	41
4. Solární protihlukové stěny .....	43
4.1. Možnosti instalace FV na protihlukové stěny.....	44

4.2.	Údržba solárních protihlukových stěn .....	47
4.3.	Nebezpečí použití FV panelů na protihlukových stěnách .....	48
5.	Energetický potenciál protihlukových stěn.....	51
5.1.	Podklady a problematika potenciálu PHS .....	51
5.2.	Technický model.....	56
5.3.	Technický potenciál PHS .....	64
6.	Projekt protihlukové stěny .....	69
6.1.	Technický model projektu .....	70
6.2.	Ekonomický model projektu .....	71
6.2.1.	Přijaté předpoklady .....	73
6.2.2.	Výsledky ekonomického modelu.....	77
6.3.	Citlivostní analýzy .....	78
6.3.1.	Citlivostní analýza ceny FV panelů.....	79
6.3.2.	Citlivostní analýza ceny údržby FV panelů.....	80
6.3.3.	Citlivostní analýza výkupní ceny elektřiny .....	81
6.3.4.	Citlivostní analýza eskalace ceny elektřiny.....	82
6.3.5.	Citlivostní analýza diskontu .....	83
6.4.	Shrnutí výsledků projektu FVPHS na úseku D35 .....	84
	Závěr .....	87
	Použité zdroje a literatura .....	89
	Přílohy .....	I

# Seznam použitých zkratek

<b>BREEAM</b>	Building Research Establishment Environmental Assessment Method
<b>CAPM</b>	Model oceňování kapitálových aktiv (Capital asset pricing model)
<b>ČNB</b>	Česká národní banka
<b>ČR</b>	Česká republika
<b>ČSÚ</b>	Český statistický úřad
<b>EnMS</b>	Energetický management
<b>EK</b>	Evropská komise
<b>EU</b>	Evropská unie
<b>FV</b>	Fotovoltaický, -é
<b>FVE</b>	Fotovoltaická elektrárna
<b>FVPHS</b>	Fotovoltaická protihluková stěna
<b>GPS</b>	Globální polohový systém (Global positioning system)
<b>GWp</b>	Gigawatt peak
<b>HMP</b>	hlavní město Praha
<b>IRR</b>	Vnitřní výnosové procento (Internal Rate of Return)
<b>kWp</b>	Kilowatt peak
<b>LEED</b>	Leadership in Energy and Environmental Design
<b>MPO</b>	Ministerstvo průmyslu a obchodu
<b>MWp</b>	Megawatt peak
<b>NPV</b>	Čistá současná hodnota (Net Present Value)
<b>OPŽP</b>	Operační program životního prostředí
<b>OTSKP</b>	Oborový třídník stavebních konstrukcí a prací
<b>OZE</b>	Obnovitelné zdroje energie
<b>PHS</b>	Protihluková stěna
<b>PPA</b>	Smlouva o dlouhodobém nákupu elektřiny (Power Purchase Agreements)
<b>PPK</b>	Požadavky na provedení a kvalitu
<b>ŘSD</b>	Ředitelství silnic a dálnic
<b>SŽ</b>	Správa železnic
<b>TWh</b>	Terawatthodina
<b>WM</b>	Wolfram Mathematica
<b>Wp</b>	Watt peak

# Seznam obrázků

Obrázek 1 Průběh emisí v Evropské unii dle odvětví [11 s. 202].....	23
Obrázek 2 Emise kilogramu CO <sub>2</sub> na vyrobenou kWh energie dle vybraných zemí [16] ...	25
Obrázek 3 Předpokládané změny v jednotlivých odvětví [19].....	27
Obrázek 4 Integrovaný solární článek do skleněné desky [23].....	31
Obrázek 5 Pohled na jižní stranu budovy AZ Tower v Brně [26].....	32
Obrázek 6 Příklady integrace pomocí tenkovrstvé fólie (vlevo) a FV součástí krytiny (vpravo) [30, 31].....	34
Obrázek 7 Integrace solárních článků přímo do struktury stěny, Německo [37, 38].....	36
Obrázek 8 Příklad solární protihlukové stěny ve Švýcarsku na dálnici A2 [53] .....	43
Obrázek 9 Možná řešení instalace FV panelů na protihlukových stěnách (upraveno autorem) [55] .....	45
Obrázek 10 Ilustrační obrázek umístění panelu na vrchol stěny (upraveno autorem) [35, 57] .....	46
Obrázek 11 Protihlukové stěny na území hl. m. Prahy (vytvořeno na základě [64]).....	52
Obrázek 12 Příklad PHS s velkým zastíněním od zeleně Zdroj: mapy.cz.....	53
Obrázek 13 Příklad PHS bez zastínění zelení Zdroj: mapy.cz .....	54
Obrázek 14 Řez pozemní komunikací a příčný rozvod elektřiny k hlásce [57].....	55
Obrázek 15 Ukázka portálu bez světelné signalizace na Pražském okruhu Zdroj: mapy.cz .....	56
Obrázek 16 Portál se světelnou signalizací a možností hlášení Zdroj: mapy.cz .....	56
Obrázek 17 Ukázka struktury dat k protihlukovým stěnám pro Prahu [60].....	57
Obrázek 18 Příklad bodů jednotlivých stěn (vlevo rovná stěna, vpravo zakřivená stěna)	58

Obrázek 19 Ilustrační obrázek myšlenky Haversinovy rovnice [63] .....	59
Obrázek 20 Výstup výpočtu délky úseku PHS v programu WM.....	60
Obrázek 21 Ilustrace dominování horní polokoule země při instalaci FVE na PHS.....	61
Obrázek 22 Plánovaný úsek Vysoké Mýto-Džbánov dálnice D35 [74].....	69
Obrázek 23 Vykreslení GIS dat PHS v úseku D35 (vytvořeno autorem z dat ŘSD).....	70

## Seznam tabulek

Tabulka 1 Přehled instalovaných solárních stěn v jednotlivých zemích [52] .....	44
Tabulka 2 Popis jednotlivých technologií z předešlého obrázku (upraveno autorem) [30]	45
Tabulka 3 Rozdělení intervalu orientace panelů FVE .....	62
Tabulka 4 Analýza optimálního sklonu panelů při změně jejich orientace [69].....	63
Tabulka 5 Výsledky energetického potenciálu pro PHS na území Prahy .....	65
Tabulka 6 Výsledky energetického potenciálu pro PHS v majetku ŘSD .....	65
Tabulka 7 Celkový potenciál PHS na území ČR ve správě HMP a ŘSD .....	66
Tabulka 8 Výsledky technického modelu FVE na celé PHS v úseku D35.....	71
Tabulka 9 Složky investičních nákladů pro FV systém .....	72
Tabulka 10 Investiční náklady dle technického modelu .....	72
Tabulka 11 Porovnání investic do protihlukové stěny a FVPHS.....	73
Tabulka 12 Přijaté předpoklady pro ekonomické hodnocení projektu .....	75
Tabulka 13 Výsledky ekonomického modelu FVPHS v úseku D35.....	77
Tabulka 14 Citlivostní analýza frekvence údržby scénáře 5.....	81

# Seznam grafů

Graf 1 Vývoj podílu OZE na výrobě elektřiny v České republice (upraveno autorem) [18]	26
Graf 2 Plánovaný vývoj uhlíkové stopy hlavní města Prahy (vytvořeno z dat [18]) .....	28
Graf 3 Citlivostní analýza ceny FV panelů.....	79
Graf 4 Citlivostní analýza ceny údržby FV panelů .....	80
Graf 5 Citlivostní analýza ceny výkupní elektřiny.....	82
Graf 6 Citlivostní analýza eskalace ceny elektřiny.....	83
Graf 7 Citlivostní analýza diskontní sazby .....	84



# Úvod

Téma obnovitelných zdrojů energie a snížení emisí skleníkových plynů se v současné době hodně diskutuje v celé společnosti a na všech jejích úrovních. Toto téma souvisí s klimatickými změnami, které jsou často skloňovány společně s problematikou emisí skleníkových plynů. To se také týká energetiky, protože se stále k výrobě elektřiny používají převážně fosilní paliva, od kterých se postupně ustupuje. Náhradou za fosilní zdroje elektřiny mají být OZE, bohužel jejich implementace zabírá velké plochy půdy a nedisponují vysokou koncentrací energie v daném místě.

To bylo motivací pro zpracování právě tohoto tématu v mé diplomové práci bylo. Současně využití protihlukových stěn k výrobě elektřiny v podmínkách ČR nebylo zatím více řešeno. Již v bakalářské práci jsem se zabýval fotovoltaickým systémem pro rodinné domy, takže jsem na to chtěl navázat i ve své diplomové práci. Od zpracování bakalářské práce se situace v oblasti OZE výrazně změnila, proto jsem se chtěl zaměřit na zatím neprobádanou možnost využití obnovitelných zdrojů.

V souvislosti s velkým tlakem na zvýšení podílu obnovitelných zdrojů se také zvyšuje tlak na možnosti využití nestandardních ploch pro jejich instalaci. Z OZE se v České republice nejvíce využívají solární a větrné zdroje. V současné době často dochází k umístování FV panelů na střechy budov nebo jejich fasády. V rámci zastavěných ploch se prostřednictvím nových technologií integrují FV systémy přímo do stavebních konstrukcí. Proto bych v této práci rád ověřil, zda protihlukové stěny disponují takovým potenciálem, že by mohli alespoň částečně nahradit pozemní instalace FVE nebo konkurovat instalacím na budovách.

Určení energetického potenciálu protihlukových stěn jsem založil na GIS datech protihlukových stěn. K dispozici jsem měl data o PHS na území hlavního města Prahy a PHS ve správě společnosti ŘSD. V těchto datech jsou zaznamenány zeměpisné souřadnice jednotlivých úseků protihlukových stěn. Na základě těchto souřadnic a Haversinova zákona jsem byl schopen spočítat délku a azimut úseků zmapovaných stěn. Poté jsem za stanovených vstupních předpokladů určil instalovaný výkon a výrobu elektrické energie daného FV systému.

V průběhu práce se věnuji závazným dokumentům přijatým Evropskou komisí pro dosažení stanovených cílů v oblasti klimatu. Další kapitola je věnována dostupným technologiím pro integraci FV článků do stavebních konstrukcí. Jednu kapitolu jsem věnoval

solárním protihlukovým stěnám a jejich specifikům. Následně jsem pomocí nástroje GIS a Wolframu Mathematica vyčíslil energetický potenciál zmapovaných protihlukových stěn. Na závěr práce se věnuji technickému a ekonomickému hodnocení ukázkové FVPHS v plánovaném úseku dálnice D35.

Cílem diplomové práce je stanovení technického potenciálu současných protihlukových stěn na území České republiky a ekonomické hodnocení projektu solární protihlukové stěny v podmínkách ČR.

# 1. Problematika klimatu a OZE

V dnešní společnosti hodně rezonuje tématika globálního oteplování a probíhajících klimatických změn. S tímto tématem se často spojuje sektor energetiky, který je významným producentem emisí skleníkových plynů. Tato produkce je přímo spjatá s palivovou základnou elektráren, kterou zejména tvořeny fosilními palivy. Z tohoto důvodu se v rámci EU věnuje velká pozornost právě vytvoření určité nezávislosti na fosilních palivech při výrobě elektřiny a udržení konkurenceschopnosti nových zdrojů.

Hlavním nástrojem pro dosažení soběstačnosti a útlumu využití fosilních paliv na poli energetiky budou OZE, které by v následujících letech měly ve velké míře nahradit fosilní zdroje elektřiny. Pro zmírnění dopadů klimatických změn byly vydány strategické dokumenty, které mají za úkol stanovit závazné cíle, které sníží dopady společnosti na klima. Cíle jsou definovány pro všechny sektory hospodářství EU a jsou závazné pro všechny členské státy. V energetice, která je hlavní pro moji diplomovou práci, se jedná zejména o cíle zvýšení energetické účinnosti a zvýšení podílu OZE na výrobě elektřiny.

Pro využití OZE v geografických podmínkách České republiky se bude jednat zejména o fotovoltaické a větrné zdroje. V rámci této diplomové práce jsou významné hlavně fotovoltaické zdroje energie, protože je lze jednoduše využít na různých zastavěných plochách. Proto jsou vhodným zdrojem pro instalaci na protihlukové stěny. Na využití jednotlivých ploch se mohou zaměřovat plány municipalit nebo společností spadající pod státní samosprávu.

## 1.1. Green deal

Jedná se o komplexní dokument, který má za úkol stanovit cíle Evropské unie v mnoha oblastech v souvislosti se snížením emisí skleníkových plynů, snížením energetické náročnosti a zvýšením konkurenceschopnosti. Dohoda si zakládá na opatřeních týkajících se téměř všech sektorů a oblastí společnosti, aby bylo možné dosáhnout stanovených cílů, proto její dopady budou velmi zásadní pro celou společnost.

Green deal reaguje na změnu klimatu a zhoršující se stav životního prostředí. Dohoda zasahuje cíleně několik sektorů tak, aby bylo dosaženo nejlepšího hospodářství v Evropské unii a současně také zvýšení životní úrovně obyvatel starého kontinentu. V Green deal jsou zahrnuty oblasti klimatu, dopravy, zemědělství, průmyslu, výzkumu a inovace, životního prostředí a oceánů, financování a regionálního rozvoje a energetiky. Úpravy všech těchto oblastí by měly mít za následek dosažení klimatické neutrality do roku

2050, čímž by se Evropa stala prvním klimaticky neutrálním kontinentem na světě. V rámci Green deal zahájila Evropská komise iniciativu s názvem „*Evropský klimatický pakt*“, jehož cílem je přímo zapojit občany a komunity do činností spojených s ochranou životního prostředí a klimatu. Tato iniciativa má také za úkol informovat, inspirovat a podporovat spolupráci mezi lidmi napříč všemi úrovněmi společnosti k dosažení nejlepšího možného výsledku v oblasti klimatu.[1, 2]

Jedna část dohody je věnována sektoru energetiky, protože výrobou a využíváním energie vzniká více než 75 % emisí skleníkových plynů v celé EU. Proto bude klíčové dekarbonizovat energetický sektor jako celek, aby bylo možné dostat stanoveným cílům roku 2030 a roku 2050. V rámci energetiky se dohoda soustředí na 3 hlavní zásady [3]:

- Zajistit bezpečné a cenově dostupné dodávky energie v EU
- Vytvořit v EU plně integrovaný, propojený a digitalizovaný unijní trh s energiemi
- Dávat prioritu energetické účinnosti, snižovat energetickou náročnost budov a rozvíjet takové odvětví energetiky, které se z velké míry zakládá na obnovitelných zdrojích energie

Na základě výše uvedených skutečností se Evropská komise chce v rámci energetiky věnovat zejména následujícím opatřením:

- Vybudovat propojené energetické soustavy a lépe integrovat sítě na podporu OZE
- Podporovat inovativní technologie a vytvoření moderní infrastruktury
- Zlepšit energetickou účinnost a ekodesign výrobků
- Dekarbonizovat odvětví zemního plynu a podporovat inteligentní integraci napříč sektory
- Posílit postavení spotřebitelů a pomoci členským státům řešit energetickou chudobu
- Propagovat evropské energetické standardy a technologie ve světě
- Plně rozvinout potenciál větrné energie na moři

Dále jsou v energetickém sektoru stanoveny dva hlavní cíle, které budou hrát v budoucnu velkou roli při zmírnění změn klimatu. Jedná se o podíl obnovitelných zdrojů energie na výrobě elektřiny, který je nyní stanoven na 40 %, a o energetickou účinnost, která by do roku 2030 měla dosáhnout 36–39 %. Pro dosažení těchto cílů, zejména podílu OZE, bude klíčová instalace fotovoltaických systémů, proto bude potřeba se zamyslet nad využitím nestandardních ploch pro jejich instalaci.

Problémy s plněním Green deal mají převážně státy střední a východní Evropy, jejichž průmysl a hospodářství se značně zakládá na využití uhlí. Pro Českou republiku to v závislosti na složení energetického mixu, který tvoří právě převážně uhelná energetika, znamená vynaložení větších finančních prostředků pro dosažení jednotlivých cílů. Proto ČR společně se státy střední Evropy prosazuje, aby tyto státy mohly dosáhnout na vyšší finanční podporu v rámci EU. To by pro tyto státy bylo motivací a znamenalo zajímavou příležitost, jak se stát ekonomicky silnějším a konkurenceschopnějším státem. Jelikož Green deal představuje rozsáhlou transformaci celé společnosti, průmyslu a ekonomiky, je nutné najít shodu napříč členskými státy Evropské unie a začít společně pracovat na společné budoucnosti.[1, 4]

V současnosti se mnozí odborníci a někteří politici domnívají, že EU je příliš nekompromisní při dosahování stanovených cílů. Zároveň argumentují tím, že v globálním pojetí emisí skleníkových plynů tyto cíle nemají velké důsledky, protože emise skleníkových plynů zbylých kontinentů značně převyšují emise Evropy. Nicméně při tomto uvažování by nebylo možné dosáhnout změny a pokroku, proto zjednodušeně řečeno někdo musí být první. Současně Evropská komise odsouhlasila navýšení klimatického cíle v oblasti snížení emisí do roku 2030 o 55 % proti roku 1990. K usnadnění dosažení tohoto cíle EK vydala legislativní klimaticko-energetický balíček s názvem „Fit for 55“.[5–7]

## **1.2. Fit for 55**

Tento klimaticko-energetický balíček byl představen Evropskou komisí 14. července 2021. Reaguje na zpřísnění cílů týkajícího se snížení emisí, který byl představen v prosinci roku 2020. Zmiňované snížení emisí bylo zvýšeno na 55 % z původních 40 % oproti roku 1990. Tento dokument bude tedy stěžejní pro dosažení stanovených cílů v oblasti klimatické neutrality. Balíček zahrnuje 13 návrhů revizí nebo aktualizací právních předpisů pro jednodušší naplnění jednotlivých cílů stanovených Evropskou komisí. Jednotlivé návrhy předpisů se týkají:[7, 8]

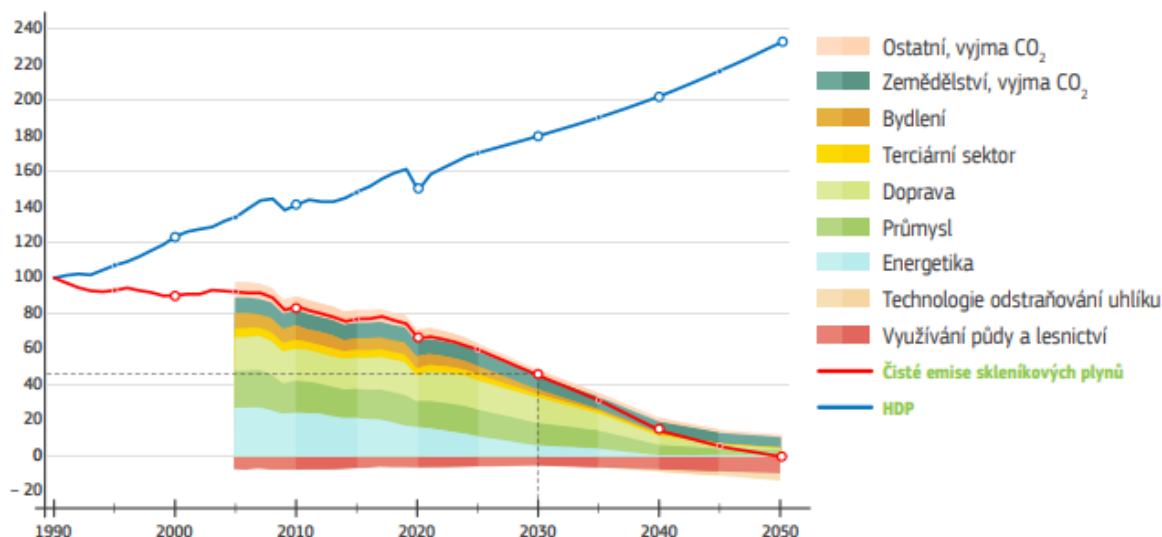
- Zavedení mechanismu uhlíkového vyrovnání na hranicích
- Návrh nařízení o obnovitelných a nízkouhlíkových palivech v námořní dopravě
- Návrh nařízení o udržitelné letecké dopravě
- Nový evropský akční plán pro lesnictví
- Revize nařízení o sdílení úsilí členských států snížit emise skleníkových plynů
- Revize nařízení o využívání půdy, změn ve využívání půdy a lesnictví
- Revize směrnice o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva

- Revize směrnice o zdanění energie
- Revize systému emisního obchodování
- Vytvoření fondu sociální politiky a klimatu
- Změna nařízení stanovující výkonnostní normy pro emise CO<sub>2</sub> pro nové osobní automobily a pro nová lehká užitková vozidla
- Změna směrnice o energetické účinnosti
- Změna směrnice o obnovitelných zdrojích energie

Nejzásadnější a zároveň nejkontroverznější tématem z pohledu emisí oxidu uhličitého je zavedení mechanismu pro uhlíkové vyrovnání na hranicích a revize systému emisního obchodování. Mechanismu uhlíkového vyrovnání představuje zavedení tzv. „uhlíkového cla“, které by pomocí uhlíkové daně zamezilo dovážení produktů s vysokou uhlíkovou stopou do EU. Předběžně bylo stanoveno, že by se to mohlo týkat například cementu, hnojiv nebo hliníku. Ovšem tato změna se nezamlouvá obchodním partnerům Evropské unie v návaznosti na současný režim Světové obchodní organizace. Ohledně revize systému emisního obchodování se dlouho diskutuje o rozšíření sektorů, které jsou v tomto systému zahrnuty. Představená revize této směrnice navrhuje stávající systém rozšířit o budovy, námořní a silniční dopravu.[8]

Fotovoltaických zdrojů se týká hlavně změna směrnice o obnovitelných zdrojích, která plní dvě hlavní role. Za prvé uvádí zdroje, které jsou považovány za obnovitelné, a za druhé stanovuje závazné cíle pro obnovitelné zdroje energie. V současnosti Evropská unie stanovila cíl v oblasti OZE na 40 % podílu vyrobené elektrické energie.[2, 9]

Pro dosažení nového cíle Evropské komise ve snížení emisí do roku 2030, který nyní definuje snížení o 55 % proti roku 1990, bude nutné navýšení podílu OZE. Obnovitelné zdroje v roce 2019 se na výrobě elektrické energie podílely 19,7 %, ale pro naplnění zmíněného cíle je zapotřebí dosáhnout podílu 40 % OZE v roce 2030. V rámci obnovitelných zdrojů budou zastoupeny zejména fotovoltaické zdroje, protože jejich investiční náklady se v minulých letech snížily a účinnost FV panelů se zvýšila. Dalším ovlivňujícím faktorem může být to, že jsou fotovoltaické zdroje v rámci Evropské unie výrazně podporovány různými dotačními tituly. Průběh snižování emisí skleníkových plynů až do dosažení klimatické neutrality v roce 2050 je znázorněno na obrázku 1.[10]



Obrázek 1 Průběh emisí v Evropské unii dle odvětví [11 s. 202]

Při takto radikálních změnách zásadních oblastí, které jsou diskutovány v balíčku „Fit for 55“, dochází k velkému množství připomínek a negativní zpětné vazbě ze strany zástupců průmyslu, ale také některých politických subjektů v EU. Proto se dá předpokládat, že v blízké době bude docházet ke korekturám ze stran jednotlivých členských států. S transformací všech odvětví popsanych v klimatickém balíčku jsou spojené enormní investice a s tím související zvýšený počet možných způsobů financování projektů. V návaznosti na tento fakt vydala EK další důležitý dokument, který se právě týká financování a udržitelnosti nových projektů, které budou v souladu s dlouhodobými cíli EU.

### 1.3. Taxonomie EU

Jedná se o klasifikační systém, který má za úkol stanovit seznam environmentálně udržitelných hospodářských činností. Definování udržitelných investic bude hrát velkou roli v implementaci zelené dohody pro Evropu. Dokument by měl poskytnout společnostem, investorům a zástupcům politik členských států definici, která určí společenskou a klimatickou udržitelnost nových projektů dle dopadů na životní prostředí.[12]

Nařízení o taxonomii vstoupilo 12. července 2020 a zveřejněno bylo již v Úředním věstníku Evropské unie ze dne 22. června 2020. Jeho základem je stanovení 4 zastřešujících podmínek, které je nutné splnit, aby bylo možné projekt klasifikovat jako ekologicky udržitelný. Stanovuje šest environmentálních cílů:[12]

- Zmírnění změny klimatu
- Adaptace na změnu klimatu

- Udržitelné využívání a ochrana vodních a mořských zdrojů
- Přechod na oběhové hospodářství
- Prevence a kontrola znečištění
- Ochrana a obnova biologické rozmanitosti a ekosystémů

Na základě doporučení odborného technického týmu EK jsou považovány fotovoltaické panely pro výrobu elektrické energie za vhodné pro naplnění dlouhodobých cílů Evropské unie v oblasti klimatu. Energetika zaujímá velký podíl investovaných finančních prostředků v rámci celé EU a jelikož se jedná o jednoho z hlavních producentů emisí, je potřeba se na tyto investice více zaměřit. Tedy investice v energetickém odvětví budou mít velký vliv na zmírnění změn klimatu, proto jsou definovány činnosti, které budou brány jako udržitelné, tedy přispívající ke zmírnění dopadů na klima. Mezi tyto činnosti se řadí výroba elektřiny, tepla i chladu s využitím fotovoltaické technologie, což z investic do fotovoltaických elektráren dělá vhodné kandidáty do budoucnosti. Dále se v taxonomii považuje za udržitelnou výroba elektřiny z větrné energie, výroba elektřiny pomocí technologií využívající oceány, využití geotermální energie, využití k výrobě elektřiny z nefosilních paliv, využití energetického potenciálu odpadního tepla nebo instalace elektrických čerpadel. Ovšem některé z těchto udržitelných činností musí splňovat určité podmínky, které například určují poměrný výkon nebo maximální produkci emisí skleníkových plynů za celý životní cyklus.[13]

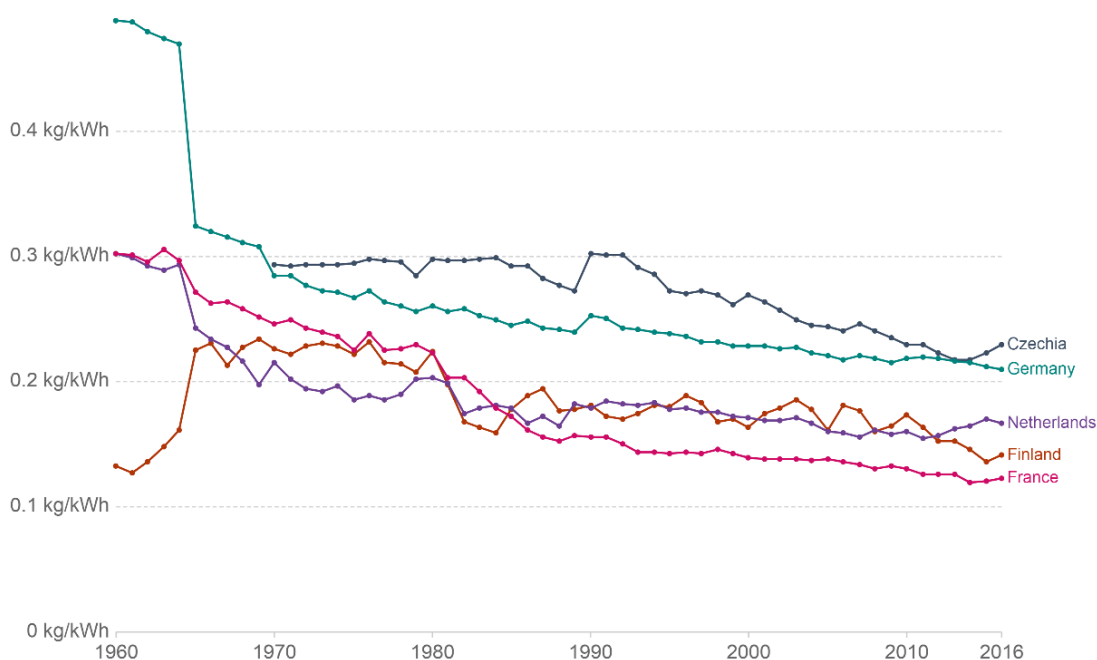
Taxonomie se nevěnuje pouze výrobě elektrické energie, ale zaměřuje se také na přenos a distribuci vyrobené energie nebo její skladování. V rámci určení udržitelných investic v oblasti energetiky nelze považovat připojení elektráren do elektrizační soustavy, které jsou velkým zdrojem emisí skleníkových plynů. To v praxi může znamenat, že nebude možné připojit zdroj k elektrizační soustavě, který produkuje emise nad stanovenou úroveň. Tento fakt cílí na standardní fosilní zdroje, které jsou v současnosti na ústupu, a to také v návaznosti na docílení udržitelných investic v rámci odvětví. Pro skladování elektrické energie se považují za udržitelné všechny výstavby a provoz skladování včetně přečerpávacích elektráren.[13]

Tématu této diplomové práce se přímo týká energetická bilance budov, která je také zmíněna v taxonomii. Nařízení se netýká pouze výstavby nových budov, ale jedná se také o renovaci současných budov. V obou případech se v taxonomii klade důraz na snížení primární energie a zvýšení kompletní energetické účinnosti. Taxonomie se dokonce věnuje samotnému vybavení budov, kde detailně uvádí jednotlivé oblasti budov, které přispívají k naplňování cílů.



## 1.4. Cíle ČR v oblasti energetiky

V roce 2009 byly uzákoněny cíle pro rok 2020. Strategie 20–20–20 stanovila cíle snížení emisí skleníkových plynů o 20 % proti roku 1990, zvýšení podílu obnovitelných zdrojů energie na 20 % a snížení konečné spotřeby energie o 20 %. Dle předběžných dat bylo dosaženo těchto cílů za celou Evropu, ovšem existuje několik států, které nesplnili své národní cíle pro rok 2020. To se netýká ČR, která svůj závazný cíl splnila. Na obrázku 2 jsou znázorněny emise CO<sub>2</sub> vybraných států mezi roky 1960–2016, kde lze pozorovat pokles v celkovém množství vyprodukovaných emisí na vyrobenou kWh energie.[14, 15]



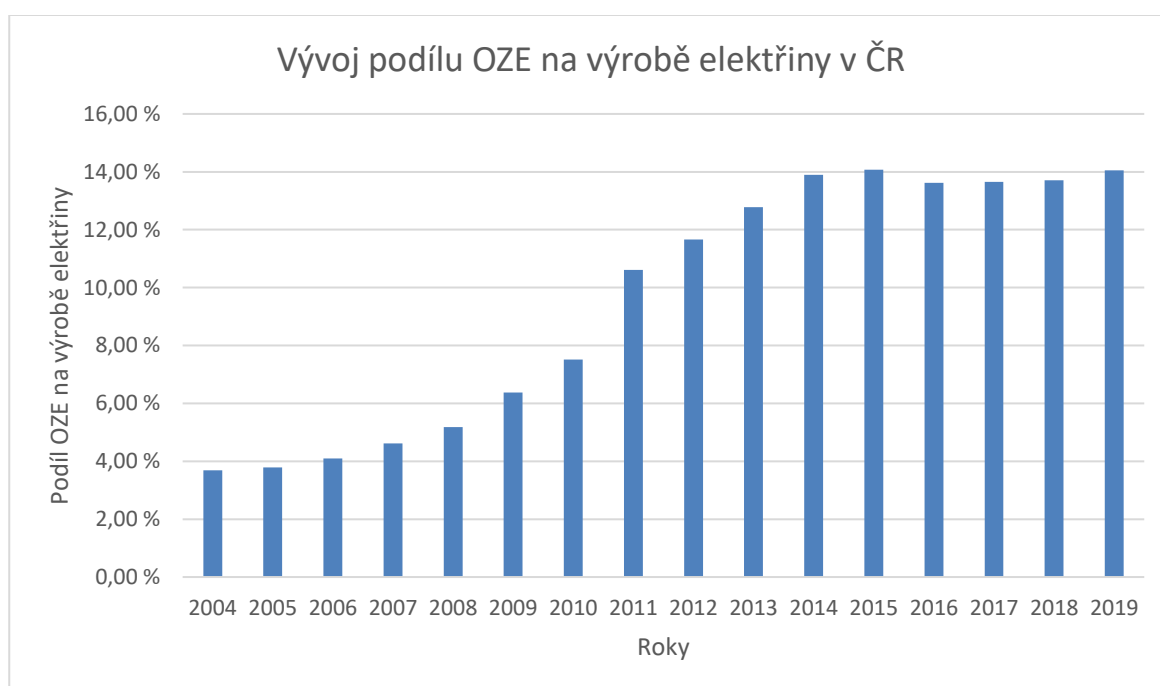
Obrázek 2 Emise kilogramu CO<sub>2</sub> na vyrobenou kWh energie dle vybraných zemí [16]

Obrázek 2 ukazuje množství CO<sub>2</sub> vzniklého při výrobě 1 kWh v daném státě. Toto množství závisí na energetickém mixu jednotlivých zemí. Cíle snížení emisí CO<sub>2</sub> jsou pro každý stát upravovány vzhledem k jejich geografickým podmínkám a možnostem. Snaha je vytvořit individuální plán pro každý stát, který by všem státům organizovaně pomohl s přechodem na novou energetiku.

Poté následovalo stanovení další mety, resp. klimatického cíle tentokrát do roku 2030. EK komise tedy navrhla základní cíle: snížení emisí skleníkových plynů o 40 % proti roku 1990, podíl obnovitelných zdrojů energie minimálně 32 % a zvýšení energetické účinnosti minimálně na 32,5 %. Ovšem členům Evropské komise tyto cíle připadaly málo ambiciózní a nezaručily by dosažení klimatické neutrality v roce 2050. Proto v roce 2020 v rámci jedné části dokumentu Green Deal navrhla zvýšit cíl ve snížení emisí na 55 % proti

roku 1990. Navrhuje také zvýšení dalších unijních cílů. Jedná se o zvýšení podílu obnovitelných zdrojů na 40 %, zvýšení energetické účinnosti o 39 % primární spotřeby energie a snížení o 36 % konečné spotřeby energie. Tyto upravené hodnoty by měly mít za následek dosažení klimatické neutrality v roce 2050.[17]

Všechny členské státy měly EK představit vnitrostátní cíle v energetice do roku 2030, které musely být schváleny. Česká republika předložila svůj záměr a plán pro cíle do roku 2030, nicméně EK je klasifikovala jako nedostačující a nechala je přepracovat. V současnosti dle dat Eurostatu [18] pro rok 2019 činil podíl OZE 16,25 % přes všechny sektory, na výrobě elektřiny se OZE podílely 14,05 %. Takže pro naplnění cíle podílu OZE na výrobě elektrické energie má Česká republika velké rezervy, které by mohlo vyřešit efektivnější využití městských ploch pro výrobu elektřiny.



Graf 1 Vývoj podílu OZE na výrobě elektřiny v České republice (upraveno autorem) [18]

K naplnění národních, resp. evropských cílů bude nutná spoluúčast municipalit jednotlivých členských států. Jenom díky jejich pomoci bude možné dosáhnout kýžených výsledků. Proto by mělo docházet k podporování iniciativy municipalit v oblasti klimatu, které budou implementovat samotné opatření pro naplňování dílčích cílů. Kromě municipalit se do naplňování cílů mohou také zapojit státní organizace, jako je například ŘSD nebo Správa železnic.

## 1.5. Plány municipalit

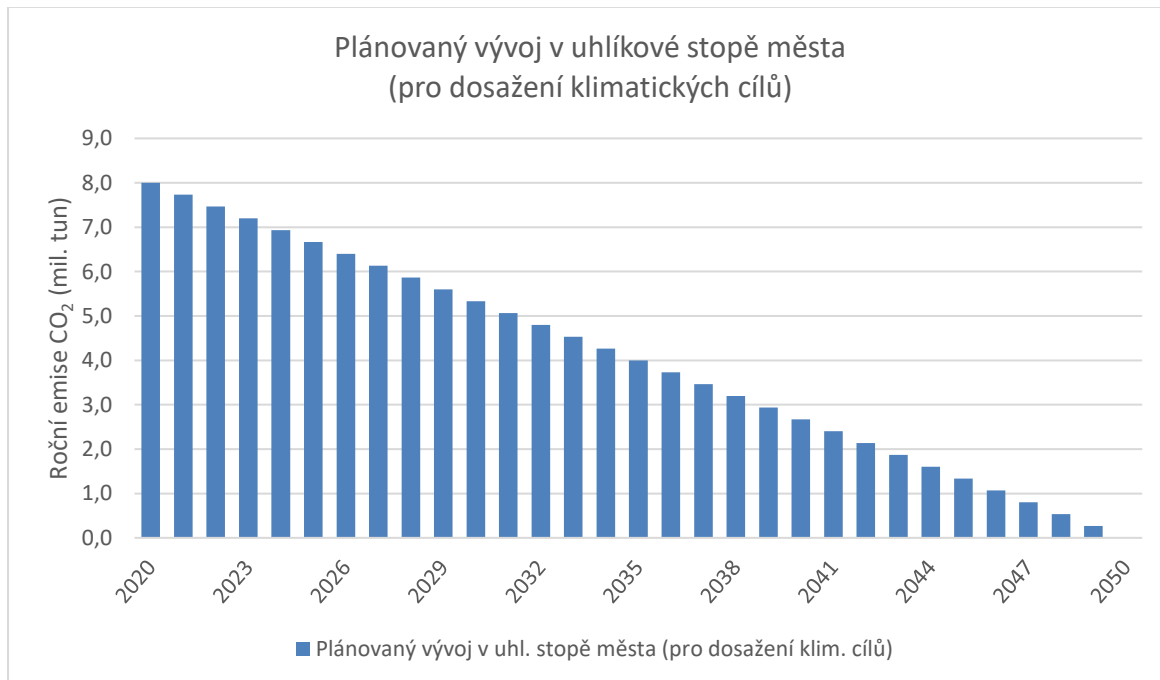
V současnosti se otázkami klimatu nezaobírají činitelé jen na úrovni Evropské unie nebo státu, ale toto téma začínají řešit orgány na nižší úrovni jako například městské municipality. Dobrým příkladem je hlavní město Praha, které si schválilo vlastní klimatický plán do roku 2030, jehož hlavním úkolem je snížení emisí CO<sub>2</sub> na území města a směřování ke klimatické neutralitě v roce 2050. Tento dokument je současně Akčním plánem pro udržitelnou energii a klima, který je definován ve společné iniciativě evropských měst a obcí, jehož oficiální název je „*Covenant of Mayors for Clima & Energy*“. Tato iniciativa si klade za úkol sjednocení místních samospráv pro efektivnější naplnění evropských cílů v oblasti energetiky a klimatu. Plán současně stanovuje jednotlivá opatření, která budou nástrojem pro naplnění jednotlivých cílů.

Podtitulem klimatického plánu HMP je „*Praha na cestě ke klimatické neutralitě*“, což jednoznačně nastiňuje dlouhodobou strategii města. Plán se zaměřuje na několik hlavních témat, která jsou stěžejní pro naplnění přijaté strategie. Jedná se o udržitelnou energetiku, udržitelnou mobilitu, cirkulární ekonomiku, adaptační opatření a implementace opatření s jejich monitoringem. Současně plán stanovuje 4 hlavní cíle, které směřují ke snížení emisí CO<sub>2</sub> na území města. V rámci této diplomové práce je zejména důležité téma udržitelné energetiky. Pro dosažení výše uvedených hlavních cílů si město stanovilo dílčí cíle v jednotlivých sektorech, aby bylo možné jednoduše kvantifikovat a hodnotit jejich plnění. Poradní orgán Rady hl. m. Prahy určil jednotlivé dílčí cíle, které jsou uvedeny na obrázku 3, kde jsou popsány změny hodnot sledovaných indikátorů dle sektorů.

Energetika	Budovy	Doprava	Cirkulární ekonomika	Adaptace
<b>-60 %</b> snížení emisí CO <sub>2</sub> u dodávek elektřiny a tepla	<b>-15 %</b> snížení spotřeby tepla a plynu díky úsporným opatřením	<b>-17 %</b> snížení spotřeby především fosilních paliv v dopravě	<b>+38 %</b> zvýšení třídění komunálních odpadů (z 27% na 65 %)	<b>+1,5 mil.</b> nově vysazených stromů
<b>+2,3 TWh</b> elektřiny z nových bezemisních a nízkoemisních výroben	<b>+23 tis.</b> budov osazeno solárními a kogeneračními zdroji elektřiny	<b>+150 mil.</b> přepravených cestujících navíc ročně veřejnou dopravou	<b>+3 mil. m<sup>3</sup></b> biometanu z bioodpadů pro využití v dopravě	<b>-28 %</b> podílu pitné vody na zalévání veřejné zeleně
<b>+2,6 TWh</b> tepla z nových bezemisních a nízkoemisních výroben	<b>+70 tis.</b> nízkoemisních zdrojů tepla (kondenzačních kotlů a tepelných čerpadel)	<b>+900</b> elektrobusů s čistým pohonem v každodenní dopravě	<b>-50 %</b> produkce směsného (zbytkového) komunálního odpadu	<b>+5 %</b> adaptability na dopady změny klimatu u veřejných budov ve správě města, městských částí
<b>0 MWh</b> tepla a elektřiny pocházející z uhlí	<b>+500 tis.</b> inteligentních elektroměrů v domácnostech a institucích	<b>+10 tis.</b> veřejně přístupných dobíjecích stanic na podporu elektromobility ve městě	<b>0 tun</b> odpadu odstraněného bezúčelně skládkováním	<b>+7 m<sup>2</sup></b> plochy území změněné z nepropustných ploch na modrozelenou infrastrukturu v přepočtu na 1 tis. obyv./rok

Obrázek 3 Předpokládané změny v jednotlivých odvětví [19]

Pro téma této práce je důležitý sektor energetiky a v rámci něho bod – navýšení výroby elektřiny z bezemisních zdrojů o 2,3 TWh, které bude dosaženo v podmínkách města zejména díky instalaci fotovoltaickým elektrárnám. Právě proto v klimatickém plánu Prahy do roku 2030 je uvedena jako jedna z městských investičních priorit výstavba nových výroben elektřiny z obnovitelných zdrojů energie. V závislosti na omezené možnosti města se bude jednat zejména o fotovoltaické zdroje. Roční spotřeba elektrické energie Prahy dnes dosahuje přibližně 6 TWh, což současně představuje více jak 10 % celkové spotřebované elektřiny netto v celé České republice. Se spotřebou elektřiny velmi úzce souvisí uhlíková stopa celého města. Ve spoustě měst se nachází budovy s dobrými podmínkami pro instalaci fotovoltaických elektráren. Ovšem na některých budovách to není možné, a to z důvodu hmotného břemene nebo technických parametrů střech (nosnosti, materiálu apod.). Proto město uvažuje o dalších městských plochách, které také nabízí dobré podmínky pro instalaci FVE, ale zároveň jejich zástavbou nedojde k příliš velkému záboru prostoru. Na základě toho dospěla Rada hl. m. Prahy k myšlence využít ploch protihlukových stěn k výrobě elektřiny. Město se chystá investovat finanční prostředky do výstavby fotovoltaických elektráren a současně také do výstavby protihlukových opatření. Proto se rozšířily myšlenky skloubení těchto investičních akcí a dosažení ideálních výsledků. Na výstavbu FVE se město chystá investovat přes 12 mld. korun do roku 2030.[19]



Graf 2 Plánovaný vývoj uhlíkové stopy hlavního města Prahy (vytvořeno z dat [18])

Při dodržení jednotlivých cílů by hlavní město Praha směřovalo k dlouhodobému cíli stát se do roku 2050 klimaticky neutrálním ve srovnání s rokem 2010, což naznačuje graf 2. V současnosti hl. m. Praha pracuje na zvýšení počtu instalací FVE na území města pomocí využití budov v majetku HMP. Souběžně s tím probíhá mapování energetické náročnosti jednotlivých budov pro určení největšího potenciálu úspor. Další akce město provádí v oblasti tepelných ostrovů, jejichž účinky se pokouší mírnit. Dále v oblasti využití odpadního tepla, jehož využití by přineslo zvýšení energetické účinnosti města. Klimatický plán hl. města Prahy do roku 2030 je jednoznačným důkazem, že municipality mají v plánu využít příležitosti pro zvýšení svojí konkurenceschopnosti a soběstačnosti v oblasti energií. Pro stát by mělo být prioritou podporovat podobné iniciativy, protože pro dosažení stanovených cílů bude spolupráce na úrovni měst klíčová.

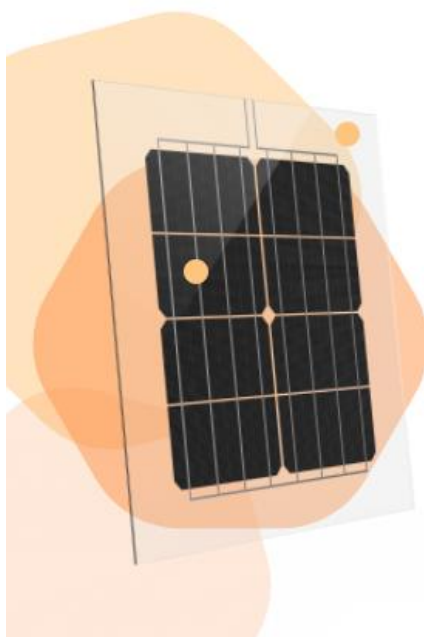


## 2. Integrace FV článků do budov

Jak bylo již řečeno v předchozí kapitole, v současnosti existuje několik důvodů ve všech úrovních společnosti (Evropa, členské státy, municipality), proč se zabývat výstavbou fotovoltaických zdrojů energie. Ovšem realizace nových FV zdrojů, zejména v městských oblastech může být velmi náročná z pohledu volných ploch vhodných pro umístění panelů. V rámci měst v dnešní době již nepřipadají v úvahu „klasické“ pozemní elektrárny, protože není dostatek prostoru. Proto se zástupci měst musí zaměřit na jiné řešení, kterým může být využití zastavěných městských ploch. Těmito plochami mohou být střechy budov, samotné budovy (fasády) nebo ostatní plochy v majetku měst, například protihlukové stěny.

### 2.1. Integrace do fasád

Fasády budov jsou jedním z možných způsobů, jak efektivně využít městské plochy k výrobě elektřiny. Instalace na fasády budov není nic nového, protože se jedná o celkem využívanou instalaci pouze s jiným typem upevňovací konstrukce. Nicméně dnes je možné prvky fotovoltaických panelů integrovat do samotných konstrukcí (materiálů) fasád budov. Také zde existuje několik dalších důvodů k použití tohoto způsobu, FV fasády disponují dlouhou životností, v letních měsících zabraňují nadměrnému přehřívání objektu, a naopak v zimě chrání budovu před kondenzací vlhkosti ve stěnách budovy. Na obrázku 4 je znázorněna technologie integrace FV článku přímo do skla, které je možné následně osadit na budovu.[20–22]



Obrázek 4 Integrovaný solární článek do skleněné desky [23]

Instalace na fasádách budov dává smysl hlavně na jejich částech orientovaných na jih, kde dochází k největšímu osvětlení článků. Současné technologie dovolují integraci solárních článků přímo do fasády budovy. Jedná se o jediný stavební materiál, který má svoji ekonomickou návratnost prostřednictvím úspory za nespotřebovanou elektřinu ze sítě. V rámci integrace do fasád budov se realizují projekty například s využitím skel obsahující fotovoltaické články, které je možné různě kombinovat v závislosti na průhlednosti a průsvitnosti dle potřeb jednotlivých vnitřních prostor budovy. V dnešní době výrobci poskytují architektům na výběr z několika barevných variant solárních prvků, takže je možné skla přizpůsobit konečnému vzhledu budovy [20, 24]. Dle analýzy EGÚ Brno [25] celkový instalovaný výkon FVE na fasádách budov (rezidenční i nerezidenční) dosahuje 13,2 GWp za přijetí několika předkladů, z nich hlavním je použití panelů o výkonu 270 Wp.

Ukázkovou integrací FV článků do fasády budovy na území České republiky může být mrakodrap AZ Tower v Brně, na jehož jižní straně jsou integrovány antireflexní fotovoltaické panely o celkovém špičkovém výkonu 90 kWp. Vyrobená elektřina se používá pro provoz samotné budovy, což obnáší technologie řízené klimatizace, rekuperace, tepelná čerpadla apod.[26, 27]



Obrázek 5 Pohled na jižní stranu budovy AZ Tower v Brně [26]



Ovšem také pro integraci do fasád budov existují limitace, jedná se zejména o aktuální technický a historický stav budov. Pokud se opět zaměříme na hlavní město Prahu, tak zde většina budov v užším a částečně širším centru jsou památkově chráněné, což jednoznačně znemožňuje jakékoli instalace fotovoltaických systémů na tyto objekty. Proto v úvahu připadají budovy na okraji města nebo ve vlastnictví soukromých firem, které si zakládají na snižování ekologické stopy svého působení a výroby vůči společnosti. Proto by pro ně mohla být řešení integrace FVE atraktivní. Pro prokázání udržitelného chování firmy existují způsoby certifikace LEED a BREEAM, které deklarují status environmentálně šetrných a udržitelných budov patřících dané firmě. V rámci těchto standardů se nehodnotí pouze energetika, ale posuzuje se také např. kvalita ovzduší, hospodaření s vodou, nakládání s odpady, doprava a další. Pro energetiku by v úvahu ještě připadala certifikace dle normy ISO 50001, která se zaměřuje na energetický management, ale samotná instalace FVE na budovu není zárukou pro získání tohoto certifikátu. Protože EnMS obnáší ještě dodržování neustálého zlepšování celkové energetické hospodárnosti napříč celou organizací (město, škola, firma apod.). Takže zůstává otázkou, zda to za těchto podmínek pro firmy bude přijatelné a ekonomicky výhodné.[28, 29]

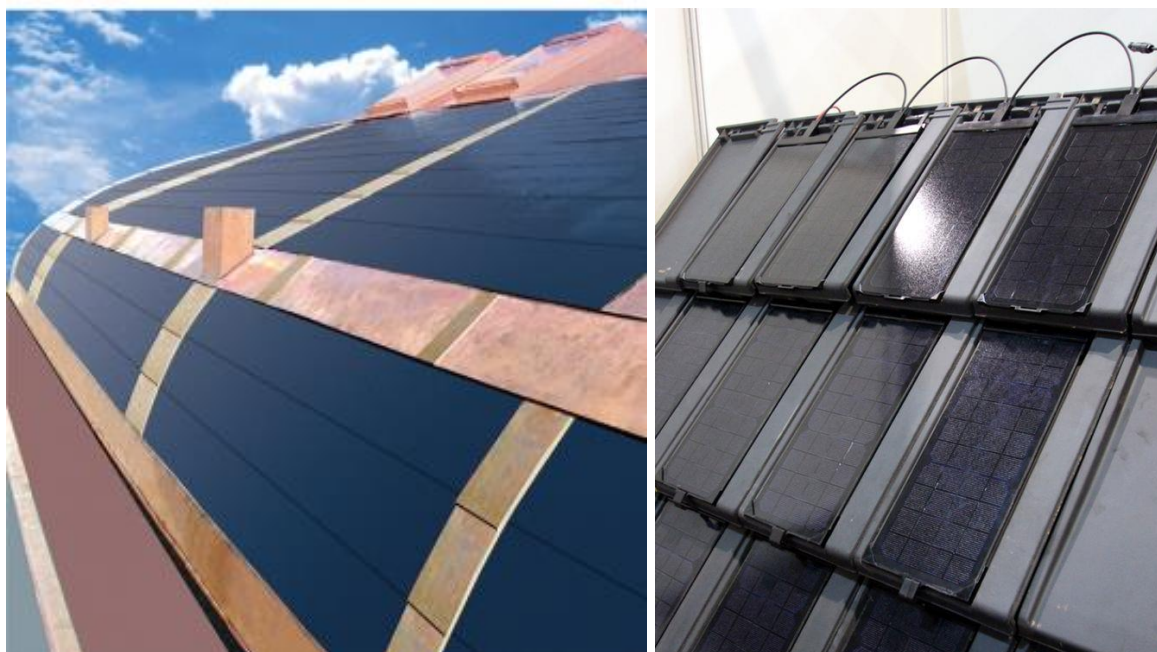
Tento fakt jednoznačně společně se zmiňovanou památkovou ochranou budov zužuje možnosti měst, jak a kde instalovat nové fotovoltaické zdroje. Proto se nabízí využití jiných dostupných objektů, na které je možné instalovat FV panely na území měst, například třeba i v centru. Těmito objekty jsou například právě protihlukové stěny, které mohou být ve vlastnictví samotných měst nebo jejich příspěvkových organizací, což zjednodušuje implementaci jednotlivých řešení dle městem stanovených cílů a opatření.

## **2.2. Integrace do střech**

Využití střech budov pro instalaci FVE není žádnou novinkou, jedná se o nejrozšířenější princip montáže fotovoltaických panelů na rodinných ale také firemních budovách. Zatím převládají instalace klasických panelů pomocí nosné konstrukce. Při velké poptávce po střešních FVE v poslední době firmy investují nemalé finanční prostředky do vývoje nových technologií, které umožňují přímou integraci panelů do střešních materiálů, například krytin. Na současném trhu existují solární tašky, jedná se o klasickou pálenou tašku s integrovaným fotovoltaickým modulem. Navíc nejsou vidět žádné rušivé elementy, které by narušily technické parametry samotné střechy, protože všechny ostatní věci jsou ukryté pod krytinou. Fotovoltaický modul se poté skládá ze 4 dohromady spojených panelů, které dosahují jmenovitého výkonu 6,25 Wp každý. Na základě těchto parametrů lze z 1 m<sup>2</sup>

solárních tašek dosáhnou výkonu 75 Wp. Tento způsob se používá výhradně pro mírně šikmé střechy nebo střechy s minimálním sklonem.[30, 31]

Další možností integrace solárních panelů jsou tenkovrstvé fólie, na jejichž povrchu se nachází integrované flexibilní fotovoltaické články na bázi amorfního křemíku. Jednotlivé články je možné sériově spojit do modulů, které ve výsledku mohou dosahovat různých rozměrů. Nejčastěji moduly dosahují délky 6 metrů nebo 3,5 metru. Hlavní výhodou těchto fólií je jejich nízká hmotnost, jejíž průměrná hodnota nepřekračuje  $5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ . Tento princip se aplikuje zejména na ploché střechy. Bohužel tento způsob má velkou nevýhodu, protože při instalaci na již stojící stavby je nutné zasáhnout i do izolační vrstvy.[31]



*Obrázek 6 Příklady integrace pomocí tenkovrstvé fólie (vlevo) a FV součástí krytiny (vpravo) [30, 31]*

V tomto případě může u mnoha budov dojít k problémům s jejich historickou hodnotou, protože střechy definují historický ráz budovy stejně jako jiné její části, což může značně znemožnit instalaci. Dále existují další důvody, které mohou znevýhodnit tento způsob využití střech, protože výkon těchto technologií je mnohdy nižší než klasických modulů. Zde mohou nastat problémy s uchycením na střechy, nutnost speciálních úchytů nebo nekompatibilita s normálními pálenými taškami, takže nutnost pořízení kompatibilní krytiny bez FV článků. Energetický potenciál instalací na střechách budov v České republice stanovilo EGÚ Brno [25] na 10,5 GWp za předpokladu podílu 55 % konstrukčně použitelných střech a 13,4 GWp při podílu 70 % konstrukčně použitelných střech. Při výpočtech byl uvažován výkon panelu 270 Wp.

### 2.3. Integrace do protihlukových stěn

První projekt vznikl již v roce 1989 ve Švýcarsku, kde se jednalo o instalaci FV panelů na protihlukovou stěnu u dálnice A13. V současnosti se FVE umísťují na protihlukové stěny v Německu nebo Nizozemsku zejména v okolí dálnic. V návaznosti na problematiku umísťování nových FVE na budovy uvnitř měst, zejména kvůli památkové ochraně. Je možné se zaměřit právě na protihlukové stěny na území měst, jejichž využití může pomoci nejen k dosažení klimatických cílů v oblasti energetiky a klimatu.[32–34]

Pro integraci solárních prvků do protihlukové stěny již existují fotovoltaické moduly, které mají stejné rozměry jako protihlukové panely používané ve stěnách, takže je možné je jednoduše zaměnit a efektivně využít plochu stěny. O využití protihlukových stěn k výrobě elektřiny v České republice lze nalézt zmínku například v dokumentu [35] Ministerstva dopravy týkajícího se použití PHS v železniční a silniční dopravě. V dokumentu je výroba elektřiny pomocí PHS popsána jako další možný užitek jejich výstavby. Na území České republiky jsou převážným vlastníkem jednotlivých PHS společnosti Ředitelství silnic a dálnic (ŘSD) a Správa železnic (SŽ), které jsou státními organizacemi. Dalším možným vlastníkem PHS mohou být municipality nebo jednotlivé městské municipality prostřednictvím svých příspěvkových organizací.[36]

V současné době není úplně jasné, jakým způsobem bude možné fotovoltaické prvky na území ČR umísťovat na PHS, protože existují přísná pravidla pro stavbu PHS poblíž pozemních komunikací. Legislativně jsou stanoveny standardy umístění jednotlivých prvků v okolí silnic, což se také týká prvků umístěných na PHS, zaměřující se hlavně na bezpečnost silničního a železničního provozu. Takže to může být limitující pro polohu a sklon protihlukových stěn. Jedná se zejména o vzdálenosti mezi komunikací, svodidly a samotnou stěnou nebo možnostmi ukotvení stavby v okolí komunikace. Tento problém odpadá při přímé integraci panelů do struktury stěny při její rekonstrukci nebo nové výstavby stěny. Je využita přímo stěna, která musí být postavena v souladu se zákonem stanovenými standardy. Ovšem při přímé integraci se musí jednat o odrazivou protihlukovou stěnu, aby nedošlo ke změnám protihlukových vlastností stěn.

Příklady integrace solárních článků do protihlukových stěn jsou uvedeny na obrázku 7, kde první obrázek ukazuje integraci do skleněných tabulí do horní části PHS a druhý obrázek ukazuje kompletní náhradu protihlukových panelů za fotovoltaické na mostě v Německu.



*Obrázek 7 Integrace solárních článků přímo do struktury stěny, Německo [37, 38]*

V současnosti neexistuje ucelený, jednotný a současně veřejně dostupný seznam protihlukových stěn, například v databázi ČSÚ. Při zjišťování informací o současném stavu protihlukových stěn se mi podařilo získat odhad délky PHS v okolí železnic, která je přibližně 240 km aktuální k roku 2017. Dle GIS podkladů poskytnutých ŘSD se podél pozemních komunikací nachází 336 kilometrů PHS a na území hlavního města Prahy dle dat délka PHS činí 118 kilometrů. Na základě těchto údajů lze stanovit celkovou zmapovanou délku protihlukových stěn na 694 km. Samozřejmě jednotlivá data nelze považovat za konečná a kompletní, protože některá data nejsou úplně aktuální.[39, 40]

Pro stanovení odhadu možného technického potenciálu jsem uvažoval fotovoltaický panel od společnosti Canadian Solar o špičkovém výkonu 650 Wp s rozměry modulu 2384x1303 mm. Při umístění jedné řady panelů na šířku do horní části stěny, tak bychom dostali výkon přibližně 272 Wp, resp. 499 Wp na metr délky PHS při umístění jedné řady na výšku do horní část stěny. Při použití předchozí odhadnuté celkové délky protihlukových stěn 694 km a výkonu 272 Wp, resp. 499 Wp jsem stanovil odhad možného potencionálního instalovaného výkonu současných PHS přibližně na 189 MWp, resp. 346 MWp. Při odhadu energetického potenciálu PHS jsem vycházel z poskytnutých dat od správců PHS v ČR, jelikož data nejsou kompletní je možné, že potenciál všech existujících protihlukových stěn může být vyšší.[41]

Na základě výše uvedeného odhadu potenciálu protihlukové stěny tedy zatím nedosahují takového energetického potenciálu jako budovy a jejich střechy dle analýzy EGU Brno [25]. Nicméně PHS nabízejí volnou využitelnou plochu pro výrobu elektřiny, která není limitována památkovou ochranou jako v případě některých historických budov. Takže PHS nepředstavují zásadní výkon v rámci instalovaného výkonu celé elektrizační soustavy, ale mohou být vhodným doplňkem k ostatním zdrojům. Nicméně pro využití protihlukových stěn k výrobě elektřiny existují limitace, které je ovšem možné vyřešit pomocí vhodných technických a technologických řešení.

## **2.4. Současný stav technologií integrace**

Na základě výše uvedených informací získaných na základě zpracovaných rešerší na téma „*Integrace FV článků do stavebních konstrukcí*“ existuje v současnosti velký počet možností pro využití městských ploch k výrobě elektřiny pomocí integrovaných FV článků. Městské plochy se pomocí solárních panelů a nosné konstrukce využívají již delší dobu, zejména se jedná o střechy budov. Ovšem současné technologie umožňují přímou integraci solárních prvků do struktury stavebních materiálů. Výrobci již nabízejí různé varianty těchto materiálů, které jsou opatřeny FV prvky pro výrobu elektřiny. V rámci budov se nejčastěji využívá integrace do střešních materiálů a fasád.

V rámci integrace lze zvolit technologie tenkovrstvých fólií, které jsou vhodné pro využití na nerovném povrchu například na střeších, kde by byla instalace rovných panelů problematická. Tuto technologii lze využít u většiny stavebních materiálů, které se obvykle používají. Dále je možné využít amorfní technologie pro úpravu skla, které disponuje průhledností 80 %. Takže po integraci nedojde při instalaci k úplnému zamezení průniku světla do budovy, což může být hlavně v administrativních budovách velká výhoda. Tyto technologie je možné využít v dalších skleněných prvcích staveb, například přístřešky.

V dnešní době existují výrobci, kteří dokonce nabízejí FV prvky v různých barevných provedení, což je velmi zajímavé pro fasády budov. Z hlediska designu objektu lze tedy dosáhnout potřebných výsledků. V některých případech se tyto prvky používají jako doplňkové komponenty konečného vzhledu stavby. Současné technologie dovolují přímé využití FV prvků jako komponent střechy nebo fasády. V případě střechy se jedná o solární tašky a v případě fasád o skleněné prvky jednotlivých budov. Technologicky jsou řešení dotažena téměř k dokonalosti, že v některých případech není možné rozeznat obyčejnou střechu od střechy s integrovanými FV prvky.

Instalace FV systému na protihlukové stěny je na základě dnešních technologií možná prostřednictvím dodatečné montáže pomocí nosné konstrukce nebo při výstavbě nové PHS lze integrovat FV prvky přímo do struktury stěny, jak bylo zobrazeno na obrázku 7. Tato integrace může být náhradou protihlukových panelů solárními o stejném rozměru nebo integrací do skleněných PHS. Tyto inovativní technologie jsou většinou investičně náročnější, takže přímá integrace do struktury stěn není zatím významně používána v těchto projektech.

Závěrem rešerše současného stavu technologií pro integraci FV prvků do stavebních konstrukcí bych dodal, že nyní existující technologie umožňující instalaci FV prvků do všech typů stavebních konstrukcí. Zatím se stále nejčastěji využívá integrace do fasád a střech budov. Instalace na protihlukové stěny zatím nejčastěji probíhá pomocí přídavné nosné konstrukce, která se umístí na stěnu a využijí se klasické solární panely, ale technologie pro integraci již existují.

## 3. Připojení decentralních zdrojů do distribuční soustavy

V rámci vzniku nového zdroje, který má být připojen do distribuční soustavy, je nutné splnit podmínky pro jeho připojení stanovené zákonem. Zároveň se musí informovat distributor, který musí udělit souhlas s připojením a vystavit smlouvu o připojení. Tato smlouva deklaruje, že je možné nový zdroj připojit k elektrizační soustavě v daném místě. Dalším aspektem vzniku nových neřiditelných decentralních zdrojů je, že vznikají nové nároky na elektrizační síť, které mohou být do budoucna limitující pro další instalace FV panelů.

### 3.1. Podmínky pro připojení FVE do distribuční soustavy

Protihlukové stěny se vyskytují zejména u silničních a železničních komunikací, které se nenachází v přímé blízkosti významnější spotřeby elektřiny. Lze tedy s velkou pravděpodobností říct, že nebude docházet ke spotřebě vyrobené elektřiny přímo v místě instalace FVE. Dle zjištěných informací při konzultacích se zástupcem ŘSD může dojít ke spotřebování nějakého množství elektřiny v signalizačních zařízeních nebo jiných technologiích zajišťující organizaci silničního provozu. Bohužel tato zařízení spotřebovávají malé množství elektrické energie, která je v souvislosti s plánovaným objemem výroby zanedbatelná. Jelikož nebude docházet k samo spotřebě elektřiny, tak bude nezbytné připojit výrobu k distribuční soustavě. Podmínky provozování výroben elektrické energie v ČR jsou definovány v zákoně č. 458/2000 Sb. Zákon o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon) [42]. Zákon popisuje výjimku pro FVE s instalovaným výkonem do 10 kWp připojených do distribuční sítě, pro které není potřebná licence na výrobu elektřiny. Z pohledu FVE umístěných na protihlukových stěnách se nejedná o zásadní informaci, protože se dá předpokládat, že instalovaný výkon nových výroben na PHS bude vyšší než 10 kWp. V přechozí kapitole jsem stanovil výkon 272 Wp (při umístění panelu na výšku) na metr délky stěny, což by pro výkon 10 kWp znamenalo délku přibližně 37 metrů. Protihlukové stěny se obvykle staví v délce několik stovek metrů až jednotek kilometrů, takže ve většině případů dojde k překročení výkonu 10 kWp.

V případě FVE na protihlukových stěnách se dá předpokládat instalovaný výkon několik desítek kWp v závislosti na jejich délce, takže pro její provoz bude nutné získat licenci na výrobu elektrické energie. Podmínky pro samotné udělení licence k výrobě

elektrické energie upravuje vyhláška č. 8/2016 Sb., o podrobnostech udělování licencí pro podnikání v energetických odvětví [43], kterou vydává Energetický regulační úřad.

Z této podkapitoly tedy plyne, že v případech použití PHS k výrobě elektrické energie bude nutné připojit tyto zdroje k distribuční soustavě. To bude potřeba zejména z důvodu toho, že v místě instalace FVE nebude dostatečná spotřeba a jejich výkon pravděpodobně přesáhne 10 kWp. V takovém případě bude investor, resp. provozovatel nového FV zdroje muset zažádat o udělení licence na výrobu elektřiny a vyrobenou elektřinu převážně prodávat do sítě.

### **3.2. Možnosti prodeje vyrobené elektřiny do DS**

V předchozí kapitole bylo popsáno, že v rámci využití protihlukových stěn k výrobě elektřiny bude docházet k prodeji převážné výroby z FVE do distribuční sítě. Pro výkup vyrobené elektrické energie je možné se dohodnout s obchodníkem, který je ochotný tuto elektřinu vykoupit. V závislosti na této službě je vytvořena smlouva na výkup elektřiny, která může být na 1 nebo více let.[44, 45]

V případě, že provozovatel FVE na protihlukových stěnách bude současně provozovat další zdroje elektřiny, bude možné využít agregace jednotlivých výroben a prodávat vyrobenou elektřinu ze všech zdrojů najednou. Dalším způsobem, který v České republice zatím není dostatečně rozšířen, jsou tzv. PPA kontrakty, které také nabízejí možnosti prodeje elektřiny vyrobené z OZE. PPA kontrakt se definuje jako dlouhodobá smlouva nákupu elektrické energie, která deklaruje přímý prodej elektřiny spotřebiteli za předem stanovenou cenu. Tato cena nemusí být nutně fixní, ale může částečně reagovat na situaci na trhu s elektřinou. Mezi hlavní součásti těchto kontraktů se řadí cenové podmínky, délka trvání a množství odebrané elektřiny. Tento kontrakt tedy garantuje výkup elektřiny z OZE, zároveň minimalizuje riziko kolísání ceny elektřiny a nabízí dlouhodobou fixaci nákladů za elektřinu. Tyto kontrakty se obvykle uzavírají na 15–20 let.[46, 47]

Z pohledu většiny investorů bude hlavním faktorem ekonomická návratnost investice do projektu solární protihlukové stěny. Ale mohou nastat případy, že se budou posuzovat také jiné přínosy investice než pouze ty ekonomické. Může se jednat zejména o naplnění národních nebo městských klimatických cílů v oblasti energetiky, které se často zaměřují na snížení emisí skleníkových plynů nebo zvýšení podílu OZE na výrobě elektřiny. Využití protihlukových stěn může být z tohoto pohledu velmi vhodné, protože mohou pomoci k dosažení klimaticko-energetických cílů bez dodatečného zabránění půdy a nejsou omezeny památkovou ochranou jako některé budovy. Závěrem lze říct, že právě toto může



být pro municipality motivační pro realizaci těchto projektů. Jednotlivé projekty FVPHS nemusejí být posuzovány pouze z ekonomického hlediska, ale z celkového environmentálního pohledu dopadů projektu.

### **3.3. Vliv decentrálních FVE na elektrizační soustavu**

Na základě dostupných dokumentů pro oblast energetiky a klimatu se dá předpokládat vysoký počet instalací nových FVE, které budou postupně připojovány do elektrizační sítě. Současně s tímto trendem bude ubývat klasických stabilních zdrojů v soustavě. To může mít v důsledku významný vliv na provozování elektrizační soustavy, její řízení a udržení výkonové rovnováhy. Lokální vliv připojení FVE na distribuční síť posuzuje distributor individuálně v závislosti na technických parametrech instalace a vydává stanovisko o možnostech připojení zdroje v požadovaném místě.

Pro představu o počtu plánovaných instalací v následujících letech se lze podívat na zájem investorů o dotační programy, jako je Modernizační fond, Nová zelená úsporám nebo Národní plán obnovy. V předregistraci Modernizačního fondu, kde mohly žádat soukromé firmy a subjekty veřejné správy, bylo přihlášeno 5 391 projektů v kategorii FVE do 1 MW a 3 833 projektů v kategorii FVE nad 1 MW. Po vyřazení projektů nesplňujících základní požadavky zůstalo dle [48] a [49] 7 698 projektových záměrů týkajících se FVE s celkovým výkonem přibližně 20 GWp a průměrným výkonem 2,64 MWp na jeden projekt. To by ovšem znamenalo téměř desetinásobné navýšení počtu FVE v elektrizační soustavě proti současnosti. Jelikož jednotlivé programy mají pevně stanovenou alokaci dostupných finančních prostředků, tak přichází v úvahu celkový výkon FVE 10 GWp v roce 2030. Společnost Deloitte ve své analýze [44] uvádí výkon FVE 9 GWp v roce 2030. Současně na základě předpokladů Vnitrostátního plánu ČR v oblasti energetiky a klimatu [50] se v roce 2040 má jaderná energetika podílet na výrobě elektřiny podílem téměř 60 %, což představuje velké zastoupení špatně říditelných zdrojů v soustavě. A pokud k tomu připočteme podíl OZE v roce 2040, který má činit až 25 % dle vnitrostátního plánu [50], tak pro říditelné zdroje zůstává 15 %, což může být problém pro udržení výkonové rovnováhy v elektrizační soustavě.[51]

Navíc lze říct, že v závislosti na začínající energetické krizi a dotacím NZÚ, kde o dotaci mohou žádat rodinné a bytové domy, bude docházet ke zvyšování počtu malých FVE připojených na hladině NN. Současně se bude zvyšovat počet instalací integrovaných FVE na fasádách budov, střeších budov, popř. protihlukových stěnách. Výkon těchto systémů se bude pohybovat v řádu několika desítek kWp a budou tedy také připojovány na hladinu NN, tak můžeme očekávat velký nápor právě na hladinu NN.[45]

Z výše uvedeného vyplývá, že v blízké budoucnosti bude docházet ke zvyšování počtu intermitentních a hůře říditelných zdrojů v elektrizační soustavě, což bude mít za důsledek zhoršení říditelnosti soustavy a následného udržení výkonové stability. Současně tento nárůst může vyvolat navýšení investic nutných pro posílení distribučních soustav.

## 4. Solární protihlukové stěny

Solární protihlukové stěny nepředstavují nijak nový koncept výroby elektrické energie, protože první projekt byl zrealizován již v roce 1989 ve Švýcarsku. V průběhu let docházelo k ojedinělým instalacím v zahraničí, protože byly využívány převážně pozemní instalace FVE. Bohužel do současnosti nenašly stěny širší uplatnění pro výrobu elektrické energie pomocí solárních panelů. Nicméně osobně si myslím, že se silícím tlakem na snižování emisí skleníkových plynů a zvyšování podílu obnovitelných zdrojů na výrobě elektřiny, které jsem zmiňoval v předchozích kapitolách, dojde ke zvýšení počtu realizací těchto projektů. Naznačuje to například vývoj v Německu, kde se nyní nachází největší počet FVPHS v Evropě a další projekty se budou realizovat v průběhu několika let.[34, 52]



*Obrázek 8 Příklad solární protihlukové stěny ve Švýcarsku na dálnici A2 [53]*

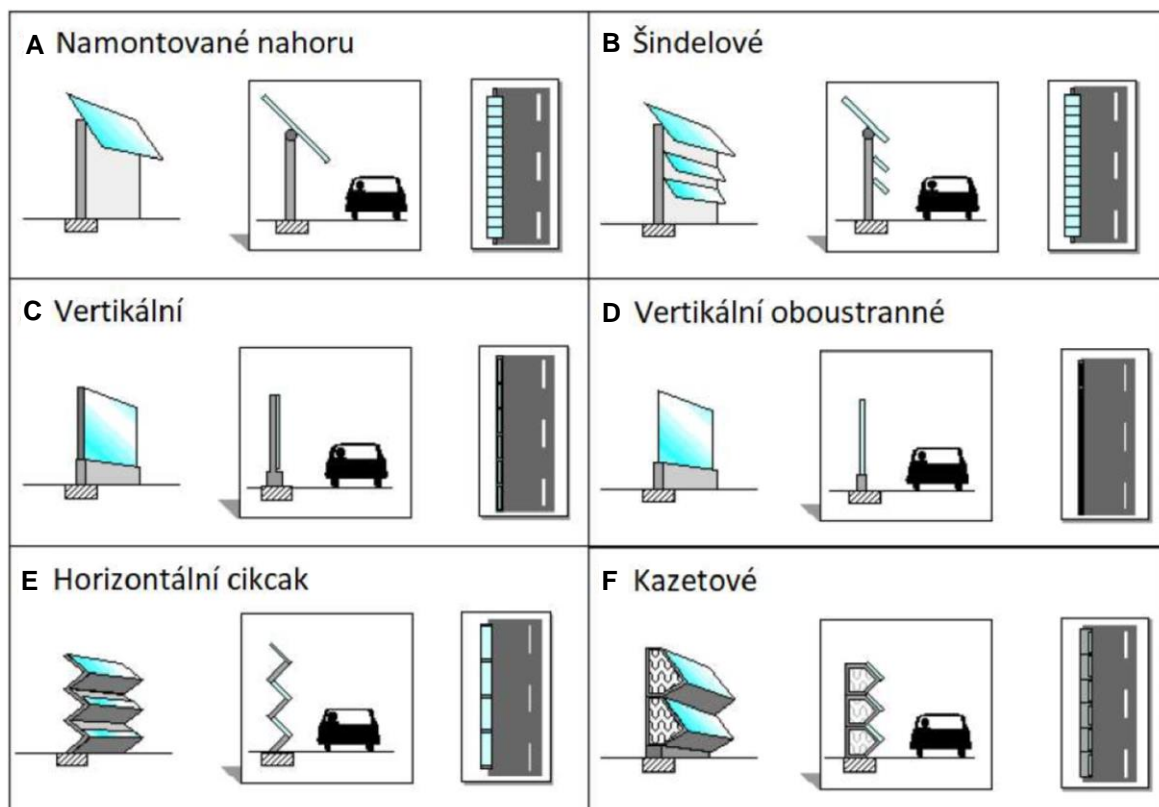
V současnosti neexistuje žádný projekt solární PHS na území České republiky, proto jsem informace čerpal z dostupných zahraničních studií a projektů. V některých státech se jednalo pouze o pilotní projekty, ale v jiných již dochází k promyšlenému využívání těchto volných ploch. V zahraničí existuje nemalé množství instalací FVE na plochách protihlukových stěn, jejichž dostupný seznam jsem uvedl v tabulce 1. Ovšem v žádné zemi zmiňované v tabulce 1 nedošlo prozatím k masivnímu zvýšení počtu instalací v rámci velkého počtu PHS.

Tabulka 1 Přehled instalovaných solárních stěn v jednotlivých zemích [52]

Země	První instalace v roce	Počet solárních PHS
Austrálie	2007	2
Rakousko	1992	3
Chorvatsko	2010	1
Dánsko	1991	2
Francie	1999	2
Itálie	2006	2
Německo	1992	18
Nizozemsko	1995	4
Slovinsko	2012	1
Švédsko	2014	1
Švýcarsko	1989	9
Spojené království	2006	3

#### 4.1. Možnosti instalace FV na protihlukové stěny

V současnosti již existuje několik možných způsobů umístění FV panelů na PHS, ovšem před výběrem vhodného způsobu je nutné určit typ a účel protihlukové stěny. Existují 2 základní typy protihlukových stěn, první jsou tzv. pohltivé PHS, které mají za úkol absorbovat velkou část hluku vzniklého dopravou na komunikaci. Druhým typem jsou odrazivé stěny, které se používají v méně osídleném prostředí a menším nárokem na snížení hluku. Prioritou pro protihlukové stěny vždy bude snížení hluku v okolí pozemní komunikace. Solární panely na povrchu pokrývá vrstva skla, která chrání jednotlivé PV články před mechanickým poškozením. Sklo se z hlediska zvukových vlastností klasifikuje jako odrazivý materiál, takže pro zachování vlastností stěny bude záležet na způsobu umístění FV panelů na stěně. Při instalaci FV systému, při které dojde k překrytí pohltivých stěn solárními panely, dojde ke změně stěny na odrazivou vlivem právě skleněné vrstvy panelů. Z pohledu FV systému hraje umístění panelů velkou roli, s ohledem zejména na možnost nastavení sklonu, který má významný vliv na výslednou výrobu systému. Pro instalaci solárních panelů na PHS bude nutné najít kompromis mezi potřebami FV panelů a protihlukových stěn. Jednotlivé způsoby instalace panelů na PHS jsem uvedl na obrázku 10 s bližším popisem způsobu v tabulce 2.[54]



Obrázek 9 Možná řešení instalace FV panelů na protihlukových stěnách (upraveno autorem) [55]

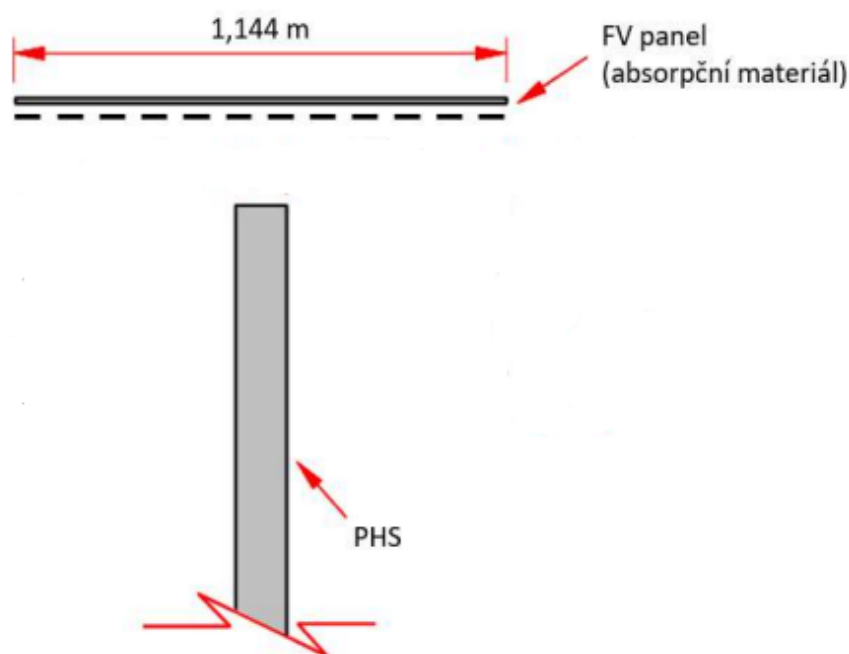
V obrázku 10 jsou uvedeny dostupné montáže FV panelů na protihlukové stěny, které je možné pomocí současných technologií realizovat. Jednotlivé způsoby jsem blíže popsal v tabulce 2.

Tabulka 2 Popis jednotlivých technologií z předešlého obrázku (upraveno autorem) [30]

Typ	Popis technologie
A	Instalace solárních panelů na hřbet stěny – umožňuje nastavení vhodné orientace sklonu.
B	Šindele po celé výšce stěny včetně jejího vrcholu, toto rozmístění přináší větší využití plochy stěny, ale také dochází ke zhoršení protihlukových opatření a současně velkému zastínění.
C	Využívá celou plochu stěny, ale není možné nastavení orientace sklonu jako u typu A. Nastavení sklonu se musí provést již při plánování stavby.
D	Využití bifaciální/oboustranné technologie. Způsob instalace je podobný typu C, nyní jsou obě strany stěny schopny vyrábět elektrickou energii.
E	Zig-zag technologie společně s odrazivým typem stěny. Vhodný podél zdrojů hluku, kde není nutné směřovat odražený hluk specifickým směrem. Tento způsob způsobuje zastínění solárních panelů.
F	Kombinuje zig-zag technologii s pohltivými materiály protihlukových stěn. Při použití tohoto typu dochází k zachování protihlukových vlastností stěny, ale stejně jako ve způsobu E ke zvýšení zastínění systému.

Při instalaci FV systému na protihlukovou stěnu se z důvodu snížení nákladů a náročnosti instalace pro umístění panelů vždy používá orientace samotné stěny. Na základě výše uvedených informací nejsou vhodné způsoby C a D, protože nenabízí možnost nastavení sklonu panelu, který v těchto případech bude vždy 90°. V závislosti na dodržení bezpečnosti silničního provozu nejsou vhodné způsoby B, E a F. Při této instalaci se nachází panely blíže vozovce, kde existuje nebezpečí dopravní nehody a poškození systému. Současná legislativa ČR není na tyto způsoby připravena, protože existují stanovené minimální vzdálenosti mezi PHS a vozovkou. Z této úvahy plyne, že vhodným způsobem využití protihlukových stěn je zejména způsob A, tedy instalace na vrchol stěny s možností nastavení sklonu panelů.[54, 56]

Zahraniční studie [57] ukazuje, že umístění panelu na vrchol protihlukové stěny může při dodatečném použití absorpční hmoty na spodní okraj panelu přinést snížení hluku. Studie ukázala, že ke snížení hluku dochází hned za stěnou i na fasádě budov vzdálené 10 metrů od stěny. Ilustraci tohoto způsobu jsem uvedl na obrázku 11.



Obrázek 10 Ilustrační obrázek umístění panelu na vrchol stěny (upraveno autorem) [35, 57]

Na závěr této kapitoly bych ještě řekl, že je nutné posoudit stáří protihlukové stěny, protože výše uvedené platí pro výstavbu nových nebo rekonstrukci stěn. Při stavbě protihlukové stěny se očekává její živostnost přibližně 30 let, takže se jedná o velmi podobnou očekávanou živostnost FV systémů. Při instalaci na již existující stěny by

v průběhu živostnosti FVE muselo dojít k odstranění panelů, což by znamenalo přerušení výroby elektřiny. Tento způsob není technicky a ekonomicky přijatelný.

## 4.2. Údržba solárních protihlukových stěn

V současnosti se neprovádí specifická údržba protihlukových stěny, protože to není nezbytně nutné pro jejich činnost, pouze dochází k namátkové kontrole jejich technického stavu. V některých úsecích může docházet k pravidelné údržbě problematické zeleně v okolí stěn, která by mohla mít nežádoucí vliv na samotnou stěnu nebo bezpečnost silničního provozu. Údržba solárních protihlukových stěn nemusí být nutně náročnější než údržba obyčejných protihlukových stěn, například sekání zeleně. V závislosti na možnosti vyšší prašnosti v okolí pozemní komunikace může docházet u panelů k většímu znečištění. Bylo by tedy vhodné u FV panelů nastavit a provádět pravidelnou údržbu, která obnáší zejména čištění povrchu panelů právě od zmíněného prachu. V rámci opatrnosti a zvýšení životnosti systémů by bylo také vhodné provádět tuto údržbu alespoň dvakrát do roka, například na jaře a na podzim. Poznatky ze studie [58] a [57] nenaznačují významné snižování výkonu instalovaného FV systému poletujícím prachem, který vzniká v okolí pozemní komunikace. Dále lze předpokládat, že částečné očištění panelů může způsobit sníh nebo déšť. Míra přirozeného očištění závisí zejména na velikosti sklonu panelů a vydatnosti dešťů v daných geografických podmínkách.[53, 59]

Dle zahraniční studie [58] došlo u FVPHS poblíž dálnice A27 vlivem prachu ke snížení výkonu o 5,5 % proti předchozímu roku, ale proti tomu studie [52] tvrdí, že dle výkonnostních výsledků není nutné provádět údržbu. Navíc další studie [57] uvádí, že pravidelným terénním šetřením bylo zjištěno, že účinky dešťové vody jsou dostačující k zachování dostatečného výkonu. Z pohledu životnosti FV systému dává smysl provádět čištění a pravidelnou údržbu častěji, než uvádějí výše zmíněné studie. Údržbu je vhodné spojit se zběžnou kontrolou technického stavu, při jejímž průběhu a zjištění závady se může předejít významnému poškození včasnou opravou systému.

Na základě českých technických norem *ČSN EN 62446-1*, *ČSN 33 1500* a *ČSN 33 2000-6* se ukládá vlastníkovvi FVE povinnost provádět revize systému nejméně jednou za 4 roky. V rámci revizí se provádí kontrola mechanických a elektrických vlastností, které musí odpovídat požadavkům výše uvedených norem. Pro dosažení dlouholeté životnosti je vhodné revize provádět pravidelně, jak uvádí normy.[60, 61]

### 4.3. Nebezpečí použití FV panelů na protihlukových stěnách

Při využití protihlukových stěn k výrobě elektrické energie dochází instalací FV panelů ke změně materiálové struktury stěn. To může mít vliv na jejich chování v extrémních situacích, například při dopravní nehodě. Protihlukové stěny musejí být v souladu s legislativou ČR, která se zabývá bezpečností silničního provozu. Při použití solárních panelů může při dopravní nehodě dojít ke vzniku úlomků, které následně mohou zranit účastníky nehody. Ovšem s odkazem na kapitolu 4.1, kde jsem jako vhodný způsob umístění panelů zvolil vrchol stěny, tak při zvoleném způsobu nehrozí bezprostřední nebezpečí, protože k nárazu dochází v dolních částech stěny. Dalším nebezpečím může být požár fotovoltaické elektrárny, ale na tyto požáry mají složky HZS metodické listy a předpisy [62], které přesně definují hasící postupy u těchto typů požárů.

Z potencionálních nebezpečí instalace FVPHS by bylo možné považovat oslňování projíždějících řidičů odrazem světla od FV panelů. Dle výzkumu [63] fotovoltaické panely vykazují menší oslnění než okna nebo vodní hladina. Důkazem bezpečnosti mohou být instalace FV systémů na několika světových letištích bez jakékoli evidence incidentů, při kterých by došlo k oslnění pilotů letadel. Zhoršení bezpečnosti silničního provozu lze tedy těžko prokazovat a analyzovat. Nicméně studie [57] prezentuje výsledky experimentu solární PHS u dálnice M27 ve Velké Británii, kde pomocí dvou kamer se sledovalo chování řidičů v okolí FVPHS. Jedna z kamer snímala provoz po směru jízdy a druhá kamera snímala provoz v protisměru. Na základě pozorování nebylo zjištěno, že by instalace měla nějaký vliv na chování řidičů při projíždění okolo FVPHS.

Poblíž pozemních komunikací lze pozorovat zvýšený výskyt vibrací. Vibrace na protihlukových stěnách jsou vyřešeny pomocí gumových výplní mezi protihlukovými panely a jednotlivými sloupy zapuštěnými do země. Na základě toho dochází ke snížení vlivu vibrací na protihlukovou stěnu a minimalizace chvění celé konstrukce. Tímto způsobem bude možné eliminovat také vliv vibrací na solární panely připevněné na stěny, proto jsem jejich vliv v této práci neuvažoval. Větší problém než technická nebezpečí jsou sociálně-ekonomické problémy v podobě krádeží nebo ničení majetku, zejména vlivem graffiti, které značně snižují výrobu systému. Tato nebezpečí nelze bohužel úplně eliminovat, protože není možné zamezit přístupu lidí ke stěnám.

Na základě výše zmiňovaných skutečností a konzultací se zástupci ŘSD se pro instalace FV systému na protihlukových stěnách na území ČR jeví nejvhodněji využití vrcholu stěny nebo venkovní strany stěny. Při instalaci na vrchol stěny a dodatečného přidání pohltivých materiálů pod konstrukci panelů (viz obrázek 10), může dojít dokonce ke



zlepšení protihlukových vlastností. Venkovní strana stěny lze využít téměř bez omezení, ale na této straně stěny může docházet ke většímu poškození ze stran vandalů, zejména zvýšení počtu krádeží. Dalším problémem instalace na této straně je, že se zde nachází ve většině případů zeleň, která by FV panely zastiňovala a mohlo by docházet ke snižování výkonu. Proto jsem pro určení energetického potenciálu stěn volil umístění solárních panelů na vrchol protihlukových stěn.



## 5. Energetický potenciál protihlukových stěn

Při stanovování energetického potenciálu je zapotřebí definovat, o jaký potenciál se bude při jeho výpočtu jednat. Zkoumané potenciály lze rozdělit do 4 základních skupin.

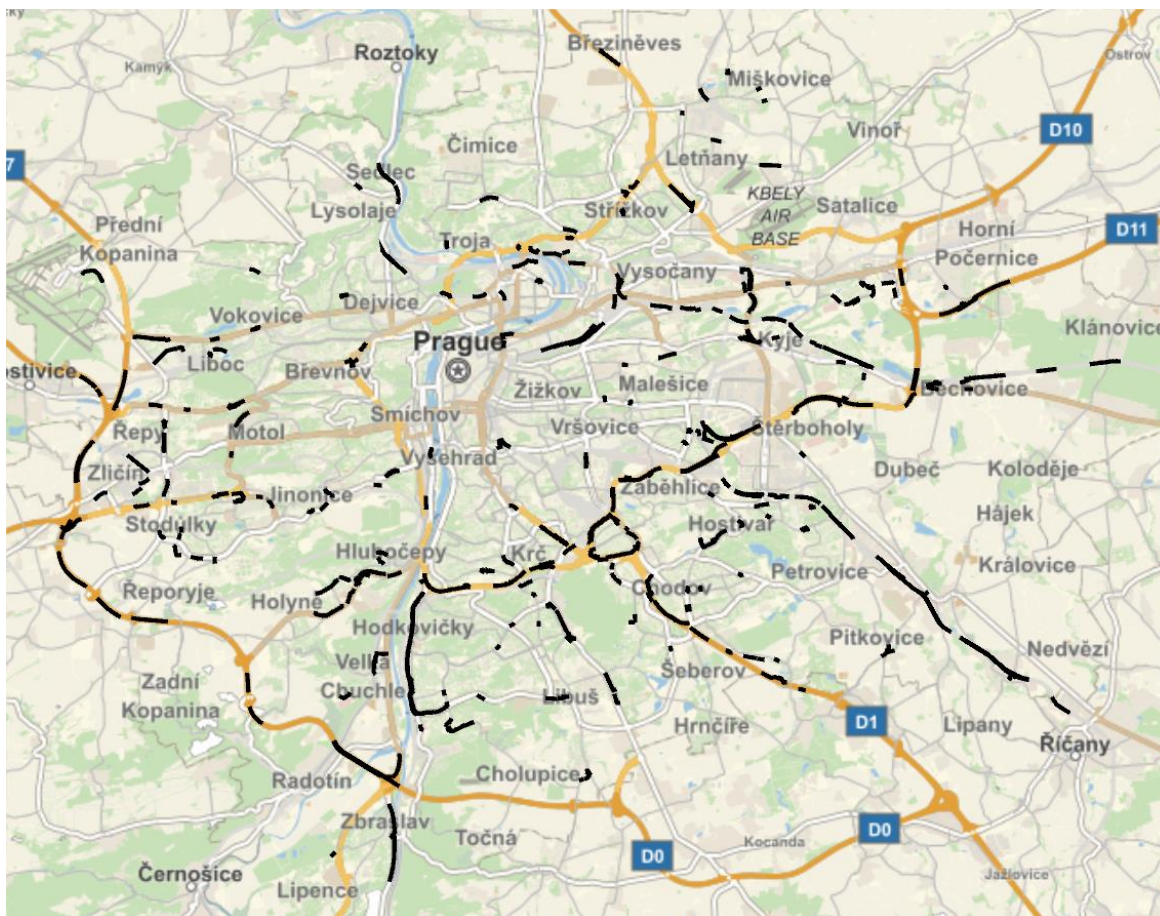
- Technický – potenciál definován přítomností zdroje a vhodných podmínek k přeměně energie
- Využitelný – část technického potenciálu, který je možné využít v současnosti dostupnými technickými prostředky
- Dostupný – část využitelného potenciálu, který lze využít pro energetické účely
- Ekonomický – část dostupného potenciálu, který lze komerčně využít

V této diplomové práci se věnuji stanovení technickému potenciálu zmapovaných existujících protihlukových stěn. Takže se zaměřuji na maximální potenciál protihlukových stěn při existenci vhodných podmínek pro výrobu elektřiny přeměnou solární energie. Cílem bylo určit potenciál při osazení všech zmapovaných PHS daným typem panelu a zvoleného způsobu montáže. Metodicky lze stanovit potenciál na základě statistických údajů jako například potenciál fasád zpracovaný EGÚ Brno [25] nebo pomocí reálných dat o zkoumaných předmětech. Já jsem měl k dispozici data o existujících protihlukových stěnách, proto jsem řešení tohoto úkolu založil na reálných datech. Takže jsem zjistil současný počet existujících protihlukových stěn, na které jsem definovaným způsobem instaloval FV systém, na základě čehož jsem mohl určit energetický potenciál.

### 5.1. Podklady a problematika potenciálu PHS

Na základě dat z portálu hlavního města Prahy a dat poskytnutých od Ředitelství silnic a dálnic, které má zpracovaný částečný pasport současných stěn v jejich majetku, jsem získal databázi převážně většiny existujících protihlukových stěn na území ČR. Ředitelství silnic a dálnic eviduje a spravuje protihlukové stěny v okolí dálnic a silnic I. třídy. Pro určení jednotlivých hranic systému FVPHS jsem využil možnosti konzultovat toto téma se zástupcem ŘSD. Na základě těchto dat jsem vytvořil model, který ze zeměpisných souřadnic spočítá délku stěny a její azimut, ze kterého lze následně stanovit orientaci panelu umístěného na stěnu. Po výpočtu parametrů stěn, na základě informací získaných při konzultacích a dalších vstupních předpokladů bude možné stanovit současný potenciál PHS.[64]

Na obrázku 11 jsou pro představu vyobrazeny všechny protihlukové stěny na území hlavního města Prahy, které byly zmapovány k datu 27.1.2020. Stěny spadající pod správu ŘSD jsou vyobrazeny pomocí nástroje GIS v příloze 6.



Obrázek 11 Protihlukové stěny na území hl. m. Prahy (vytvořeno na základě [64])

V České republice zatím neexistuje žádný realizovaný projekt solárních protihlukových stěn (FVPHS), takže nebylo možné využít zkušeností a znalostí z tuzemského projektu. Na začátku výpočtu potenciálu jsem musel určit možné způsoby instalace FV panelů na protihlukové stěny na území ČR, které jsem představil v podkapitole 4.1. Pro určení potenciálu jsem uvažoval o instalaci panelů na vrchol stěny (typ A z tabulky 2), kde nebudou přímo ohrožovat bezpečnost provozu, minimalizuje se možné oslnění řidičů a bude ztížen přístup k panelům pro jejich poškození či odcizení. Dalším možným způsobem pro instalaci panelů je venkovní část stěny, která může být využita téměř bez omezení, ale zvyšuje se riziko vandalizmu a krádeže. V rámci získaných dat není možné určit vnitřní nebo venkovní stranu, proto jsem tuto možnost neuvažoval. Pro demonstraci možných řešení a jejich vlivu na výsledné hodnocení projektu jsem v modelu uvažoval druhý způsob instalace, který je definován v tabulce 2 jako typ C.

Dalším faktorem, který může významně ovlivnit potenciaální výrobu solárních systémů, je zastínění panelů. K tomu u protihlukových stěn může docházet z několika důvodů. V městské oblasti se jedná zejména o zastínění z okolních budov nebo jiných staveb, v případě PHS v okolí dálnic a rychlostních silnic se jedná hlavně o zastíněné způsobené vegetací. Bohužel pro určení zastínění jednotlivých zkoumaných PHS nejsou dostatečné informace. Navíc při výskytu vegetace v okolí stěny může během roku vykazovat nepředvídatelný růst, jak uvádějí zahraniční studie [58] a [57], což také sťažuje určení průběžného vlivu zastínění na výrobu. Proto jsem zvolil hodnotu 15 % jako maximální přijatelné snížení výroby FV systému vlivem zastínění, kterou jsem použil při výpočtu potenciálu. Tuto hodnotu jsem zvolil na základě konzultací s projektanty FVE, kteří vyšší zastínění hodnotí jako ekonomicky nevýhodné. Stejnou hodnotu snížení výroby používají systémy zabývající se FVE, jako je PVsol a PVGIS. Na obrázku 12 a 13 jsem uvedl různé protihlukové stěny pro představu o možném zastínění PHS.[34, 52, 57]

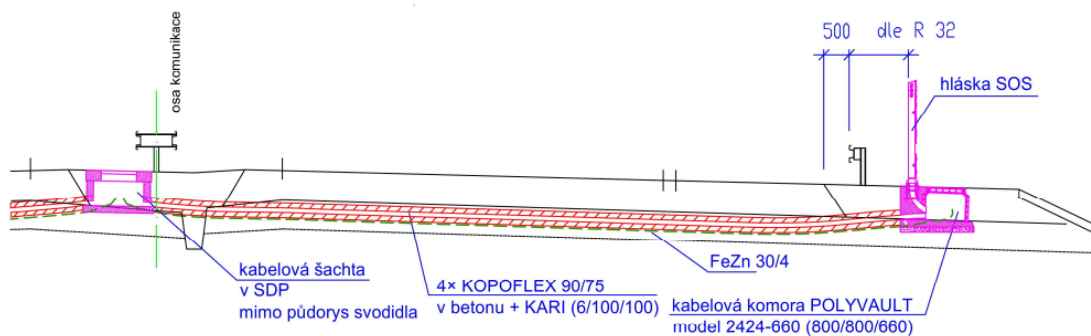


*Obrázek 12 Příklad PHS s velkým zastíněním od zeleně Zdroj: mapy.cz*



Obrázek 13 Příklad PHS bez zastínění zelení Zdroj: mapy.cz

Nevýhodou instalace FV panelů na protihlukové stěny může být jejich vzdálenost od přípojného místa distribuční soustavy. Na rozdíl od instalací FVE na střechy budov nebo jejich fasád, kde možnost připojení instalovaného systému je přímo v budově. Pro PHS může být přípojný místo vzdáleno desítky až stovky metrů nebo v extrémních případech dokonce kilometry. Při velké vzdálenosti k nejbližšímu přípojnému místu se významně znemožní instalaci FV systému, protože náklady na připojení jsou významně vyšší. Současně by bylo nutné se domluvit s vlastníkem okolních pozemků kvůli vedení napěťového kabelu, což představuje vznik věcného břemene na daném pozemku. Ze zkušeností ŘSD je tento problém v dnešní době takřka neřešitelný. Současně každou instalaci FVE posuzuje distributor daného území individuálně v závislosti na možnosti připojení zdroje do distribuční soustavy. Takže nelze obecně určit maximální vzdálenost, která je z pohledu instalace ještě výhodná. Při zjišťování aktuální situace rozvodů elektřiny v okolí pozemní komunikace jsem zjistil, že v rámci ŘSD existují dokumenty PPK (Požadavky na provedení a kvalitu) [65]. Tyto dokumenty se věnují kabelovým rozvodům elektrické energie podél pozemních komunikací. Současně říkají, že v rámci projektování stavby silniční infrastruktury se plánují také rozvody elektřiny, které jsou nejčastěji umístěny pod středovým pásem. Následně se ze středového pásu rozvádí elektřina až na okraj vozovky podzemní šachtou. Takže při plánované instalaci FVE na protihlukovou stěnu se lze zahrnout do naplánování rozvod elektřiny na okraj vozovky ve vhodném místě pro připojení FVE. Současně lze vhodně dimenzovat jednotlivé vodiče vedené k okraji vozovky na výkon připravované instalaci FVE. Ilustraci zmiňované situace jsem uvedl na obrázku 14.



Obrázek 14 Řez pozemní komunikací a příčný rozvod elektřiny k hlásce [57]

Nedílnou součástí FV systému jsou střídače, které je nutné někde vhodně a bezpečně umístit, aby se předešlo jejich odcizení, protože se jedná o drahá zařízení. V rámci „klasických“ instalací FVE není problém uložit tato zařízení někde v budově nebo ve zamykatelných skříních poblíž FVE. Současně pozemní instalace jsou často oplocena, což zamezuje vniku neoprávněných osob. Střechy budov nejsou volně přístupné, takže nebezpečí odcizení střídačů je velmi malé. V případě PHS existuje pouze pár možností, kde bude možné střídače bezpečně ukryt. Jednou z možností je připevnit střídač k vrcholu stěny (výška 4 metry) pomocí kotvicích šroubů, nicméně v tomto případě výrobek není významně chráněn proti krádeži. Ovšem bylo by možné ho umístit na vnitřní stranu stěny za předpokladu, že z této strany bude pravděpodobnost odcizení nižší vzhledem k provozu na pozemní komunikaci. Při konzultaci se zástupcem ŘSD jsem zjistil, že existují v určitých úsecích silnic SOS telefony, kde by bylo možné jednoduše a efektivně střídač ukryt. Bohužel hustota sítě těchto telefonů v současné době není dostatečná, takže pro úvahu využití těchto prostorů by bylo nejdříve nutné dobudovat samotnou infrastrukturu SOS telefonů. Nejpravděpodobnější možností by bylo ukryt střídač do portálů, které jsou v dostatečné blízkosti stěn a pravidelně se vyskytují na silnicích. Pokud se na portálu nachází světelná signalizace, tak je k němu současně přivedeno elektrické vedení. V těchto místech jsou ideální podmínky pro připojení FVE do sítě. Na obrázku 15 a 16 jsou uvedeny příklady informačních a hlásících portálů, které by bylo možné využít pro uložení střídačů.[65]



Obrázek 15 Ukázka portálu bez světelné signalizace na Pražském okruhu Zdroj: mapy.cz



Obrázek 16 Portál se světelnou signalizací a možností hlášení Zdroj: mapy.cz

## 5.2. Technický model

Pro určení technického potenciálu bylo nutné zaprvé zjistit délku a orientaci současných protihlukových stěny, abych mohl následně určit plochu panelů a orientace jednotlivých úseků určit velikost ozáření. Tyto parametry jsou nezbytné pro následný výpočet potenciálního výkonu a výroby elektřiny systémem. K zaznamenávání těchto informací se využívá geografický nástroj GIS, který eviduje geografické údaje o datech s definovanou polohou. Výstup z GIS jsem ukázal již na obrázku 11. V nástroji GIS jsou zaznamenány zejména polohy protihlukových stěnách a také další údaje, které informují o technických parametrech a jejich stavu. V získaných datech byla zaznamenána délka celé PHS nikoli jednotlivých úseků, ale jejich orientace (azimut) nebyl v datech přímo zanesen. V datech byly uvedeny zeměpisné souřadnice bodů stěn, odpovídající jejich zeměpisné poloze. Strukturu dat jsem uvedl v obrázku 17.



```

{
  "type" : "FeatureCollection",
  "name" : "HM_hlukochr_bariery_1",
  "features" : [
    {
      "type" : "Feature",
      "geometry" : {
        "type" : "LineString",
        "coordinates" : [
          [ 14.396796055000038, 49.96736365000004 ],
          [ 14.396782377000022, 49.96724823000005 ]
        ]
      },
      "properties" : {
        "OBJECTID" : 1,
        "ID" : null,
        "ULICE" : "K přehradám",
        "POPIS" : "Žitavského - Most Závodu Míru",
        "VYSKA" : 2.5,
        "KAT_UZEMI" : "Zbraslav",
        "Shape_Length" : 0.00011622763905890856
      }
    },
    {
      "type" : "Feature",
      "geometry" : {
        "type" : "LineString",
        "coordinates" : [
          [ 14.396893177000038, 49.969351817000074 ],
          [ 14.396873520000042, 49.968546837000076 ],
          [ 14.396877115000052, 49.968530027000004 ],
          [ 14.396859744000004, 49.968307688000004 ],
          [ 14.396867034000024, 49.968287400000065 ],
          [ 14.396794255000032, 49.967454853000005 ]
        ]
      },
      "properties" : {
        "OBJECTID" : 2,
        "ID" : null,
        "ULICE" : "K přehradám",
        "POPIS" : "Žitavského - Most Závodu Míru",
        "VYSKA" : 2.5,
        "KAT_UZEMI" : "Zbraslav",
        "Shape_Length" : 0.0019027066478348395
      }
    }
  ]
}

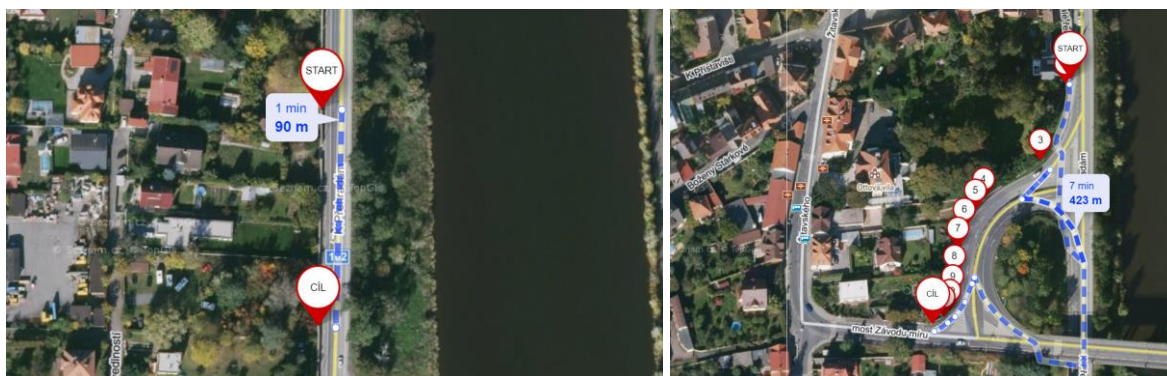
```

Obrázek 17 Ukázka struktury dat k protihlukovým stěnám pro Prahu [60]

Jelikož průběh stěny není v mnoha případech přímý musel jsem vypočítat délku a orientaci jednotlivých úseků stěn. Jelikož nástroj GIS neumí provádět matematické výpočty na datech, musel jsem pomocí programu Wolfram Mathematica analyzovat data a izolovat potřebné údaje o zeměpisných souřadnicích pro použití k dalším výpočtům. Po zmiňované analýze jsem zjistil, že zeměpisné souřadnice PHS hlavního města Prahy jsou uvedeny ve správném systému WGS (World Geodetic System). Bohužel společnost ŘSD pro záznam zeměpisné polohy bodů stěny používá systém jednotné trigonometrické sítě katastrální (zkratka S-JTSK). Ten se používá pro záznam souřadnic na území České a Slovenské republiky. Pro výpočet délky a orientace stěny bylo nutné zajistit všechna vstupní data v systému WGS, proto jsem musel data ŘSD převést do formátu systému

WGS, abych mohl použít níže definované vzorce. Tento převod jsem provedl pomocí online převodníku [66], který je právě pro tento převod určen. Po této úpravě jsem importoval údaje o zeměpisné poloze do programu WM, ukázkou importovaných dat jsem uvedl v příloze 7 této práce. Struktura importovaných dat nedovolovala jednoduchou manipulaci, proto jsem upravil data do vhodné struktury pro lepší indexování vstupních hodnot. Takže pro lepší operaci s daty jsem do jednoho listu datového záznamu stěny vložil zeměpisné souřadnice bodu a ID PHS, aby bylo možné určit konec a začátek jednotlivých úseků. Ukázkou takto upravených dat jsem uvedl v příloze 8 této diplomové práce.

Při znalosti zeměpisné polohy jednotlivých bodů stěn, které v kontextu PHS představují polohu počátečního a koncového bodu jednotlivého úseku stěny, jsem mohl pokračovat. Pro stanovení délky úseků jsem provedl linearizaci mezi dvěma těmito známými body, která představuje zjednodušení skutečného průběhu stěny a jeho nahrazení přímkou. Tato linearizace definuje nejkratší možnou vzdálenost mezi dvěma body stěny. Jednotlivé úseky byly již zaznamenány a definovány v nástroji GIS, takže nebylo možné ovlivnit velikost celkového zjednodušení průběhu PHS. Nicméně pro účely této práce byla frekvence bodů stěny dostačující, protože vzdálenost mezi jednotlivými úseky nebyla větší než 30 metrů. Při změně zakřivení stěny dochází ke zkrácení úseku, takže změny zakřivení jednotlivých stěn jsou v získaných datech reflektovány právě zvýšením četnosti bodů. Součet jednotlivých linearizovaných úseků stanovuje celkovou délku dané protihlukové stěny, které lze rozlišit pomocí jejich čísla ID, jenž bylo rovněž zaneseno do GIS. Pro názornou ukázkou reflektování změny zakřivení stěny jsem v obrázku 18 vykreslil 2 rozdílné protihlukové stěny. Vykreslil jsem rovnou stěnu bez zakřivení, která se skládá ze 2 bodů a stěnu se zakřivením, která se skládá již z 12 bodů čili z 11 úseků.

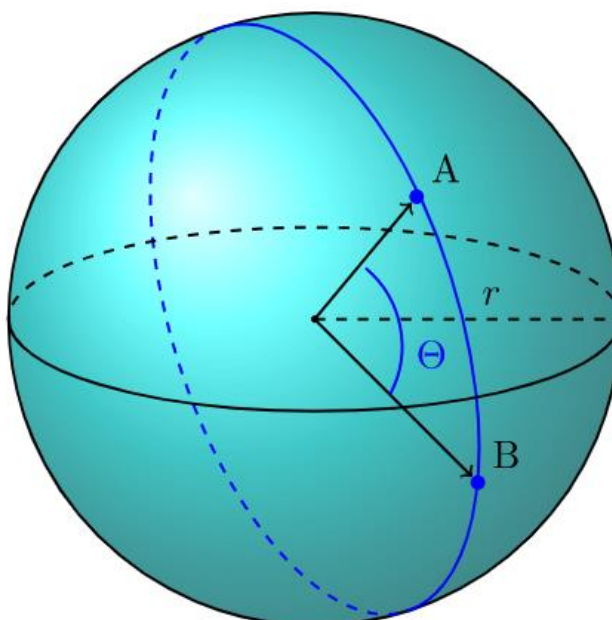


Obrázek 18 Příklad bodů jednotlivých stěn (vlevo rovná stěna, vpravo zakřivená stěna)

Po získání zeměpisných souřadnic všech bodů jednotlivých protihlukových stěn jsem tato data mohl využít k výpočtu délky a orientace úseků. K tomu jsem využil Haversinovu rovnici ( 1 ), která se používá k výpočtu vzdálenosti mezi dvěma body na kulové ploše. Výpočet pro využití bodů na Zemi není 100% přesný, protože Země není dokonalá koule, ale pro potřeby této práce ho považuji za dostačující. Princip Haversinovy rovnice jsem znázornil na obrázku 19.[67]

$$hav(\Theta) = hav(\varphi_2 - \varphi_1) + \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 \cdot hav(\lambda_2 - \lambda_1) \quad (1)$$

$\Theta$	Středový úhel mezi body 1 a 2	[rad·s <sup>-1</sup> ]
$\varphi_1$	Zeměpisná šířka počátečního bodu úseku stěny	[rad·s <sup>-1</sup> ]
$\varphi_2$	Zeměpisná šířka koncového bodu úseku stěny	[rad·s <sup>-1</sup> ]
$\lambda_1$	Zeměpisná délka počátečního bodu úseku stěny	[rad·s <sup>-1</sup> ]
$\lambda_2$	Zeměpisná délka koncového bodu úseku stěny	[rad·s <sup>-1</sup> ]



Obrázek 19 Ilustrační obrázek myšlenky Haversinovy rovnice [63]

Při znalosti poloměru Země a využití Haversinova vzorce lze napsat, že výsledná vzdálenost mezi 2 body protihlukové stěny je dána následujícím vztahem:

$$d_{12} = R \cdot archav(hav(\Theta)) \quad (2)$$

$d_{12}$	Vzdálenost mezi počátečním a koncovým bodem úseku	[m]
$R$	Poloměr zeměkoule (6 371 m)	[m]
$\Theta$	Středový úhel mezi body 1 a 2	[rad·s <sup>-1</sup> ]

Pro implementaci vzorce ( 2 ) do programu Wolfram Mathematica jsem provedl následující matematickou náhradu pro jednodušší výpočet:

$$\text{archav}(\text{hav}(\Theta)) = 2 \cdot \arcsin\left(\sqrt{\text{hav}(\Theta)}\right) \quad (3)$$

Po úpravě rovnice ( 4 ) pomocí vztahu ( 3 ) dostaneme výsledný vzorec pro výpočet nejkratší vzdálenosti 2 bodů na kulové ploše implementovaný do programu WM:

$$d = 2 \cdot R \cdot \arcsin\left(\sqrt{\text{hav}(\Theta)}\right) \quad (4)$$

<b>d</b>	Výsledná délka úseku protihlukové stěny	[m]
<b>R</b>	Poloměr zeměkoule (6 371 000 m)	[m]
<b>Θ</b>	Středový úhel mezi body 1 a 2	[rad·s <sup>-1</sup> ]

Vztah ( 4 ) jsem tedy využil pro stanovení délky úseku mezi 2 po sobě jdoucími body stěny. Do programu WM jsem zařadil podmínku zaručující, že nedojde k výpočtu vzdálenosti mezi dvěma stěnami ale pouze mezi úseky jedné stěny. Takže při změně ID stěny se místo vzdálenosti vypíše hodnota 0, aby bylo jasné, že se nejedná o úsek PHS, který bude následně zahrnut do výpočtu potenciálu.

```

In[31]:= delkaphs =
Table[If[datamodel[[i, 3]] == datamodel[[i + 1, 3]],
6371000 * 2 *
ArcSin[
Min[1,
Sqrt[Sin[
datamodel[[i + 1]][[1]] Degree - datamodel[[i]][[1]] Degree]^2 + Cos[datamodel[[i]][[1]] Degree] * Cos[datamodel[[i + 1]][[1]] Degree] *
Sin[
datamodel[[i + 1]][[2]] Degree - datamodel[[i]][[2]] Degree]^2]], 0], {i, 1, Length[datamodel] - 1}]
Out[31]= {12.8714, 0, 89.5207, 1.88679, 24.7542, 2.31539, 92.7212, 0, 132.153, 154.224, 0, 3.43403, 42.2766, 36.405, 7.25898, 11.485, 10.5925, 14.7474, 10.6518, 7.82693, 4.31672,
7.11742, 0, 25.406, 47.0724, 17.1109, 3.7396, 2.87893, 19.4737, 34.6912, 32.8854, 58.1976, 61.0539, 0, 86.6772, 0, 51.6138, 0, 25.3323, 8.87005, 7.05109, 9.75814,
15.5669, 5.36633, 4.29278, 5.65035, 5.48568, 5.78464, 9.28008, 0, 47.0243, 0, 12.655, 9.47833, 14.7302, 45.5916, 92.0404, 0, 8.98226, 12.8949, 28.0507, 114.24,
0, 42.2144, 6.55198, 3.70872, 3.78168, 3.55758, 9.1276, 16.312, 11.3984, 11.1179, 13.8596, 13.6227, 10.8533, 11.637, 13.4485, 18.3663, 7.68192, 11.5639, 13.3733,
22.6289, 0, 16.6814, 12.1949, 11.483, 11.3541, 19.2342, 15.9678, 18.4981, 21.9134, 17.9188, 26.0371, 32.936, 22.4684, 24.3557, 27.591, 15.2285, 0.743414, 0,
17.4297, 0, 14.0647, 14.0487, 18.3421, 16.2056, 5.35684, 1.18715, 23.3924, 15.3498, 0, 62.4255, 29.871, 11.2603, 0, 87.2991, 114.72, 0, 55.9834, 33.1996, 20.4605,
17.5152, 0, 86.6955, 0, 69.911, 1.87635, 0, 0.958035, 1.75526, 0.671178, 2.66821, 0.701449, 2.3623, 0.643342, 2.48206, 0.664257, 2.01666, 0.711613, 2.18451,
0.80372, 2.63202, 0.748242, 2.16723, 0.701775, 1.61263, 0.712394, 2.73837, 0.918658, 1.88636, 0.733955, 2.20354, 0.803595, 1.82228, 0.767939, 2.62014, 0.803722,
1.71458, 0.664121, 2.51872, 0.712347, 1.6768, 0.907618, 2.6201, 0.84095, 1.79762, 0.698281, 2.6688, 0.803794, 1.75856, 0.837847, 2.41106, 0.822062, 1.96689,
0.76794, 2.3422, 0.701853, 1.82151, 0.822016, 2.72672, 0.809913, 2.18302, 0.701853, 2.06791, 0.809913, 2.12389, 0.740689, 2.19285, 0.950364, 2.12525, 0.493414,
2.09705, 0.7075, 1.69916, 0.632401, 2.57495, 0.862978, 2.37085, 0.671785, 2.05513, 0.686263, 2.3556, 0.864175, 0.918501, 0.701454, 1.16552, 0.642424, 1.75334,
0.61898, 1.27437, 0.576087, 2.23015, 0.883894, 1.72728, 0.864131, 2.56102, 0.928269, 1.72722, 0.81786, 2.72668, 0.918663, 1.69916, 0.632, 2.57496, 0.753967,
1.86314, 0.664136, 2.05506, 0.849705, 2.055, 0.701855, 2.9727, 0.910443, 1.58117, 0.873506, 2.74617, 0.974425, 1.38348, 0.594332, 2.47979, 0.773449, 1.69916,
0.418926, 2.86463, 0.910444, 1.81771, 0.701676, 2.48222, 0.907568, 1.95731, 0.77138, 2.13134, 1.19473, 1.75966, 1.05919, 2.39257, 0.575376, 2.5566, 0.931013,
2.24039, 0.803527, 2.03762, 0.671241, 2.84073, 0.88947, 1.74118, 1.0562, 1.83859, 1.06738, 1.91941, 0.882461, 2.70905, 0.840562, 1.74115, 0.840562, 1.72943,
0.671179, 1.63171, 0.575378, 1.52248, 0.733239, 1.52248, 0.772037, 1.78216, 0.905652, 2.10306, 0.816546, 2.15343, 0.992817, 1.63739, 0, 98.1764, 3.84058, 0,
72.7391, 3.92339, 86.0791, 15.9197, 0, 50.9058, 64.3574, 0.97639, 0, 6.49857, 7.90434, 5.22857, 92.7364, 26.6143, 79.1045, 26.0999, 18.2703, 42.5631, 3.97633, 0,
44.9774, 3.46634, 1.30705, 31.9254, 36.6477, 35.3525, 34.8425, 32.5198, 39.2947, 15.883, 0, 36.3247, 0, 1.07143, 27.5706, 0, 16.9621, 17.5109, 23.3212, 20.0312,

```

Obrázek 20 Výstup výpočtu délky úseku PHS v programu WM

Po stanovení délky jednotlivých úseků stěn jsem ještě musel spočítat azimut těchto úseků, který bude shodný s azimutem instalovaného FV systému. Výpočet azimutu vychází také z Haversinova zákona, který ho definuje následujícím způsobem [68]:

$$\theta = \arctan\left(\frac{\cos \varphi_1 \cdot \sin \varphi_2 - \sin \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 \cdot \cos(\lambda_2 - \lambda_1)}{\sin(\lambda_2 - \lambda_1) \cdot \cos \varphi_2}\right) \quad (5)$$

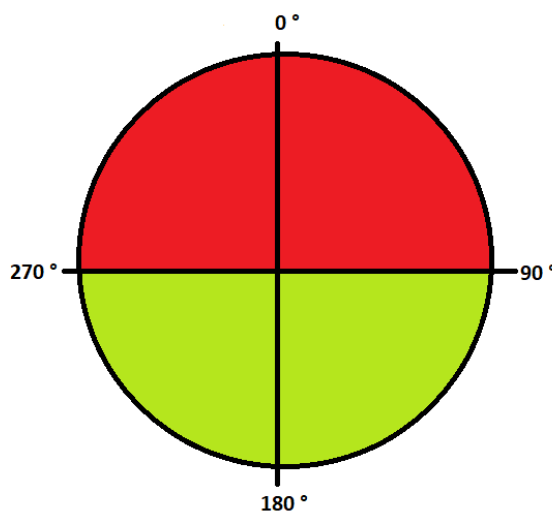
$\theta$	Úhel pro výpočet výsledného azimutu stěny	[rad·s <sup>-1</sup> ]
$\varphi_1$	Zeměpisné šířky počátečního bodu úseku stěny	[rad·s <sup>-1</sup> ]
$\varphi_2$	Zeměpisné šířky koncového bodu úseku stěny	[rad·s <sup>-1</sup> ]
$\lambda_1$	Zeměpisná délka počátečního bodu úseku stěny	[rad·s <sup>-1</sup> ]
$\lambda_2$	Zeměpisná délka koncového bodu úseku stěny	[rad·s <sup>-1</sup> ]

Pro normalizaci výsledného azimutu do intervalu 0° až 360° jsem výsledek z předchozího výpočtu upravil pomocí vztahu ( 6 ) a výsledný azimut byl roven zbytku po dělení 360 [68]:

$$A_{FVPHS} = \frac{\theta \cdot 180}{\pi} + 360 \quad (6)$$

$A_{FVPHS}$	Výsledný azimut protihlukové stěny	[°]
$\theta$	Úhel pro výpočet azimutu stěny	[rad·s <sup>-1</sup> ]

Ukázka zdrojového kódu programu WM pro výpočet délky a azimutu úseků PHS jsem uvedl v příloze 3. Na základě výše uvedených vzorců jsem stanovil délku a azimut jednotlivých úseků protihlukových stěn. Jak bylo řečeno v kapitole 4.1 vhodným typem umístění panelů na stěnu v ČR je vrchol stěny, takže orientace panelů bude shodná s orientací samotné stěny. Proto lze uvažovat, že pro všechny orientace stěn bude možné zvolit instalaci panelů orientovanou na jižní polokouli. Dojde tedy k dominování severní polokoule (červená barva), což jsem pomocí barev graficky znázornil na obrázku 21.



Obrázek 21 Ilustrace dominování horní polokoule země při instalaci FVE na PHS

Tato úvaha vedla k definování intervalu, ve kterém se bude pohybovat azimut jednotlivých úseků stěn. Výsledný azimut stěny se tedy bude pohybovat v intervalu  $\langle 90^\circ; 270^\circ \rangle$ . Pro účely FV systémů se v praxi častěji používá interval  $\langle -90^\circ; 90^\circ \rangle$ , kde  $0^\circ$  znázorňuje orientaci systému na jih,  $-90^\circ$  pro orientaci na východ a  $90^\circ$  pro orientaci na západ. Tento interval jsem rozdělil na úseky po  $15^\circ$  dle tabulky 3, do kterých následně rozdělím vypočítané orientace stěn. Tímto rozdělením dochází k částečnému zanedbání přesné orientace stěny, a tedy zároveň k použití méně přesné hodnoty slunečního ozáření pro danou orientaci. Nicméně v rámci této diplomové práce lze tento fakt považovat za zanedbatelný, protože mezi jednotlivými intervalech dochází k zanedbatelnému poklesu ozáření, proto jsem zvolil právě hodnotu  $15^\circ$ .

*Tabulka 3 Rozdělení intervalu orientace panelů FVE*

Interval orientace stěny [°]	Výsledná orientace panelů [°]
$\langle -7,5; 7,5 \rangle$	0
$\langle 7,5; 22,5 \rangle$	15
$\langle 22,5; 37,5 \rangle$	30
$\langle 37,5; 52,5 \rangle$	45
$\langle 52,5; 67,5 \rangle$	60
$\langle 67,5; 82,5 \rangle$	75
$\langle 82,5; 90 \rangle$	90
$\langle -22,5; -7,5 \rangle$	-15
$\langle -37,5; -22,5 \rangle$	-30
$\langle -52,5; -37,5 \rangle$	-45
$\langle -67,5; -52,5 \rangle$	-60
$\langle -82,5; -67,5 \rangle$	-75
$\langle -90; -82,5 \rangle$	-90

Jelikož pro zvolený interval orientace stěny  $\langle -90^\circ; 90^\circ \rangle$  se optimum sklonu panelů nachází v okolí hodnoty  $35^\circ$ , tak jsem pro model zvolil optimální sklon panelů  $35^\circ$ . V tabulce 4 uvádím hodnoty optimálního sklonu při různých orientacích stěny, na jejichž základě jsem určil konečné optimum. Pro určení optimálního sklonu pro jednotlivé orientace jsem využil programu PVGIS [69], který vypočítá optimální sklon na základě nejvyššího energetického ozáření pro zadanou orientaci.

Tabulka 4 Analýza optimálního sklonu panelů při změně jejich orientace [69]

Orientace stěny [°]	Optimální sklon panelů [°]
-90	34
-80	34
-70	30
-60	30
-50	33
-40	35
-30	38
-20	38
-10	39
0	38
10	38
20	37
30	36
40	35
50	32
60	35
70	34
80	34
90	33

Vypočtené hodnoty délky a azimutu z programu Wolfram Mathematica jsem přenesl do programu Excel, kde jsem následně pokračoval s technickým modelem pro výpočet parametrů FV systému. Finálním výstupem technického modelu byl výpočet vyrobené elektřiny, pro který jsem zvolil následující vzorec:

$$E_{FVPHS} = S \cdot \eta \cdot H \cdot PR \cdot (1 - s) \quad (7)$$

<b>E<sub>FVPHS</sub></b>	Vyrobene elektřina pomocí FVE	[kWh]
<b>S</b>	Plocha FV panelů	[m <sup>2</sup> ]
<b>η</b>	Účinnost solárních panelů	[%]
<b>H</b>	Hodnota ročního ozáření	[kWh·m <sup>-2</sup> ]
<b>PR</b>	Performance Ration; činitel výkonnosti FV systému	[-]
<b>s</b>	Snížení výroby FV systému vlivem zastínění	[%]

Plocha panelů S se vypočítá z délky stěny a rozměrů panelu, účinnost panelů  $\eta$  jsem stanovil z produktového listu vybraného panelu, který je uveden v příloze 1 a 2. Hodnoty ročního ozáření H pro stanovené orientace a sklon panelů jsem vyhledal v nástroji PVGIS [69] pro území České republiky. V rámci parametru Performance Ratio jsou zahrnuty ztráty znečištěním, jednotlivých systémových komponent a použitým zapojením. Pro parametr PR uvádí studie [70] hodnotu 0,7, ale tato hodnota neodpovídá závěrům ze studie [58], kde se uvádí PR pro tyto systémy okolo hodnoty 0,6. Na základě těchto poznatků ze studií jsem použil hodnotu 0,70, protože ve studii [70] se jednalo o stejný princip umístění panelů jako uvažuji ve své práci. Hodnota s reprezentuje snížení výroby elektřiny vlivem zastínění, jak jsem již říkal v podkapitole 5.1, data o zastínění a jejich vlivu na výrobu jednotlivých úseků protihlukových stěn nejsou součástí zmapovaných dat o PHS. Takže pro výpočet potenciálu výroby elektřiny současných PHS jsem zvolil snížení výroby vlivem zastínění 15 % pro všechny stěny. Tento předpoklad trochu zhoršuje celkové výsledky technického modelu.

Do výstupů technického modelu jsem přidal ještě snížení emisí skleníkových plynů CO<sub>2</sub>, protože jak bylo řečeno v kapitole 1, tento faktor může mít vliv na rozhodování o realizaci projektu FVPHS. Snížení emisí skleníkových je definováno Vyhláškou č. 140/2021 Sb. [71], kde je definován emisní faktor elektrické energie hodnotou 0,860 t CO<sub>2</sub> na vyrobenou MWh elektřiny energetickým mixem ČR. Jelikož FVE se řadí mezi bezemisní zdroje elektrické energie, tak při jejich využití k výrobě elektřiny je dosaženo úspory emisí CO<sub>2</sub>. Tento výstup bude důležitý zejména pro městské municipality a plnění jejich klimatických plánů, které jsem diskutoval v podkapitole 1.5.

### **5.3. Technický potenciál PHS**

Po izolování potřebných dat a vytvoření technického modelu jsem pro určení technického potenciálu protihlukových stěn uvažoval 2 typy umístění panelů na stěnu. Jako první jsem vybral typ A z tabulky 2, který se při současné legislativě jeví jako proveditelný. Jako druhý jsem zvolil typ C z tabulky 2, protože v zahraničí se tento způsob využívá, tak jsem se rozhodl jej porovnat s vhodným umístěním na území ČR. Kdyby tento způsob umístění dosahoval lepších výsledků bylo by možné uvažovat o úpravě současné legislativy.

Výsledný potenciál jsem stanovil na základě diskutovaných předpokladů v podkapitole 5.1 a 5.2 a pro dvě varianty umístění panelů. V prvním případě (typ A) se jedná o instalaci jedné řady panelů na vrchol PHS. V druhém případě (typ C) se jedná o instalaci dvou řad panelů rovnoběžně s plochou PHS. Umístění dvou řad panelů nad sebe pro typ C předpokládá výšku stěny alespoň 4 m. Obě varianty jsou počítány pro montáž



panelů na výšku. Současně je technický model nastaven tak, aby vždy docházelo využití celého panelu, resp. instalaci na celé kusy panelů.

*Tabulka 5 Výsledky energetického potenciálu pro PHS na území Prahy*

Výsledky modelu	Typ A – vrchol stěny	Typ C – plocha stěny
Celková délka FVE PHS [m]	114 695	114 695
Počet panelů [ks]	114 011	228 022
Instalovaný výkon [kWp]	51 875	103 750
Vyrobená elektřina [MWh]	37 224	49 999
Celková délka PHS [m]	118 208	118 208
Snížení emisí CO <sub>2</sub> [t]	32 013	42 999

Výsledná vyrobená elektřiny by mohla potenciálně zásobovat 15 až 20 tisíc domácností při úvaze průměrné roční spotřeby domácnosti 2,5 MWh, což není úplně zanedbatelné číslo. Celková roční spotřeba elektřiny hlavního města Prahy je 6 TWh, jak bylo již řečeno v kapitole 1.5. Výsledná vyrobená elektřina prostřednictvím FV systému na PHS představuje necelé 1 % spotřeby elektřiny města, což z širšího hlediska není významná výroba. Stanovené výsledky tedy naznačují, že využití současných PHS k výrobě elektřiny na území HMP nedosahuje významných hodnot v návaznosti na spotřebu města jako celku. Nicméně právě pro městské municipality nemusí být hlavním aspektem instalovaný výkon nebo vyrobená elektřina, ale hodnotnější pro ně může být snížení emisí. Motivační dále může být možnost se prezentovat šetrným postojem města k životnímu prostředí, snižování jeho uhlíkové stopy a zájem o zelenou energetiku. Ve využití PHS spatřuji další pozitivum v tom, že nedojde k dodatečnému zabránění půdy v již dost zastavěném městě. Tento faktor může být také významný pro rozhodování o využití PHS k výrobě elektřiny, neboť dojde k efektivnějšímu využití ploch.

*Tabulka 6 Výsledky energetického potenciálu pro PHS v majetku ŘSD*

Výsledky modelu	Typ A – vrchol stěny	Typ C – plocha stěny
Celková délka FVE PHS [m]	329 234	329 234
Počet panelů [ks]	327 270	654 540
Instalovaný výkon [kWp]	148 908	297 816
Vyrobená elektřina [MWh]	106 811	143 676
Celková délka PHS [m]	335 798	335 798
Snížení emisí CO <sub>2</sub> [t]	91 858	123 562

V tomto případě by výsledná výroba elektřiny mohla potenciálně zásobovat dokonce 40 až 60 tisíc domácností při úvaze průměrné roční spotřeby domácnosti 2,5 MWh. Dle zprávy o provozu elektrizační soustavu [72] vydané energetickým regulačním úřadem činila

spotřeba elektřiny v ČR v roce 2020 71,4 TWh. Výroba z FVPHS, které jsou rozmístěny po celé republice (viz příloha 6), by pokryla pouze necelých 0,2 % celkové spotřeby ČR. Stejně jako v případě městských municipalit s jejich motivací pro plnění městských klimatických plánů může být podobná motivace na využití PHS k výrobě elektřiny pomocí FVE ze strany státu. To může být způsobeno zejména potřebou dostát závazků vůči EU v oblasti energetiky a klimatu.

*Tabulka 7 Celkový potenciál PHS na území ČR ve správě HMP a ŘSD*

Výsledky modelu	Typ A – vrchol stěny	Typ C – plocha stěny
Celková délka FVE PHS [m]	443 929	443 929
Počet panelů [ks]	441 281	882 562
Instalovaný výkon [kWp]	200 783	401 566
Vyrobena elektřina [MWh]	144 035	193 675
Celková délka PHS [m]	453 811	453 811
Snížení emisí CO <sub>2</sub> [t]	122 871	166 561

Výsledná výroba PHS nepředstavuje významnou výrobu v rámci celkové spotřeby elektřiny v ČR. Ovšem dalo by se diskutovat o vhodnosti využití PHS v určitých oblastech, kde je vysoká spotřeba elektřiny a nedostatek volného prostoru. Protože izolovaně v rámci menší oblasti by tato výroba mohla představovat významnější podíl než při porovnání s celkem. Dalším faktem bohužel je, že při použití stejného počtu panelů při pozemní instalaci, optimální sklonu 35° a jižní orientace by tento systém vyrobil přibližně 1,5krát více elektrické energie než systém FVPHS. Z toho důvodu se zatím volí pozemní instalace FVE, protože jsou energeticky výhodnější.

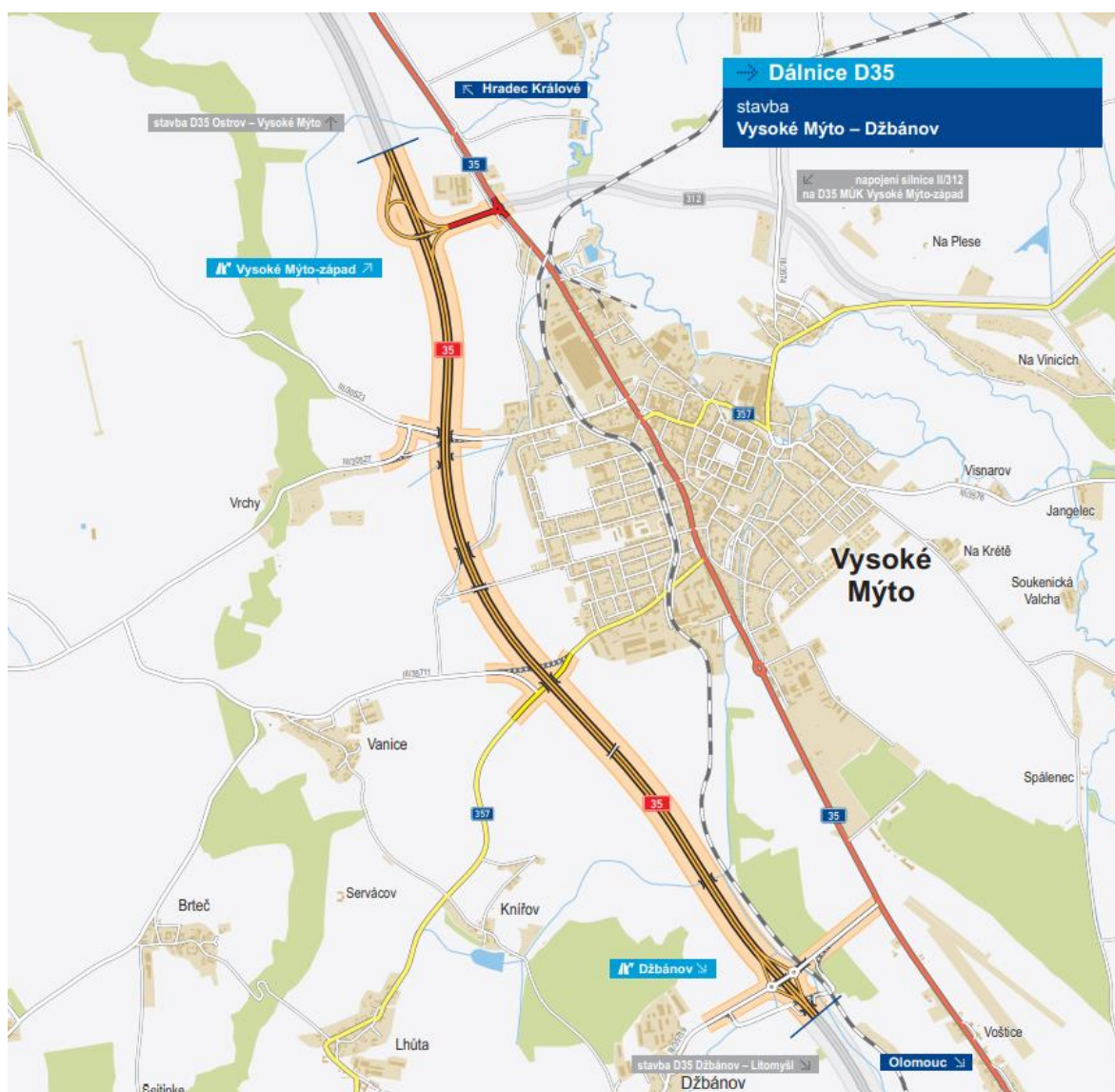
Z výsledků technického modelu vyplývá, že využití 2 řad panelů rovnoběžně se stěnou vyprodukuje více elektřiny, než použití pouze 1 řady panelů při optimálním sklonu na jejím vrcholu. V tabulce 7 jsem shrnul celkový technický potenciál PHS, pokud se zaměříme čistě na instalovaný výkon a vyrobenou elektřinu, tak nedosahují takových hodnot jako jiné plochy. Pokud se vrátím k hodnotám diskutovaným v kapitole 3.3, kde jsem uváděl, že v následujících několika letech se instalace FVE budou pohybovat v řádu jednotek až desítek GW. Vzhledem k těmto poznatkům zjištěný potenciál v řádu stovek MW prostřednictvím PHS představuje takřka bezvýznamnou hodnotu. Z podkapitoly 3.3 vyplývá hodnota instalovaného výkonu přibližně 10 GW, takže zjištěný energetický potenciál protihlukových stěn by představoval navýšení výkonu FV systémů do 5 %. Současně tyto hodnoty jsou řádově stejné s odhadnutým potenciálem v podkapitole 2.3, kde jsem odhadoval energetický potenciál PHS někde v rozmezí 180–400 MWp.

V rámci rozvoje decentrální energetiky se může jednat o vhodný doplněk k velkým elektrárnám, které jsou zpravidla ve větší vzdálenosti od spotřeby. Ovšem základním principem PHS je a vždy bude primárně snížit hluk v obydlených oblastech. Lze předpokládat, že budou postaveny převážně v blízkosti obydlených oblastí. Na závěr bych řekl, že v současnosti je možnost instalace FV systémů na protihlukové stěny pouze kladnou externalitou jejich samotné výstavby. Ke změně může dojít vlivem současné situace v oblasti energií a větším tlakem na odklon od plynu, což bude mít za následek potřebné zvýšení soběstačnosti v oblasti výroby elektřiny. Všechny tyto aspekty mohou mít v budoucnosti vliv na zvýšení počtu instalací FVE na protihlukové stěny.



## 6. Projekt protihlukové stěny

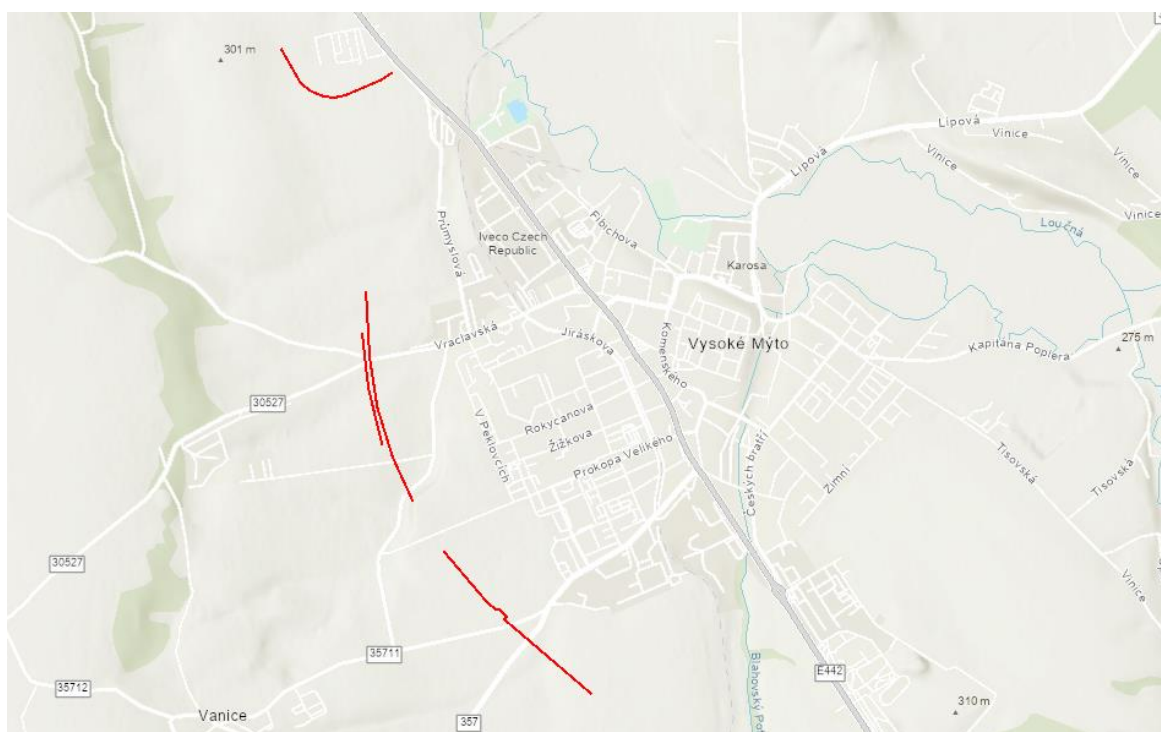
Pro demonstraci projektu protihlukové stěny s instalovanou FVE jsem zvolil úsek Vysoké Mýto – Džbánov dálnice D35. Úsek má být uveden do provozu v roce 2026 a dle geografického umístění se jeví jako vhodný pro demonstraci projektu FVPHS. Plánovaná délka tohoto úseku je téměř 6 km a hlavním úkolem je ulevit obyvatelům měst a obcí ležících na současné silnici I/35. To je případ i blízkého města Vysokého Mýta, kterému by měla výstavba tohoto úseku významně ulevit od nadměrného provozu. Současně se jedná o plánovanou výstavbu, která má začít v roce 2023, takže by bylo ještě možné začlenit instalace FVE na protihlukové stěny do stavebních prací. Na obrázku 22 je vyobrazen zmiňovaný plánovaný úsek D35. Celou plánovanou D35 je vyobrazena v příloze 9.[73]



Obrázek 22 Plánovaný úsek Vysoké Mýto-Džbánov dálnice D35 [74]

## 6.1. Technický model projektu

Zmiňovaný úsek byl zanesen v GIS, takže jsem na data aplikoval technický model dle podkapitoly 5.2. Použitím rovnic ( 4 ) a ( 6 ) jsem stanovil délku a orientaci jednotlivých úseků stěny, které jsem následovně importoval do programu Excel. V Excelu jsem stanovil instalovaný výkon a pomocí rovnice ( 7 ) vyrobenou elektřinu. Výsledkem technického modelu byla stanovena celková délka protihlukových stěn v úseku na 3 316 metrů. Na základě toho jsem určil technický potenciál pro první způsob umístění panelů na tuto stěnu na 1,48 MWp s potenciální výrobou elektřiny 1 174 MWh. Pro druhý způsob umístění činil potenciální instalovaný výkon 2,95 MWp a potenciální výroba 1 329 MWh. Plánované PHS v tomto úseku dálnice D35 jsem vykreslil pomocí nástroje GIS v obrázku 24, takže z obrázku lze vyvodit, že se jedná o 4 protihlukové stěny.



Obrázek 23 Vykreslení GIS dat PHS v úseku D35 (vytvořeno autorem z dat ŘSD)

Bohužel stejně jako v případě předchozích dat PHS, zde také nejsou zaznamenány údaje o zastínění. Takže ve stanoveném úseku jsem uvažoval 15% snížení výroby elektřiny vlivem zastínění stejně jako v technickém modelu v podkapitole 5.2. Ostatní technické předpoklady jsou shodné s technickým modelem pro výpočet potenciálu PHS z podkapitoly 5.3. Výsledky technického modelu jsem uvedl v tabulce 8 opět pro dvě zmiňované varianty umístění panelů, aby bylo možné později kvantifikovat jejich odlišné ekonomické dopady.

Tabulka 8 Výsledky technického modelu FVE na celé PHS v úseku D35

Technické výsledky projektu	Umístění na vrchol PHS	Umístění na plochu PHS
Celková délka FVE PHS [m]	3 263	3 263
Počet panelů [ks]	3 244	6 488
Instalovaný výkon [kWp]	1 476	2 952
Vyrobená elektřina [MWh]	1 004	1 329
Celková délka PHS [m]	3 316	3 316
Snížení emisí CO <sub>2</sub> [t]	863	1 143

Výsledná výroba elektřiny pomocí FVPHS v tomto úseku by mohla potenciálně zásobovat 400 až 600 domácností při úvaze průměrné roční spotřeby domácnosti 2,5 MWh. Na území přilehlého města se nachází průmyslové podniky, které by mohly mít zájem využít elektřinu vyrobenou z OZE, proto by mohlo dojít ke sjednání smlouvy o výkupu elektřiny. Z výsledků tedy vyplývá, že z technického hlediska je výhodnější využití umístění na plochu stěny (typ C). Při tomto způsobu sice dojde ke snížení hodnoty ozáření, ale zároveň ke zvětšení plochy FV pole a výsledné zvýšené výroby elektřiny. Při realizaci projektu se stejným počtem panelů při optimálním sklonu 35° a orientací na jih by bylo možné vyrobit 1,5krát více elektrické energie, což představuje výrobu přibližně 1 500 MWh pro typ A a přibližně 2 000 MWh pro typ C. Energeticky výhodnější je využít efektivnější pozemní instalaci než plochu plánovaných PHS. Vhodným protiargumentem může být, že při takové instalaci dochází k dodatečnému zabránění půdy, která může být využita pro jiné účely.

## 6.2. Ekonomický model projektu

Výsledky technického modelu mají ekonomické dopady, které je nutné zanalyzovat. Analýza může prokázat, zda je realizace takového projektu za současných podmínek rentabilní, popřípadě může definovat podmínky, za jakých by se stala rentabilní. Proto jsem vytvořil ekonomický model, který na základě výsledků technického modelu stanoví ekonomické důsledky projektu FVPHS. Výsledkem ekonomického modelu by tedy měla být NPV projektu FVPHS dle technického modelu při současných ekonomických podmínkách.

Na začátku tvorby ekonomického modelu jsem určil celkové investiční náklady při realizaci FV systému z technického modelu. Jednotlivé složky investičních nákladů jsou uvedeny v tabulce 9. V rámci FV systému se zejména jedná o fotovoltaické panely a nosnou konstrukci, dále jsou uvedeny náklady na montážní a elektroinstalační práce a střídače. Ty jsou počítány v rámci technického modelu dle instalovaného výkonu FV systému jednotlivých úseků protihlukové stěny. Investiční náklady jsou uvedeny bez DPH a aktuální k začátku roku 2022.

Tabulka 9 Složky investičních nákladů pro FV systém

Komponenty FV systému	Náklady
Fotovoltaické panely [Kč/ks]	4 500
Nosná konstrukce [Kč/ks]	1 750
Montážní práce [Kč/ks]	600
Elektroinstalační práce [Kč/kWp]	1 500
Náklady na připojení [Kč/MWp]	320 000
Kabeláž [Kč/m]	60
Střídač o výkonu 10 kW [Kč/ks]	28 000
Střídač o výkonu 20 kW [Kč/ks]	37 000
Střídač o výkonu 35 kW [Kč/ks]	45 000
Střídač o výkonu 50 kW [Kč/ks]	55 000

Investiční náklady uvedené v tabulce 10 jsou vypočteny pro výsledky technického modelu z tabulky 8 a jednotlivých složek nákladů definovaných v tabulce 9.

Tabulka 10 Investiční náklady dle technického modelu

Komponenty FV systému	Umístění na vrchol PHS	Umístění na plochu PHS
Fotovoltaické panely [Kč/ks]	14 598 00	29 196 000
Nosná konstrukce [Kč/ks]	5 677 000	11 354 000
Montážní práce [Kč/ks]	1 946 400	3 892 800
Střídače [Kč/ks]	6 212 000	6 963 000
Elektroinstalační práce [Kč/kWp]	2 214 030	4 428 060
Náklady na připojení [Kč/MWp]	472 326	944 653
Kabeláž [Kč/m]	195 808	391 616

Po stanovení investiční nákladů jsem pro srovnání uvedl investiční náročnost FVPHS vůči výstavbě pouze PHS, stanovil jsem tedy procentuální navýšení investičních nákladů při výstavbě FVPHS. Investiční náklady na výstavbu PHS jsem na základě konzultací s ŘSD a OTSKP dostupných na [75] stanovil na hodnotu 48 500 Kč na výstavbu 1 metru délky stěny o výšce 4 metry. Na základě vypočítané celkové délky PHS uvedené v tabulce 8 jsem spočítal investiční náklady na výstavbu samotné PHS. Po určení investičních nákladů, které jsou uvedeny v tabulce 10 pro jednotlivé varianty umístění FV panelů, dodatečného FV systému bylo možné určit procentuální navýšení celkových nákladů. Po konzultacích se zástupci ŘSD by se toto navýšení mělo pohybovat do 20 %, protože stavba samotné PHS je již přidružená investice při stavbě silniční infrastruktury.

Výslednou investici do FV systému instalovaného na protihlukovou stěnu v úseku D35 jsem stanovil součtem jednotlivých nákladů uvedených v tabulce 10. Celkovou investici



do PHS jsem stanovil na základě vypočtené délky stěny a jednotkových nákladů na metr délky. Porovnání jednotlivých investic jsem provedl v tabulce 11, kde je uvedeno také procentuální navýšení.

*Tabulka 11 Porovnání investic do protihlukové stěny a FVPHS*

Porovnání investic	Umístění na vrchol PHS	Umístění na plochu PHS
Celková investice PHS [Kč]	160 804 000	160 804 000
Celková investice FV systému [Kč]	31 316 000	57 200 000
Podíl investice FVPHS/PHS [%]	19,47	35,57

Výsledky porovnání investice do projektu protihlukové stěny a do projektu FVPHS vyplývá, že při využití celé stěny a způsobu umístění typu C (2 řad panelů přímo na plochu stěny) je investiční náročnost nepřijatelná. Tento faktor nemusí být významný pro rozhodování o realizaci projektu, ale je vhodné ho znát pro představu dodatečné investiční náročnosti. Pro investora mohou být uspokojující výsledky technického modelu v souvislosti s úsporou emisí skleníkových plynů CO<sub>2</sub>, takže není nutná ekonomická návratnost, což jsem popisoval již v podkapitole 1.5

### **6.2.1. Přijaté předpoklady**

Jedním z významných faktorů, který vstupuje do ekonomického modelu, je inflace. V době psaní této práce inflace dosahovala rekordních hodnot v porovnání s minulými lety, což bylo zejména způsobeno válkou na Ukrajině a energetickou krizí. Takže problematika stanovení prognózy inflace na projekt v časovém horizontu 25 let je velmi obtížnou disciplínou. V mé práci jsem se rozhodl pro dva způsoby začlenění inflace do ekonomického modelu. První způsob je stanovení konstantní inflace po celou předpokládanou životnost projektu, jejíž hodnotu jsem stanovil na hodnotu 2 %. Tuto hodnotu jsem stanovil na základě prognózy ČNB [76], dle které je hranice 2 % dosaženo již v průběhu roku 2023. Druhou možností zahrnutou v modelu jsem zvolil definování inflace v každém roce projektu zvlášť, takže je možné pro jednotlivé roky projektu stanovit specifickou inflace. Hodnoty této proměnné inflace jsem určil na základě současných hodnoty inflace a prognózy jejího vývoje zpracovanou ČNB. Dle poslední prognózy [76] by v 2. čtvrtletí roku 2023 měla inflace činit 3,8 % a ve 3. čtvrtletí 2023 již 2,7 %. V případě proměnné inflace v letech jsem zvolil trochu pesimističtější vývoj inflace. V rámci prognózy ČNB se předpokládá konvergence k hranici 2 %, proto v případě proměnné inflace počítám s dosažením této hranice v 6. roce projektu. Jednotlivé varianty je možné zvolit ve vytvořeném modelu v programu Excel pomocí rozbalovacího seznamu v tabulce „Parametry ekonomického modelu“ v sekci „Volba inflace“.

Dalším předpokladem ekonomického modelu je diskontní sazba, která zde představuje cenu vlastního kapitálu investora. Pro stanovení diskontu jsem zvolil model CAPM, který na základě výnosu trhu „*Green energy and Renewable source*“, bezrizikového výnosu a beta koeficientu daného sektoru vyčíslí diskont projektu FVPHS. Jako bezrizikový výnos jsem uvažoval státní dluhopisy, které je možné zakoupit na různé období při různém úroku. Pro státní reinvestiční dluhopis na 20 let (období 2022–2042) činil výnos 3,80 %, proto jsem tento úrok zvolil jako bezrizikový pro model CAPM. Určující sektor jsem vybral „*Green energy and Renewable source*“, jehož beta činila 0,9 dle hodnot profesora Damodarana [77] pro evropský trh. Současně obvyklý tržní výnos zvoleného sektoru činí 5,93 %, takže výsledný diskont jsem dle CAPM modelu stanovil na 5,72 %. Nepočítám se zadlužením firmy, protože jsem model připravoval z pohledu ŘSD. To je státní příspěvkovou organizací, proto prostředky potřebné na výstavbu infrastruktury financují z vlastních (státních) zdrojů, a hl. m. Prahy, která investice financuje také ze svých zdrojů.

V projektech výroby elektřiny je hlavním parametrem cena elektřiny, která přímo a významně ovlivňuje výnosy projektu. Cenu elektřiny v současné době určuje trh prostřednictvím sesouhlasení nabídkové a poptávkové křivky, takže aktuální cena lze stanovit z trhu. Vývoj ceny elektřiny po celou dobu životnosti projektu (25 let) je závislý na několika faktorech, jako je aktuální spotřeba elektřiny, výroba elektřiny pomocí OZE, které snižují výslednou cenu elektřiny, a dalších faktorech. Výkupní cenu elektřiny jsem stanovil na základě vývoje ceny silové elektřiny na burze. Současný stav na burze s elektřinou je z mnoha důvodů nepředvídatelný, což se také promítlo do současných cen elektřiny. Nicméně dle [78] a [79] se futures kontrakty elektřiny pro rok 2024 na burze obchodují za 195 EUR za 1 MWh a pro rok 2025 za 176 EUR za 1 MWh. Při ceně elektřiny na burze 50 EUR se výkupní ceny elektřiny FVE pohybovaly okolo 48 % ceny silové elektřiny. Při zachování poměru ceny silové elektřiny a výkupní ceny jsem dosáhl hodnoty současné výkupní ceny elektřiny přibližně 93 EUR za 1 MWh. Při současném kurzu koruny 24,77 Kč/EUR jsem výkupní cenu elektřiny v roce 2024 stanovil na hodnotu přibližně 2 300 Kč za 1 MWh. V modelu předpokládám uvedení FVE do provozu v roce 2024.

Blízce spjatý faktor s cenou elektřiny je její eskalace, která se může v průběhu let významně měnit. V současné době ceny elektřiny eskalovaly do extrémních hodnot, takže v následujících letech nepředpokládám výrazné zvyšování ceny elektřiny. Dle hodnot futures kontraktů na burze pro roky 2023 a 2024 se očekává dokonce snížení ceny elektřiny proti aktuálním vysokým hodnotám. Projekt FVPHS na úseku D35 je plánována výstavba na rok 2023, takže v tomto roce plánuji investici do FV systému, jehož provoz bude zahájen v roce 2024. V reakci na předpokládaný vývoj na burze nepředpokládám růst ceny elektřiny

v následujících 3 letech. V průběhu projektu předpokládám vyrovnání eskalace s inflací v průběhu 8. roku projektu. Od 11. roku projektu předpokládám eskalaci ceny elektřiny 2,5 %.

Dalším vstupem do ekonomického modelu je údržba FV systému, pro kterou jsem přijal předpoklad, že náklady na údržbu panelů jsou ve výši 45 Kč za jeden kus FV panelu. Cenu jsem stanovil na základě ceníku [80] a poptání nabídek společností nabízející tyto služby. Ve vytvořeném modelu jsem údržbu plánoval dvakrát v každém roce projektu, ale model je možné upravovat pro různé kombinace údržby.

V rámci modelu ještě počítám s výměnou střídačů v 15. roce projektu. Pro dodržení legislativy o revizi, kterou jsem zmínil v podkapitole 4.2, jejíž cenu jsem vyčíslil na 450 Kč za kWp instalovaných FV panelů. Cena revize je závislá nejen na výkonu elektráren a při vyšších výkonech FVE se určuje individuálně, takže se jedná o možnou cenu revize.

*Tabulka 12 Přijaté předpoklady pro ekonomické hodnocení projektu*

Přijaté předpoklady	Umístění na vrchol PHS	Umístění na plochu PHS
Diskont [%]	5,72	5,72
Degradace výkonu panelů [%]	0,8	0,8
Inflace [%]	2,0	2,0
Cena elektřiny [Kč/MWh]	2 300	2 300
Daň [%]	19	19
Revize dle zákona [Kč/kWp]	450	450
Cena údržby [Kč/panel]	45	45
Frekvence údržby	1	1
Počet mytí za jedno období	2	2
Počet řad FV panelů	1	2

V rámci této diplomové práce jsem se rozhodl posuzovat investice dle výsledků NPV. Na základě výsledků technického modelu jsem dopočítal ekonomické dopady realizace projektu FVPHS na úseku dálnice D35 pomocí vytvořeného ekonomického modelu. Tento model jsem založil na několika předpokladech, které jsou vstupními parametry, v rámci vytvořeného modelu lze jednotlivé parametry měnit. Jelikož lze ekonomický model vytvořit několika možnými způsoby s různými ekonomickými dopady, vytvořil jsem v programu Excel několik možných scénářů. Jednotlivé scénáře jsem definoval následujícím způsobem:

- 1) Scénář 1: Využití celé délky stěny k instalaci FVE, umístění panelů na výšku, 1 řada na vrchol stěny typ A a konstantní inflace 2 %
- 2) Scénář 2: Využití celé délky stěny k instalaci FVE, umístění panelů na výšku, 2 řada rovnoběžně se stěnou typ C a konstantní inflace 2 %
- 3) Scénář 3: Způsob umístění typ A, 1 řada panelů na výšku, konstantní inflace 2 % a minimální výkon 10 kWp
- 4) Scénář 4: Způsob umístění typ C, 2 řady panelů na výšku, konstantní inflace 2 % a minimální výkon 10 kWp
- 5) Scénář 5: Využití celé délky stěny k instalaci FVE, umístění panelů na výšku, 1 řada na vrchol stěny typ A, konstantní inflace 2 %, minimální výkon 10 kWp a dotace ve výši 50 % investičních nákladů
- 6) Scénář 6: Využití celé délky stěny k instalaci FVE, umístění panelů na výšku, 2 řada rovnoběžně se stěnou typ C, konstantní inflace 2 %, minimální výkon 10 kWp a dotace ve výši 50 % investičních nákladů
- 7) Scénář 7: Způsob umístění typ A, 1 řada panelů na výšku, proměnná inflace a minimální výkon 10 kWp
- 8) Scénář 8: Způsob umístění typ C, 2 řady panelů na výšku, proměnná inflace a minimální výkon 10 kWp

Minimální výkon 10 kWp jsem zvolil na základě ekonomické efektivity jednotlivých úseků a s ohledem na využití střídačů. Pro jednotlivé scénáře, které jsem vytvořil pomocí programu Excel, jsem dopočítal NPV. Ve scénáři 5 a 6 jsem zvolil dotaci ve výši 50 % investičních nákladů, protože tuto hodnotu nabízí většina v současnosti dostupných dotačních titulů.

Žádat o dotaci na FV systémy je v současnosti možné v programech MPO, OPŽP nebo Modernizačního fondu. Jednotlivé tituly nabízí různé podmínky a výše dotace, která se většinou pohybuje v rozmezí 35–100 % investičních nákladů. Dotace ve výši 100 % se týká programu OPŽP a je určena pro státní příspěvkové organizace. Do roku 2030 jsou plánovány různé výzvy v rámci několika dotačních titulů, takže bude vhodné investici do FVPHS naplánovat v souvislosti aktuálně vypsáných výzev dotačních titulů.

## 6.2.2. Výsledky ekonomického modelu

V rámci ekonomického modelu jsem zkoumal 8 definovaných scénářů, které představují různé varianty vývoje projektu. Na základě přijatých předpokladů jsem vypočítal výslednou čistou současnou hodnotu projektu, její výsledky jsem uvedl v tabulce 13. Výsledky technického modelu klasifikovaly jako energeticky výhodnější instalaci rovnoběžně s plochou stěny, což odpovídá scénářům 2, 4, 6 a 8. Jedním cílem ekonomického modelu by mělo být potvrzení nebo vyvrácení závěrů technického modelu při výběru vhodnější instalace FV systému.

Tabulka 13 Výsledky ekonomického modelu FVPHS v úseku D35

Zvolený scénář	NPV projektu [Kč]
Scénář 1	-11 910 000
Scénář 2	-33 438 000
Scénář 3	-3 917 000
Scénář 4	-22 624 000
Scénář 5	3 434 000
Scénář 6	-2 416 000
Scénář 7	-5 937 000
Scénář 8	-25 960 000

Z výsledků uvedených v tabulce 13 je patrné, že scénáře 2, 4 a 8 jsou jednoznačně ekonomicky nevýhodné, protože hodnota jejich NPV je ve významně záporných hodnotách. Všechny tyto scénáře využívají způsob umístění rovnoběžně na PHS, proto lze říct, že způsob umístění panelů na vrchol stěny je ekonomicky efektivnější. Nejlepších hodnot NPV dosahuje projekt FVPHS při scénáři 5 a 6. Tyto scénáře se pouze liší v použitém způsobu umístění panelů na stěnu, takže se jedná o nejlepší scénář daného způsobu instalace. Scénář 5 využívá umístění na vrchol stěny s konstantní inflací, minimálním výkonem 10 kWp a dotace ve výši 50 %. Scénář 6 využívá umístění rovnoběžně na plochu stěny s konstantní inflací, minimálním výkonem 10 kWp a dotace ve výši 50 %. Ze všech zkoumaných scénářů pouze pátý scénář disponuje kladnou NPV, takže v této souvislosti bych tento scénář doporučil jako nejvhodnější. Scénáře 5 a 6 počítají s dotací, které nemusí být vždy dosaženo, takže bez dotace vychází nejlépe scénář 3. Výsledky ekonomického modelu naznačují, že bez finanční podpory v podobě dotace nebudou investice do fotovoltaických protihlukových stěn rentabilní. Proto bych v rámci úvah o realizaci projektů FVPHS doporučil zajistit možnost čerpání dotace pomocí vhodného dotačního titulu. Současně bych doporučil při plánování výstavby FVPHS na základě podmínek dotačních programů souběžnou přípravu dokumentace v rozsahu nutném pro podání přihlášek o dotaci.

Na závěr ekonomického hodnocení projektu FVPHS v úseku D35 bych dodal, že za definovaných předpokladů projekt není ekonomicky rentabilní bez dotace ve výši 50 % a pouze při umístění panelů na vrchol stěny. Pro realizaci investice bych doporučil zvolit scénář 5, tedy instalaci jedné řady panelů na vrchol stěny a minimálním výkonem 10 kWp. Pokud by nebylo možné žádat o dotaci, tak bych volil scénář 3, ve kterém je stejný způsob instalace jako ve scénáři 5. To znamená, že nezávisle na dostupnosti dotace je výhodnější zvolit instalaci jedné řady panelů na vrchol stěny. V ekonomickém modelu nepočítám se samo spotřebou, protože spotřeba elektřiny v signalizačních zařízeních v okolí komunikací je zanedbatelná. Při využití vyrobené elektřiny pro samo spotřebu může dojít ke zlepšení ekonomických výsledků. Takže energeticky výhodnější varianta dle technického modelu není dle výsledků ekonomického modelu opravdu výhodnější. Na základě volatilitních vstupů ekonomického modelu jsem zpracoval citlivostní analýzy, které mohou odhalit významné vstupní parametry.

### **6.3. Citlivostní analýzy**

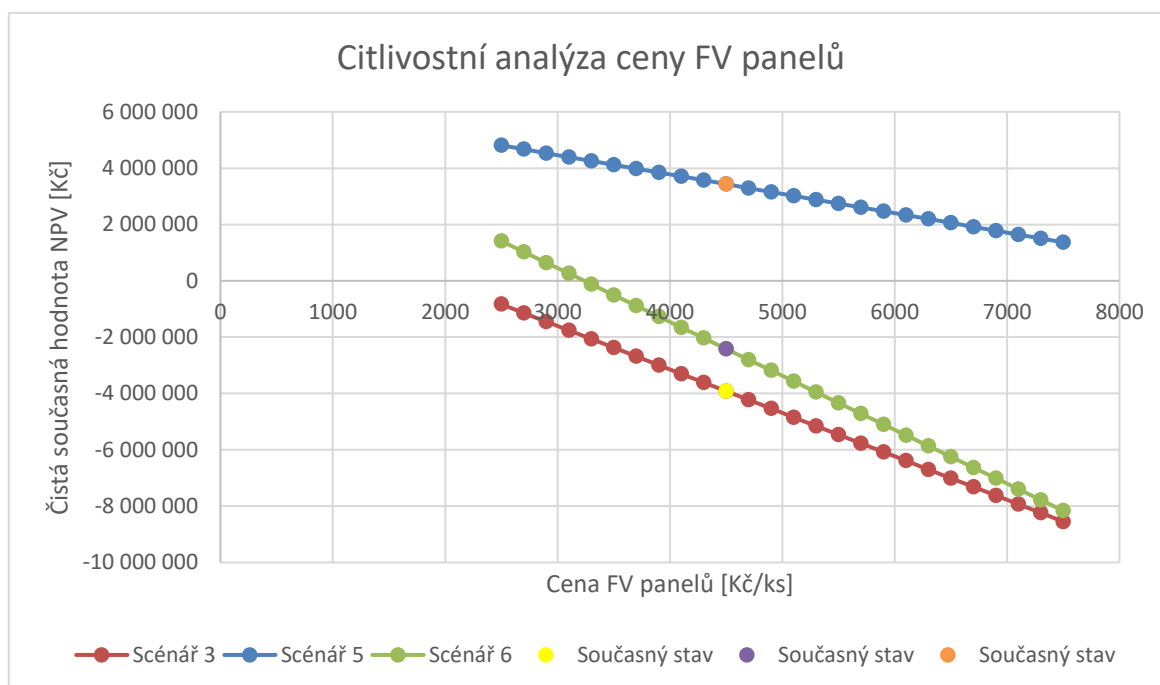
Citlivostní analýzy zkoumají vliv změn vstupních proměnných modelu na jeho výsledky. V rámci této diplomové práce jsem pomocí analýz určil parametry, které mají významný vliv na výslednou čistou současnou hodnotu projektu FVPHS. Do diplomové práce jsem zvolil výběr těch nejvýznamnějších parametrů s největším vlivem na NPV. Pro projekt FVPHS jsem vybral citlivostní analýzy ceny FV panelů, ceny údržby FV panelů, výkupní ceny elektřiny, eskalace ceny elektřiny a diskontní sazby. Všechny tyto předpoklady jsou v současné době vysoce volatilitní, takže pro rozhodování o realizaci projektu bude vhodné znát vliv jejich změny na výsledky projektu.

Z vybraných parametrů pro citlivostní analýzy představují největší nejistotu cena FV panelů, která v souvislosti s aktuální poptávkou pravděpodobně poroste. Současně velkou nejistotu představuje cena elektřiny a její eskalace, u kterých nelze jednoznačně stanovit směr vývoje v souvislosti s aktuální situací na trhu s energiemi. Po demonstraci vlivu vybraných vstupních předpokladů jsem zvolil grafické zobrazení scénáře 3, 5 a 6. Scénáře 5 a 6 oba počítají se získáním dotace 50 %, proto jsem zvolil ještě scénář 3, který bude reprezentovat projekty bez dotace. Ten nepočítá s dotací a výsledky jeho čisté současné hodnoty byly nejlepší ze zbylých scénářů. Pro jednotlivé citlivostní analýzy jsem zpracoval grafy, které zobrazují závislost čisté současné hodnoty na jednotlivých předpokladů.

### 6.3.1. Citlivostní analýza ceny FV panelů

Pro první citlivostní analýzu jsem zvolil cenu FV panelů, protože se jedná o největší investiční položku projektu. V případě scénáře 5 při změně ceny panelů o 10 % dochází ke změně NPV ve stejné výši, ale pro scénář 6 dochází ke změně NPV přibližně o 20 %. Lze říct, že scénář 6 je na změnu parametry ceny FV panelů citlivější než scénář 5. Současně při neměnných ostatních podmínkách a zvýšení ceny panelů na 7 500 Kč za kus, což představuje zvýšení o 67 %, tak NPV zůstává ve scénáři 5 stále kladná. Při stejné změně ve scénáři 6 dojde k významnému poklesu NPV do záporných hodnot. To je způsobeno větším počtem panelů, resp. významnější investicí do panelů a současně většího vlivu údržby panelů.

Bohužel v následujících letech může dojít k navýšení ceny komponent FV systémů, zejména v reakci na zvýšenou poptávku po FV systémech a nedostatku materiálu pro jejich výrobu. Vysoká poptávka v této době je zapříčiněna hlavně energetickou krizí a snahou lidí se zajistit proti nejistotě trhu s elektřinou a zajistit si alespoň částečnou soběstačnost v oblasti energií. Současné ceny panelů ještě neúplně reflektují aktuální změny na významné zvýšení poptávky, takže lze v blízkých letech očekávat zvýšení cen FV panelů. Pro scénář 6 to znamená, že při významnějším navýšení ceny FV panelů, dochází k velkému propadu NPV. Na základě toho je v současnosti z pohledu nejistoty budoucí ceny panelů výhodnější zvolit scénář 5, který je méně citlivý na tuto možnou změnu.



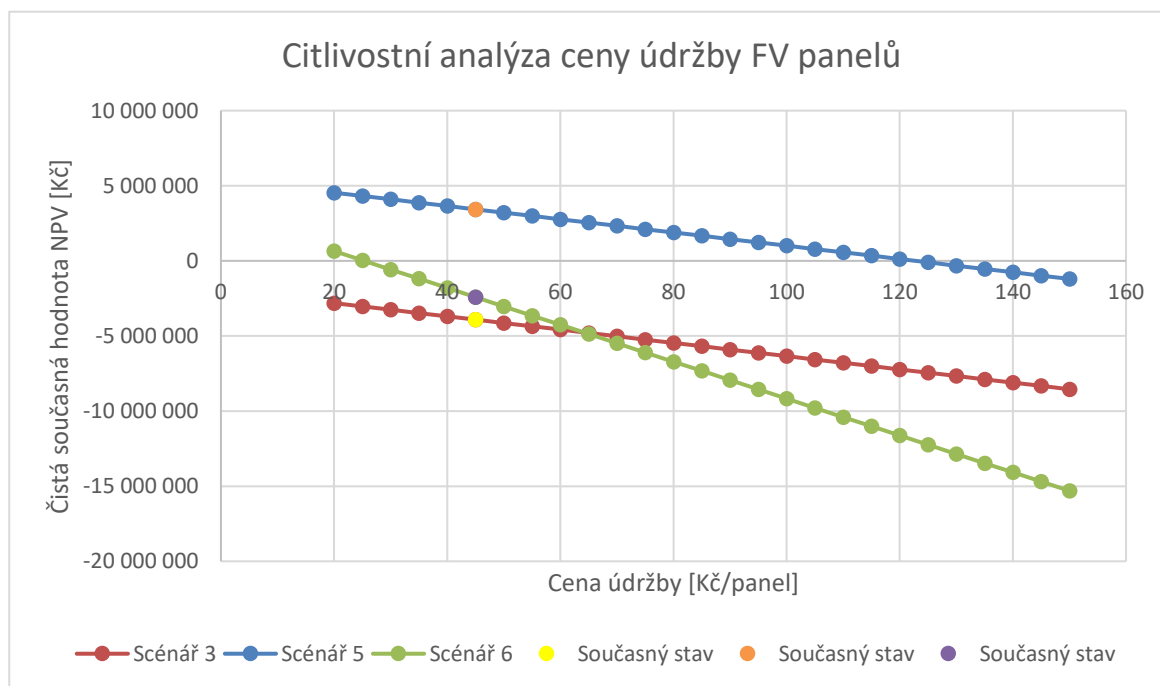
Graf 3 Citlivostní analýza ceny FV panelů

### 6.3.2. Citlivostní analýza ceny údržby FV panelů

V modelu plánují údržbu solárních panelů dvakrát ročně v každém roce projektu, takže vliv ceny údržby může mít významný vliv na výslednou NPV. Proto jsem zpracoval citlivostní analýzu tohoto parametru, která tento předpoklad potvrdila. Analýzy scénářů 3, 5 a 6 jsem graficky znázornil v grafu 4.

Cena údržby FV panelů může být také silně ovlivněna současnou situací na trhu se službami souvisejícími s FV systémy. Zde není podstatný vliv zvýšení poptávka po těchto systémech, ale spíše nedostatkem pracovníků v tomto sektoru. Může se tedy stát, že dojde k realizaci projektu, ale nebude možné zajistit plánovanou údržbu kvalifikovanými pracovníky. Z grafu 4 vyplývá, že scénář 6 je citlivější na cenu údržby než scénář 5. Stejně jako v případě ceny FV panelů je to způsobeno vyšším počtem panelů, které se musí udržovat.

Pokud bych uvažoval extrémní případ, kdy by byla údržba FV panelů navýšena na 135 Kč za jeden panel. To by znamenalo zvýšení ceny o 200 % proti současnému stavu, tak se NPV scénáře 5 dostane také do záporných hodnot. Vlivem většího počtu panelů ve scénáři 6 by tato změna znamenala hluboký propad NPV téměř o 10 milionů korun. Na základě současného vývoje cen nelze tuto situaci vyloučit.



Graf 4 Citlivostní analýza ceny údržby FV panelů



S vlivem údržby na NPV úzce souvisí její frekvence v rámci životnosti projektu. Jelikož se jedná o analýzu dvou proměnných uvedl jsem její výsledky pomocí tabulky 14 a pouze pro scénář 5. Řádky v tabulce definují údržbu v letech projektu a sloupce tabulky definují frekvenci údržby v jednom roce. Z tabulky vyplývá, že snížení frekvence údržby dochází ke znatelné změně NPV. Lepší hodnoty NPV je dosaženo při nižší frekvenci údržby. Přeškrtnuté hodnoty naznačují situace, které v praxi nepředpokládám. Pokud se investor rozhodne provádět údržbu, bude ji provádět pravidelně již od začátku projektu, což naznačují první 2 řádky tabulky 14. Pokud se rozhodne neprovádět pravidelnou a častější údržbu, je malá pravděpodobnost, že by se najednou rozhodl v 10. roce provést údržbu čtyřikrát během roku.

*Tabulka 14 Citlivostní analýza frekvence údržby scénáře 5*

Frekvence údržby	1krát ročně	2krát ročně	3krát ročně	4krát ročně
Každý 1 rok	4 426 000 Kč	3 434 000 Kč	2 441 000 Kč	1 448 000 Kč
Každé 2 roky	4 944 000 Kč	4 469 000 Kč	3 994 000 Kč	3 518 000 Kč
Každé 3 roky	5 108 000 Kč	4 797 000 Kč	4 486 000 Kč	4 175 000 Kč
Každé 4 roky	5 190 000 Kč	4 961 000 Kč	4 732 000 Kč	4 503 000 Kč
Každých 5 let	5 235 000 Kč	5 050 000 Kč	4 865 000 Kč	4 681 000 Kč
Každých 6 let	5 272 000 Kč	5 125 000 Kč	4 978 000 Kč	4 830 000 Kč
Každých 7 let	5 306 000 Kč	5 192 000 Kč	5 079 000 Kč	4 965 000 Kč
Každých 8 let	5 313 000 Kč	5 206 000 Kč	5 100 000 Kč	4 994 000 Kč
Každých 9 let	5 343 000 Kč	5 266 000 Kč	5 190 000 Kč	5 113 000 Kč
Každých 10 let	5 346 000 Kč	5 274 000 Kč	5 201 000 Kč	5 128 000 Kč

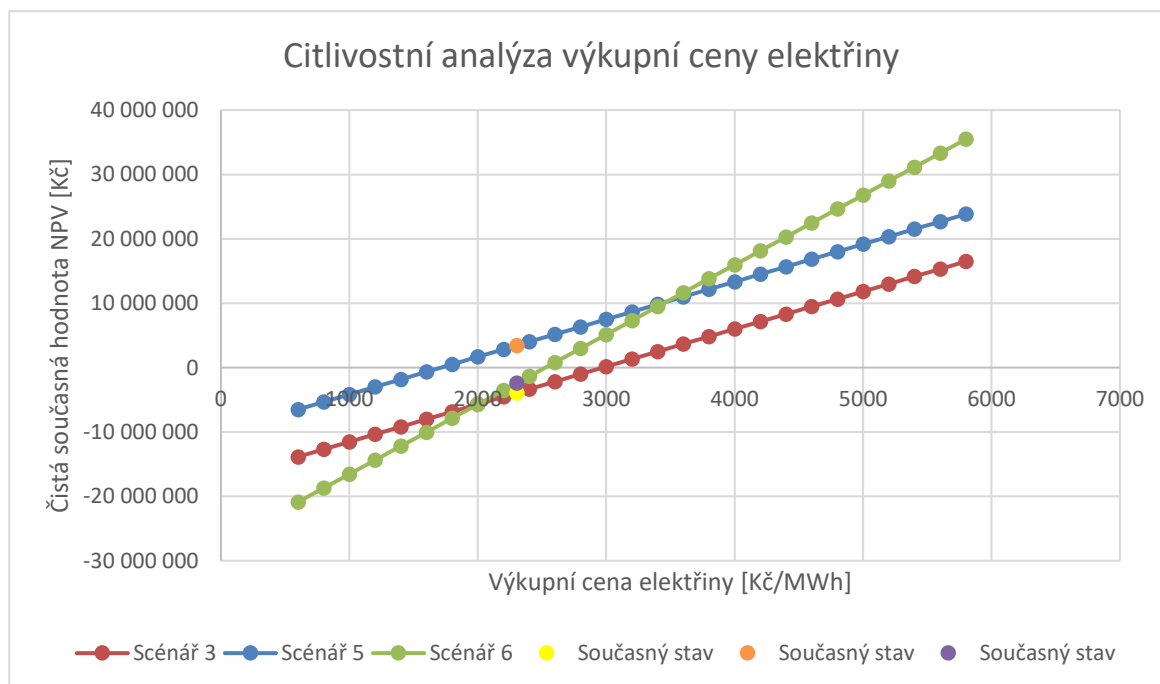
### 6.3.3. Citlivostní analýza výkupní ceny elektřiny

Cena výkupní elektřiny je významným vstupem při realizaci projektu FVPHS, proto jsem zvolil široké pásmo hodnot pro vyhodnocení vlivu tohoto parametru na NPV. Zde má větší počet panelů jiný vliv než v předchozích případech citlivostních analýz. Vlivem většího počtu panelů dochází ke zvýšení výroby elektřiny systému, takže scénář 6 je významně citlivější na změnu výkupní ceny elektřiny. Při změně ceny elektřiny dosahuje křivka scénáře 6 strmějšího stoupaní než křivka scénáře 5. Dle průběhu křivky scénáře 3 by se projekt FVPHS stal rentabilní při výkupní ceně elektřiny 3 000 Kč za MWh.

Při změně výkupní ceny o 10 % z aktuálního stavu dojde ke změně NPV přibližně o 30 % pro scénář 5 a o téměř 40 % pro scénář 6. Dokonce při zvýšení ceny elektřiny na hodnotu 3 400 Kč za MWh dochází k tomu, že scénář 6 se stane ekonomicky výhodnějším než scénář 5. Závěr této citlivostní analýzy je, že scénář 5 je stabilnější při změně parametru

výkupní ceny elektřiny. Ale při výkupní ceně elektřiny 3 400 Kč za MWh a vyšší je vždy výhodnější scénář 6.

Vlivem zvýšeného počtu FVE v elektrizační soustavě může dokonce dojít k poklesu výkupní ceny elektřiny. To by mělo za následek, že by výhodnější byla volba způsobu umístění na vrchol stěny bez ohledu na dotaci. Při využití samo spotřeby elektřiny například v rámci signalizačních zařízení by bylo možné dosáhnout ekonomicky lepších výsledků. To je způsobeno tím, že cena uspořené elektřiny je významně vyšší než cena výkupní cena elektřiny.



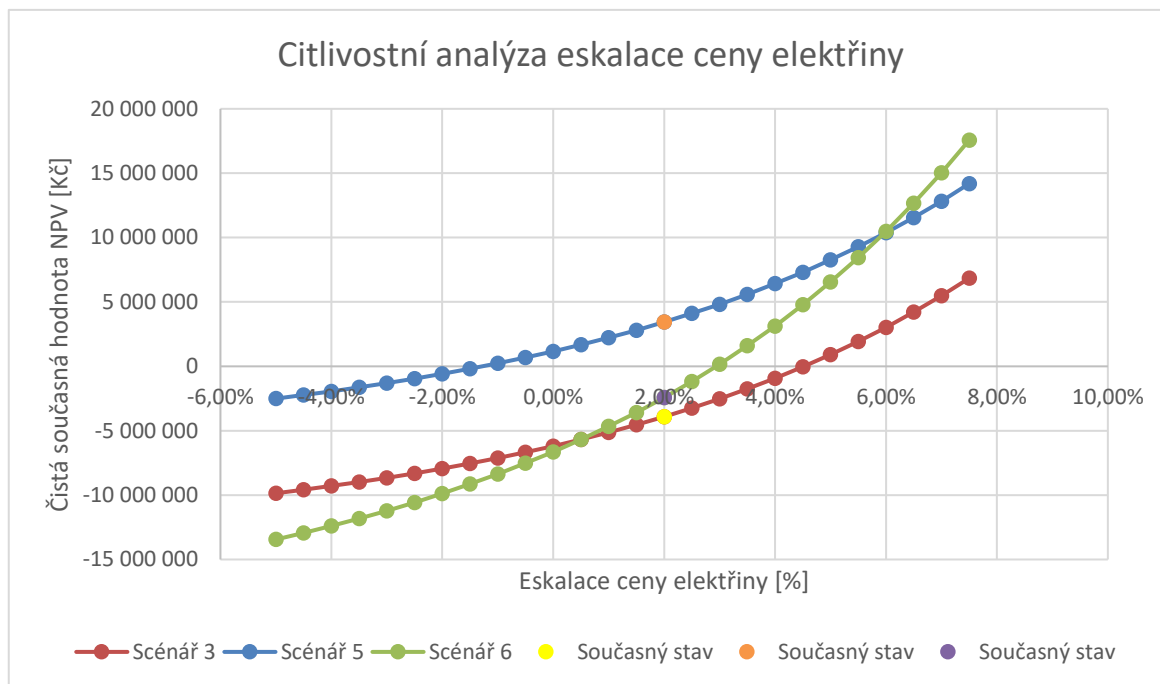
Graf 5 Citlivostní analýza ceny výkupní elektřiny

#### 6.3.4. Citlivostní analýza eskalace ceny elektřiny

Stejně jako v citlivostní analýze výkupní ceny elektřiny, také zde dochází k vlivu většího počtu panelů na strmost výsledné křivky jednotlivých scénářů. V případě scénáře 6 se výsledná NPV jeví jako citlivější proti případu scénáře 5. To je způsobeno tím, že ve scénáři 6 dochází ke zvýšení výroby elektrické energie vlivem vyššího počtu panelů. Jelikož je eskalace ceny elektřiny proměnná v průběhu let projektu, tak zde zkoumám průměrnou eskalaci v průběhu 25 let projektu.

Při zvolení scénáře 5 a při změně eskalace o jeden procentní bod dochází k vzrůstu NPV o 1,5 milion korun, což představuje změnu přibližně 40 %. Pro scénář 6 při stejné změně eskalace dochází ke zvýšení NPV o 2,5 milionu korun, což znamená relativní změnu

přibližně 90 %. Podobně jako v citlivostní analýze výkupní ceny elektřiny, kde v určité chvíli dojde ke změně volby výhodnějšího scénáře. Při zvýšení eskalace ceny elektřiny na hodnotu 6 % se stává scénář 6 ekonomicky výhodnější než scénář 5. Pokud by došlo ke snižování ceny elektřiny budou vždy scénáře 3 a 5 lepší než scénář 6. Při předpokládaném snižování ceny elektřiny je výhodnější způsob umístění panelů na vrchol stěny bez ohledu na dotaci.



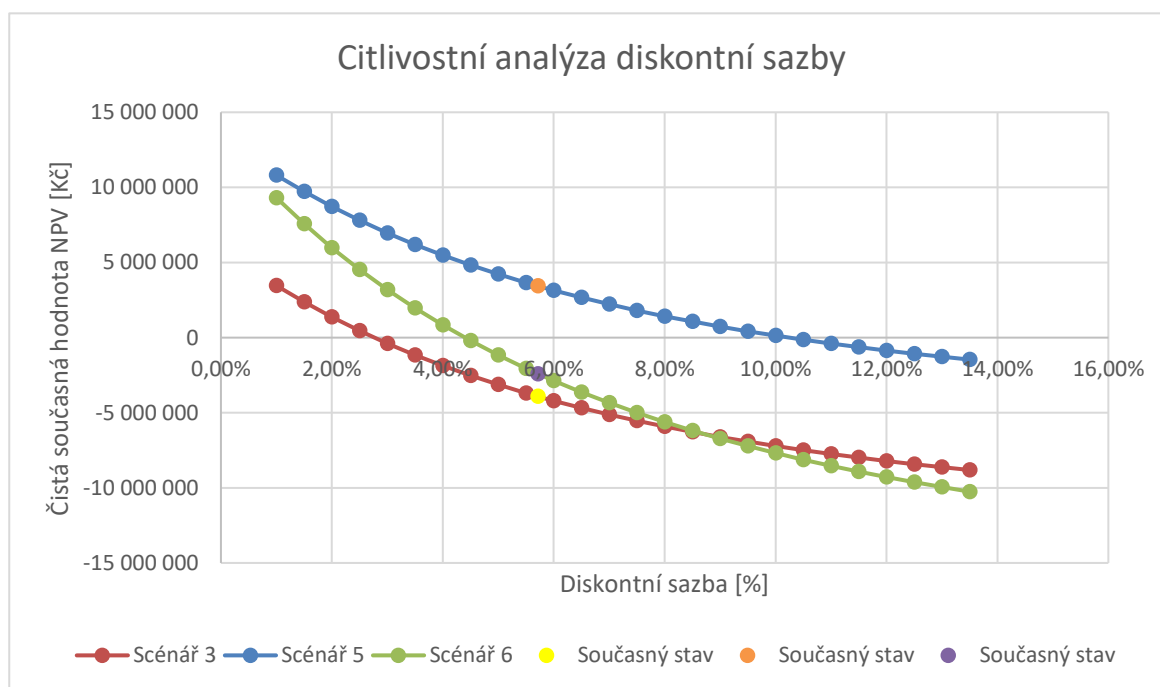
Graf 6 Citlivostní analýza eskalace ceny elektřiny

### 6.3.5. Citlivostní analýza diskontu

Citlivostní analýza diskontní sazby je jednou ze základních používaných analýz. Vliv diskontu na čistou současnou hodnotu projektu je jednoznačný, protože se jedná o hlavní parametr výpočtu NPV. Tato analýza ukazuje vliv ceny vlastního kapitálu na rentabilitu projektu. Diskont projektu byl stanoven pomocí CAPM modelu pro nezadluženou firmu, která nemá jiné projekty, které by měly finanční příjmy a bylo možné porovnat jejich diskont.

Diskont se může měnit v závislosti na změně makroekonomických parametrů, které vstupují do jeho výpočtu. Současně může dojít ke změně diskontu změnou investora. Pokud se nebude jednat o investora s přímou vazbou na stát, bude diskont významně vyšší. Protože půjde o soukromou společnost s cílem podnikání v této oblasti, proto z takového projektu bude očekávat jiné ekonomické důsledky.

Vnitřní výnosové procento je jedním z možných hodnotících kritérií, které se používají pro hodnocení efektivnosti investic. IRR je definováno jako diskontní sazba, při které je čistá současná hodnota rovna nule. Pro scénář 5 vychází IRR na hodnotu 10,24 %, pro scénář 6 pouze na hodnotu 4,40 % a pro scénář 3 dokonce na hodnotu 2,76 %. Takže pokud bych hodnotil scénáře projektu dle kritéria IRR, tak bych jednoznačně volil scénář 5. Ve scénáři 6 výsledná hodnota IRR nedosahuje požadovaného diskontu 5,72 %, z tohoto důvodu bych tento scénář nedoporučil. V rámci mé diplomové práce je rozhodující kritérium NPV, které také doporučuje scénář 5. Na závěr bych ještě dodal, že při diskontu 9 % již nezáleží na dotaci a způsob umístění na vrchol protihlukové stěny je výhodnější než umístění na plochu stěny ve scénáři 6.



Graf 7 Citlivostní analýza diskontní sazby

#### 6.4. Shrnutí výsledků projektu FVPHS na úseku D35

Pro demonstraci projektu FVPHS jsem zvolil plánovanou výstavbu protihlukových stěn v úseku dálnice D35. Výsledky technického modelu projektu D35 jsem podrobil ekonomickému hodnocení, aby bylo možné stanovit podmínky rentability projektu. Plánované protihlukové stěny na úseku dálnice D35 disponují potencionálním výkonem 1,48 MWp při umístění panelů na vrchol stěny a 2,95 MWp při umístění panelů na plochu stěny. Na základě technických parametrů lze říct, že výhodnější způsob je umístění 2 řad panelů rovnoběžně se stěnou. Tento předpoklad jsem pro verifikaci podrobil ekonomickému hodnocení, abych zjistil ekonomické důsledky jednotlivých scénářů projektu FVPHS.

Výsledky ekonomického modelu stanovily, že výhodnější způsob je umístění jedné řady panelů na vrchol stěny. Citlivostní analýzy současně ukázaly, že použití způsobu umístění panelů rovnoběžně s plochou stěny je citlivější na změnu vstupních předpokladů. Proto bych z toho pohledu při volbě způsobu instalace volil také využití vrcholu protihlukové stěny, protože vykazuje stabilnější chování při změně předpokladů. Na základě zpracovaných citlivostních analýz lze říct, že čistá současná hodnota je významně závislá zejména na 3 vstupních parametrech. Jedná se o cenu údržby panelů, cenu výkupní elektřiny a eskalace této elektřiny v průběhu životnosti projekt. Všechny tyto parametry jsou v poslední době velice volatilní.

Závěrem bych dodal, že projekt FVPHS za současných podmínek není rentabilní bez čerpání dotace. Výhodnější pro montáž panelů je vrchol stěny, kdy je možné zvolit optimální sklon panelů. Výsledky jsou počítány na prodej veškeré vyrobené elektřiny do distribuční sítě. V případě samo spotřeby elektřiny by bylo možné dosáhnout lepších výsledků.



# Závěr

Tato diplomová práce se zabývala využitím protihlukových stěn pro výrobu elektřiny pomocí FV panelů. Teoretická část postupně popisovala motivaci pro využití PHS k výrobě elektřiny právě pomocí fotovoltaických panelů. Praktická část se věnovala výpočtu délky a orientace protihlukových stěn z dat nástroje GIS pro následné stanovení jejich energetického potenciálu. V rámci praktické části byl věnován prostor ekonomickému hodnocení projektu FVPHS na úseku dálnice D35. Zhodnocení tohoto projektu jsem prováděl na základě čisté současné hodnoty. Následně jsem v rámci hodnocení zpracoval citlivostní analýzy pro určení vlivu změn vstupních parametrů na NPV.

V praktické části jsem vytvořil model v programu Wolfram Mathematica pro výpočet délky a orientace protihlukových stěn z WGS souřadnic evidovaných v geografickém nástroji GIS. Na základě vytvořeného modelu bylo možné stanovit energetický potenciál existujících zmapovaných stěn na území Prahy a ve správě ŘSD. V rámci technického modelu byl stanoven instalovaný výkon, vyrobená elektřina a úspora skleníkových plynů CO<sub>2</sub>. Snížení emisí skleníkových plynů CO<sub>2</sub> může být důležitým rozhodovacím faktorem pro některé investory, jako je například stát nebo městské municipality. Energetický potenciál protihlukových stěn, který jsem stanovil na 200–400 MWp, nedosahuje v současnosti převratných hodnot ve srovnání s celkovým plánovým výkonem FVE řádově jednotek GWp. Na základě výsledků by bylo vhodnější využít protihlukové stěny pouze k lokální výrobě elektřiny v místech, kde není dostatek volného prostoru pro realizaci pozemních elektráren.

Na základě výsledků diplomové práce bych při rozhodování o realizaci projektu FVPHS doporučoval scénář 5. Scénář byl definován jednou řadou panelů umístěných na vrchol protihlukové stěny, konstantní inflací přes celý projekt, minimálním výkonem úseků stěny 10 kWp a dotací ve výši 50 % investičních nákladů. Vzhledem nutnosti využít dotace pro zaručení rentability projekty bych doporučoval investorům při plánování FV systému na protihlukové stěny zajistit možnost čerpání dotace. Současně při plánování projektu PHS s potenciálem pro instalaci FV panelů by bylo vhodné zpracovávat náležitou dokumentaci v souladu s podmínkami dotačního titulu pro získání dotace.

Prioritou výstavby protihlukových stěn vždy bude snížení a eliminace hluku vzniklého silniční a železniční dopravou. Současně se ale jedná o energeticky nevyužívanou plochu, kterou lze pomocí fotovoltaických technologií využít k výrobě elektřiny. V souvislosti se závaznými klimaticko-energetickými cíli bych řekl, že ignorování

možnosti jejich využití by nebylo rozumné. Jejich využití sice skrývá určité limity a nebezpečí, zejména ve spojitosti se silniční dopravou a legislativou, ale použitím vhodných technologií lze těmto problémům efektivně předejít. Obecně lze říct, že využití protihlukových stěn k výrobě elektrické energie nedisponuje takovým potenciálem, aby mohly plnohodnotně nahradit současné zdroje. Avšak mohou být vhodným doplňkem při naplňování klimatických cílů nebo mohou být využity v lokalitách s nedostatečným prostorem pro instalaci pozemních FVE. V současnosti existuje několik projektů FVPHS v zahraničí, které jsou důkazem využitelnosti těchto ploch. Na základě toho si myslím, že v budoucích letech bude docházet k využití protihlukových stěn k výrobě elektřiny také na území České republiky.

Závěrem bych rád dodal, že při zpracování diplomové práce jsem se dozvěděl spoustu nových věcí z oblasti OZE. Tato práce nabízí možnosti pro pokračování tématu v disertační práci, kde jednou z možností může být analýza optimálního využití plochy jednotlivých stěn nebo optimalizace výkonu FVPHS na spotřebu elektřiny v okolí instalace. Využití tato práce může nalézt v praxi při stanovení energetického potenciálu PHS a kvantifikaci ekonomických důsledků realizace projektů FVPHS. Při zpracování této práce jsem si potvrdil, že obnovitelné zdroje energie budou do budoucna významným zdrojem elektřiny. V návaznosti na ambiciózní cíle v oblasti energetiky a klimatu bude určitě docházet k využívání nestandardních ploch k výrobě elektřiny pomocí OZE.



## Použité zdroje a literatura

- [1] HOLPUCH.CZ. Evropský Green Deal a Česká republika. *Evropský informační projekt* [online]. [vid. 2021-10-24]. Dostupné z: <https://euroinfoprojekt.eu/projekt/evropsky-geen-deal-a-ceska-republika/>
- [2] EUROPEAN COUNCIL. *Fit for 55 – The EU's plan for a green transition* [online]. [vid. 2021-10-19]. Dostupné z: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/eu-plan-for-a-green-transition/>
- [3] Zelená dohoda pro Evropu. *Evropská komise – European Commission* [online]. [vid. 2022-04-10]. Dostupné z: [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_cs](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_cs)
- [4] ZACHOVÁ, Aneta. Evropa se vydává z krize po zelené cestě. Tuzemsko táhne s sebou. *euractiv.cz* [online]. 2. duben 2021 [vid. 2021-10-24]. Dostupné z: <https://euractiv.cz/section/klima-a-zivotni-prostredi/news/evropa-se-vydava-z-krize-po-zelene-ceste-tuzemsko-tahne-s-sebou/>
- [5] PROSTŘEDÍ, EnviWeb cz-zpravodajství o životním. Evropská komise představí klimaticko-energetickou legislativu, která má zajistit snížení emisí EU o 55 % - EnviWeb.czEnviWeb.cz. *EnviWeb.cz* [online]. [vid. 2021-11-17]. Dostupné z: <https://www.enviweb.cz/119622>
- [6] ČR, MŽP. Prohlášení ČR k Zelené dohodě pro Evropu (European Green Deal). *http://* [online]. 29. květen 2020 [vid. 2021-10-24]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/cz/zelena\\_dohoda\\_prohlaseni](https://www.mzp.cz/cz/zelena_dohoda_prohlaseni)
- [7] ČR, MŽP. EU posílí svůj závazek z Pařížské dohody. Do roku 2030 sníží emise skleníkových plynů alespoň o 55 %. *http://* [online]. 17. prosinec 2020 [vid. 2021-11-17]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/cz/news\\_20201217-EU-posili-svuj-zavazek-z-Parizske-dohody-Do-roku-2030-snizi-emise-sklenikovyh-plynu-alespon-o-55-](https://www.mzp.cz/cz/news_20201217-EU-posili-svuj-zavazek-z-Parizske-dohody-Do-roku-2030-snizi-emise-sklenikovyh-plynu-alespon-o-55-)
- [8] Commission launches the Fit for 55% Package. *Interreg Europe* [online]. [vid. 2021-11-17]. Dostupné z: [https://www.interregeurope.eu/policylearning/news/12610/commission-launches-the-fit-for-55-package/?no\\_cache=1&cHash=a371af17736f1f2f09030ee45e7dd6f2](https://www.interregeurope.eu/policylearning/news/12610/commission-launches-the-fit-for-55-package/?no_cache=1&cHash=a371af17736f1f2f09030ee45e7dd6f2)
- [9] TAYLOR, Kira a Sean Goulding CARROLL. Balíček Fit for 55: Co můžeme očekávat? *euractiv.cz* [online]. 13. červenec 2021 [vid. 2021-10-19]. Dostupné z: <https://euractiv.cz/section/energetika/linksdossier/balicek-fit-for-55-co-muzeme-ocekavat/>
- [10] *Renewable energy statistics* [online]. [vid. 2021-11-17]. Dostupné z: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable\\_energy\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics)
- [11] EUROPEAN COMMISSION. DIRECTORATE GENERAL FOR CLIMATE ACTION. *Stav Unie 2020: akční plán EU pro dosažení cíle v oblasti klimatu do roku 2030: klíčové faktory a politické nástroje*. [online]. LU: Publications Office, 2020 [vid. 2021-10-20]. Dostupné z: <https://data.europa.eu/doi/10.2834/1524>

- [12] EU taxonomy for sustainable activities. *European Commission – European Commission* [online]. [vid. 2021-10-17]. Dostupné z: [https://ec.europa.eu/info/business-economy-euro/banking-and-finance/sustainable-finance/eu-taxonomy-sustainable-activities\\_en](https://ec.europa.eu/info/business-economy-euro/banking-and-finance/sustainable-finance/eu-taxonomy-sustainable-activities_en)
- [13] ERSTE GROUP. *Zelená revoluce vstupuje do ČR – are you ready? Ekonomické a strategické analýzy* [online]. [vid. 2021-10-17]. Dostupné z: <https://www.erstegroup.com/en/research/report/cz/SR234698>
- [14] ČR, MŽP. Klimaticko-energetický balíček do roku 2020. *http://*[online]. 18. září 2008 [vid. 2021-11-17]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/cz/klimaticko\\_energeticky\\_balicek\\_2020](https://www.mzp.cz/cz/klimaticko_energeticky_balicek_2020)
- [15] EU dosáhla svých klimatických cílů pro rok 2020, ukazují předběžná data. *oEnergetice.cz* [online]. 1. listopad 2021 [vid. 2021-11-17]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/rychle-zpravy/eu-dosahla-svych-klimatickych-cilu-rok-2020-ukazuji-predbezna-data/>
- [16] CO<sub>2</sub> emissions from aviation. *Our World in Data* [online]. [vid. 2021-05-09]. Dostupné z: <https://ourworldindata.org/grapher/co2-emissions-aviation>
- [17] V roce 2030 bude většina elektřiny v EU z obnovitelných zdrojů. Česko bude na posledním místě. *CZECHSIGHT – Vše o českém a zahraničním techu* [online]. 10. listopad 2020 [vid. 2021-10-14]. Dostupné z: <https://www.czechsight.cz/v-roce-2030-bude-vetsina-elektriny-v-eu-z-obnovitelnych-zdroju-cesko-bude-na-poslednim-miste/>
- [18] *Archive:Statistiky obnovitelných zdrojů energie* [online]. [vid. 2022-05-17]. Dostupné z: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Archive:Statistiky\\_obnoviteln%C3%BDch\\_zdroj%C5%AF\\_energie](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Archive:Statistiky_obnoviteln%C3%BDch_zdroj%C5%AF_energie)
- [19] LDSTUDIO a LDEKONOM. *Pražská mise nulové emise – Klimatický plán hl. m. Prahy do roku 2030* [online]. [vid. 2021-10-13]. Dostupné z: <https://klima.praha.eu/>
- [20] *Solární fasáda* [online]. [vid. 2021-11-28]. Dostupné z: <https://www.t-power.cz/solarni-fasady/>
- [21] KRIPPNER, Roland, Gerd BECKER a Susanne HAUGER, ed. *Building-integrated solar technology: architectural design with photovoltaics and solar thermal energy*. 1. Auflage. Munich: Detail Business Information, 2017. Edition Detail green books. ISBN 978-3-95553-362-5.
- [22] SRDEČNÝ, Karel. *Fotovoltaika v budovách: dosavadní zkušenosti pro budoucí rozvoj*. Praha: EkoWATT, 2009. ISBN 978-80-87333-04-4.
- [23] BIPV glass modules and solar panels | *metsolar.eu*. *Metsolar – Custom solar panels from EU manufacturer* [online]. 27. leden 2020 [vid. 2021-11-02]. Dostupné z: <https://metsolar.eu/products/bipv-glass-modules-and-solar-panels/>
- [24] *Můj Dům | Fasáda domu jako zdroj energie* [online]. [vid. 2021-11-28]. Dostupné z: [https://www.mujdum.cz/rubriky/stavba/fasada-domu-jako-zdroj-energie\\_2290.html](https://www.mujdum.cz/rubriky/stavba/fasada-domu-jako-zdroj-energie_2290.html)

- [25] *Jaký je potenciál fotovoltaiky v Česku? - Solární asociace* [online]. [vid. 2021-11-28]. Dostupné z: <https://www.solarniasociace.cz/cs/aktualne/15156-jaky-je-potencial-fotovoltaiky-v-cesku>
- [26] *Brno – AZ Tower, visitbrno.cz* [online]. [vid. 2021-11-28]. Dostupné z: <https://www.visitbrno.cz/cz/brno-az-tower/65/>
- [27] *Elektrina z fasády má budoucnost* [online]. [vid. 2021-11-28]. Dostupné z: <https://www.energie21.cz/elektrina-z-fasady-ma-budoucnost/>
- [28] Certifikace udržitelnosti budov – LEED | Enerfis. *Certifikace udržitelnosti budov – LEED | Enerfis* [online]. [vid. 2021-12-30]. Dostupné z: <https://www.enerfis.cz/sluzby/zelene-budovy/certifikace-budov-breeam-leed-sbtoolcz/certifikace-budov-leed>
- [29] Certifikace udržitelnosti budov – BREEAM | Enerfis. *Certifikace udržitelnosti budov – BREEAM | Enerfis* [online]. [vid. 2021-12-30]. Dostupné z: <https://www.enerfis.cz/sluzby/zelene-budovy/certifikace-budov-breeam-leed-sbtoolcz/certifikace-budov-breeam>
- [30] *Můj Dům | Elektrárna na střeše, či ve střeše?* [online]. [vid. 2021-11-28]. Dostupné z: [https://www.mujdum.cz/rubriky/stavba/elektrarna-na-strese-ci-ve-strese\\_2579.html](https://www.mujdum.cz/rubriky/stavba/elektrarna-na-strese-ci-ve-strese_2579.html)
- [31] DOLEŽEL, Michal. Trend: Integrace solárních zařízení přímo do střechy či fasády domu. *Nazeleno.cz* [online]. 30. leden 2015 [vid. 2021-11-28]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/energie/solarni-energie/trend-integrace-solarnich-zarizeni-primo-do-strechy-ci-fasady-domu.aspx>
- [32] V Nizozemsku testují protihlukové stěny schopné vyrábět elektrickou energii. *oEnergetice.cz* [online]. ervenec 2015 [vid. 2022-01-02]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/v-holandsku-testuji-protihlukove-steny-schopne-vyrabet-elektrickou-energii/>
- [33] *PV barriers* [online]. Dostupné z: [https://www.tnc.ch/wp-content/uploads/2017/10/PV\\_on\\_noise\\_barriers.pdf](https://www.tnc.ch/wp-content/uploads/2017/10/PV_on_noise_barriers.pdf)
- [34] GOETZBERGER, Gerhard KLEISS, Salvatore CASTELLO, Georg HILLE, Christian REISE, E. WIEMKEN, Jethro BETCKE, V.A.P. DIJK, Nicola PEARSALL, Kathleen HYNES, B. GAIDDDON, T. NORDMANN a A. FROELICH. *Evaluation of the potential of PV noise barrier technology for electricity production and market share, Final Report*. 1999.
- [35] MINISTERSTVO DOPRAVY. *Věda a výzkum z hlediska hluku* [online]. [vid. 2022-01-02]. Dostupné z: <https://www.mdcr.cz/Dokumenty/Strategie/Hluk/Veda-a-vyzkum-z-hlediska-hluku>
- [36] *IODA* [online]. [vid. 2021-12-12]. Dostupné z: [http://data.ioda.cz/#ds=649s\\_all-all\\_dim1&d=tabulka&z=upr](http://data.ioda.cz/#ds=649s_all-all_dim1&d=tabulka&z=upr)
- [37] *Noise Barrier* [online]. [vid. 2021-11-28]. Dostupné z: <https://www.solarinnova.net/en/products/photovoltaic/mounting/pvnb>
- [38] *PV on noise barriers. Progress in Photovoltaics: Research and Applications Volume 12, Issue 6, Pages - PDF Free Download* [online]. [vid. 2021-11-28]. Dostupné

z: <https://docplayer.net/185743457-Pv-on-noise-barriers-progress-in-photovoltaics-research-and-applications-volume-12-issue-6-pages.html>

- [39] *Délky a další data komunikací* [online]. [vid. 2022-01-02]. Dostupné z: <https://www.rsd.cz/wps/portal/web/Silnice-a-dalnice/delky-a-dalsi-data-komunikaci>
- [40] *Základní charakteristika železniční sítě - www.spravazeleznice.cz* [online]. [vid. 2022-01-02]. Dostupné z: <https://www.spravazeleznice.cz/o-nas/vse-o-sprave-zeleznice/zeleznice-cr/zeleznicni-sit-v-cr>
- [41] *Fotovoltaické panely | SoSol s.r.o.* [online]. [vid. 2022-01-02]. Dostupné z: <https://www.solsol.cz/fotovoltaicke-panely>
- [42] Zákon 458/2000 Sb. Energetický zákon. *Zákony pro lidi* [online]. [vid. 2021-10-12]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-458>
- [43] INFO@AION.CZ, AION CS-. 8/2016 Sb. Vyhláška o podrobnostech udělování licencí pro podnikání v energetických odvětvích. *Zákony pro lidi* [online]. [vid. 2021-12-30]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-8>
- [44] Rozvoj obnovitelných zdrojů do roku 2030 | Deloitte Česká republika. *Deloitte Czech Republic* [online]. [vid. 2021-12-20]. Dostupné z: <https://www2.deloitte.com/cz/cs/pages/energy-and-resources/articles/rozvoj-obnovitelnych-zdroju-do-roku-2030.html>
- [45] *Národní akční plán pro chytré sítě | MPO* [online]. [vid. 2021-12-20]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/narodni-akcni-plan-pro-chytre-site/default.htm>
- [46] Podpora výroby elektřiny z OZE prostřednictvím Power Purchase Agreements. *TZB-info* [online]. [vid. 2022-01-02]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/20508-podpora-vyroby-elektriny-z-oze-prostrednictvim-power-purchase-agreements>
- [47] *Cena elektřiny může dál růst. Ušetřit lze díky agregátorům flexibility* [online]. [vid. 2022-01-02]. Dostupné z: <https://roklen24.cz/cena-elektriny-muze-dal-rust-usetrit-lze-diky-agregatorum-flexibility/>
- [48] Modernizační fond: V projektech za bilion je největší poptávka po podpoře malých obnovitelných zdrojů. *oEnergetice.cz* [online]. 26. březen 2021 [vid. 2022-01-03]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/modernizacni-fond-projektech-za-bilion-nejvetsi-poptavka-podpore-malych-obnovitelnych-zdroju/>
- [49] SOLÁRNÍ ASOCIACE. *Solární konference 2021* [online]. 25. květen 2021 [vid. 2022-01-03]. Dostupné z: <https://www.solarnikonference.cz/>
- [50] *Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu | MPO* [online]. [vid. 2021-04-29]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/vnitrostatni-plan-ceske-republiky-v-oblasti-energetiky-a-klimatu--252016/>
- [51] MPO. *Státní energetická koncepce České republiky* [online]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/52826/60155/632395/priloha004.pdf>

- [52] POE, Carson, Amy PLOVNICK, Tina HODGES, Aaron HASTINGS, Sue DRESLEY, a JOHN A. VOLPE NATIONAL TRANSPORTATION SYSTEMS CENTER (U.S.). *Highway renewable energy: photovoltaic noise barriers* [online]. DOT-VNTSC-FHWA-17-20;FHWA-HEP-17-088. 2017 [vid. 2022-02-28]. Dostupné z: <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/32521>
- [53] ADMIN, Geschrieben von. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications. TNC Consulting AG* [online]. 11. srpen 2010 [vid. 2021-11-15]. Dostupné z: <https://www.tnc.ch/progress-in-photovoltaics-research-and-applications/>
- [54] VALLATI, A., R. de Lieto VOLLARO, A. TALLINI a L. CEDOLA. Photovoltaics Noise Barrier: Acoustic and Energetic Study. *Energy Procedia* [online]. 2015, **82**, 70th Conference of the Italian Thermal Machines Engineering Association, ATI2015, 716–723. ISSN 1876-6102. Dostupné z: doi:10.1016/j.egypro.2015.11.797
- [55] GOETZBERGER, A., Gerhard KLEISS, T. NORDMANN, Froelich A, Georg HILLE, Christian REISE, E. WIEMKEN, V. DIJK, Jethro BETCKE, Nicola PEARSALL, Kathleen HYNES, B. GAIDDON a Salvatore CASTELLO. The Potential of PV-noise barrier technology in Europe. In: . 2000.
- [56] *Photovoltaic Noise Barriers - Publications - Energy - Sustainability - Environment - FHWA* [online]. [vid. 2021-11-15]. Dostupné z: <https://www.fhwa.dot.gov/environment/sustainability/energy/publications/photovoltaic/>
- [57] WATTS, G. R, P. A MORGAN, TRL LIMITED, GREATER LONDON AUTHORITY, a TRANSPORT FOR LONDON (ORGANIZATION). *Noise barrier review*. Wokingham, Berkshire: TRL Limited, 2005. ISBN 978-1-84608-933-6.
- [58] DE JONG, M. M. Solar Highways Benchmark Study: An overview and evaluation of existing photovoltaic noise barriers [online]. 2015 [vid. 2022-03-29]. Dostupné z: <https://repository.tno.nl/islandora/object/uuid%3A9d0516be-0ca5-4dca-8260-43edd4f301ca>
- [59] *Vše o čištění solárních kolektorů a panelů* [online]. [vid. 2022-03-28]. Dostupné z: <https://solarnisystemynaohrevvody.cz/dalsi-clanky/297-cisteni-solarnich-kolektoru-a-panelu-od-necistot>
- [60] *Revize a měření FV systémů:: TREALS* [online]. [vid. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.trealcs.cz/fotovoltaika/revize-a-mereni-fv-systemu/>
- [61] R.O, IN-EL, spol s, Tvar Webu DEVELOPMENT@TVARWEBU.CZ a design by honza | WWW.HONZAFOTO.CZ. *Revize solárních (fotovoltaických) elektráren* [online]. [vid. 2022-04-06]. Dostupné z: <https://www.in-el.cz/referat>
- [62] MVČR. *Požáry fotovoltaických elektráren. Metodický list číslo 48P*. [online]. [vid. 2022-04-17]. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/clanek/bojovy-rad-jednotek-pozarni-ochrany-v-dokumentech-491249.aspx>
- [63] MOW, Megan Day and Benjamin. *Research and Analysis Demonstrate the Lack of Impacts of Glare from Photovoltaic Modules* [online]. [vid. 2021-11-15]. Dostupné z: <https://www.nrel.gov/state-local-tribal/blog/posts/research-and-analysis-demonstrate-the-lack-of-impacts-of-glare-from-photovoltaic-modules.html>

- [64] Hlavní město Praha. *Otevřená data geoportál hl. m. Prahy – protihlukové bariéry* [online]. [vid. 2022-02-28]. Dostupné z: <https://www.geoportalpraha.cz/cs/data/otevrena-data/5C8F3209-797D-4BB3-883C-C9E0EF3554B1>
- [65] *PPK a dopravní značení* [online]. [vid. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://www.rsd.cz/wps/portal/web/technicke-predpisy/PPK-a-dopravni-znaceni>
- [66] *Převody jednodek – vstup JTSK* [online]. [vid. 2022-04-27]. Dostupné z: <https://www.estudanky.cz/prevody/jtsk-davka.php>
- [67] LUCA, Gabriele De. *Haversine Formula Baeldung on Computer Science* [online]. 13. prosinec 2020 [vid. 2022-04-24]. Dostupné z: <https://www.baeldung.com/cs/haversine-formula>
- [68] *Calculate distance and bearing between two Latitude/Longitude points using haversine formula in JavaScript* [online]. [vid. 2022-03-27]. Dostupné z: <http://www.movable-type.co.uk/scripts/latlong.html>
- [69] *JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission* [online]. [vid. 2021-04-14]. Dostupné z: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html)
- [70] BETCKE, Jethro, V.A.P. DIJK a E.A. ALSEMA. *Opbrengstgegevens van het PV-geluidsscherm langs de A27 na twee jaar systeembedrijf. Eindrapport. 2002.*
- [71] INFO@AION.CZ, AION CS-. 140/2021 Sb. Vyhláška o energetickém auditu. *Zákony pro lidi* [online]. [vid. 2022-04-24]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2021-140>
- [72] *ERÚ – Zprávy o provozu elektrizační soustavy roční zpráva rok 2020* [online]. [vid. 2021-08-11]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/zpravy-o-provozu-elektrizacni-soustavy>
- [73] *Hlavní stránka | Dálnice D35* [online]. [vid. 2022-03-30]. Dostupné z: <https://www.dalnice-d35.cz/>
- [74] *Hlavní stránka | Dálnice D35* [online]. [vid. 2022-03-30]. Dostupné z: <https://www.dalnice-d35.cz/#useky-dalnice>
- [75] *SFDI | Cenové databáze* [online]. [vid. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://www.sfdi.cz/pravidla-metodiky-a-ceniky/cenove-databaze/>
- [76] *Aktuální prognóza ČNB - Česká národní banka* [online]. [vid. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://www.cnb.cz/cs/menova-politika/prognoza/>
- [77] *Damodaran Online: Home Page for Aswath Damodaran* [online]. [vid. 2021-03-17]. Dostupné z: <http://people.stern.nyu.edu/adamodar/>
- [78] *Futures - Power Exchange Central Europe, a. s.* [online]. [vid. 2022-05-05]. Dostupné z: <https://old.pxe.cz/On-Line/Futures/>
- [79] *Futures* [online]. [vid. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://www.eex.com/en/market-data/power/futures>

- [80] *Ceník | Výškové práce a mytí fasád - PV Clean* [online]. [vid. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.pvclean.cz/cenik.html>
- [81] Solární panel Canadian Solar 455Wp CS3W-455MS. *solars* [online]. [vid. 2022-04-10]. Dostupné z: <https://www.solars.cz/product-page/solární-panel-canadian-solar-cs3w-455ms>





# Přílohy




Příloha 1: Produktový list solárního panelu Canadian Solar 1. část [80] .....	II
Příloha 2: Produktový list solárního panelu Canadian Solar 2. část [80] .....	III
Příloha 3: Ukázka algoritmu pro výpočet délky a azimutu stěny .....	IV
Příloha 4: Přední strana FVPHS podél dálnice SS434 v Itálii Zdroj: googlemaps .....	IV
Příloha 5: Zadní strana FVPHS podél dálnice SS434 v Itálii Zdroj: googlemaps.....	V
Příloha 6: Zobrazení PHS v majetku ŘSD .....	V
Příloha 7: Ukázka importovaných GIS dat protihlukových stěn Praha .....	VI
Příloha 8: Upravená data pro účely modelu.....	VI
Příloha 9: Plánovaný průběh výstavby celé dálnice D35 [73].....	VII






**HiKu**  
**SUPER HIGH POWER MONO PERC MODULE**  
**430 W ~ 455 W**  
**CS3W-430 | 435 | 440 | 445 | 450 | 455MS**



**MORE POWER**

-  26 % more power than conventional modules
-  Up to 4.5 % lower LCOE  
Up to 2.7 % lower system cost
-  Low NMOT:  $42 \pm 3$  °C  
Low temperature coefficient (Pmax):  $-0.35$  % / °C
-  Better shading tolerance

**MORE RELIABLE**

-  Lower internal current, lower hot spot temperature
-  Minimizes micro-crack impacts
-  Heavy snow load up to 5400 Pa, wind load up to 3600 Pa\*

**25 years** linear power output warranty\*

**12 years** enhanced product warranty on materials and workmanship\*

\*According to the applicable Canadian Solar Limited Warranty Statement.

**MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES\***

ISO 9001:2015 / Quality management system  
 ISO 14001:2015 / Standards for environmental management system  
 OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

**PRODUCT CERTIFICATES\***

IEC 61215 / IEC 61730: VDE / CE / MCS / INMETRO  
 UL 1703: CSA / IEC 61701 ED2: VDE / IEC 62716: VDE / IEC 60068-2-68: SGS  
 UNI 9177 Reaction to Fire: Class 1 / Take-e-way



\* As there are different certification requirements in different markets, please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific certificates applicable to the products in the region in which the products are to be used.

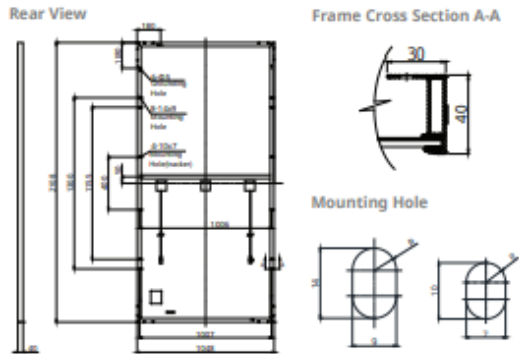
**CANADIAN SOLAR INC.** is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. No. 1 module supplier for quality and performance/price ratio in IHS Module Customer Insight Survey. As a leading PV project developer and manufacturer of solar modules with over 40 GW deployed around the world since 2001.

\* For detail information, please refer to Installation Manual.

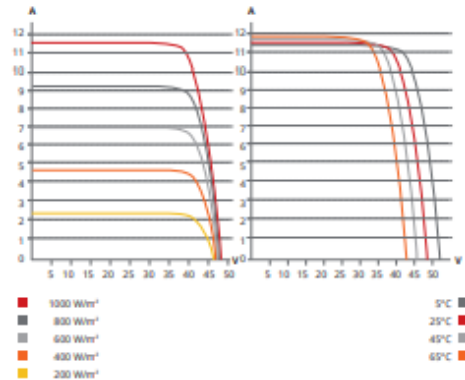
**CANADIAN SOLAR INC.**

545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, [www.canadiansolar.com](http://www.canadiansolar.com), [support@canadiansolar.com](mailto:support@canadiansolar.com)

**ENGINEERING DRAWING (mm)**



**CS3W-435MS / I-V CURVES**



**ELECTRICAL DATA | STC\***

CS3W	430MS	435MS	440MS	445MS	450MS	455MS
Nominal Max. Power (Pmax)	430 W	435 W	440 W	445 W	450 W	455 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	40.3 V	40.5 V	40.7 V	40.9 V	41.1 V	41.3 V
Opt. Operating Current (Imp)	10.68 A	10.75 A	10.82 A	10.89 A	10.96 A	11.02 A
Open Circuit Voltage (Voc)	48.3 V	48.5 V	48.7 V	48.9 V	49.1 V	49.3 V
Short Circuit Current (Isc)	11.37 A	11.42 A	11.48 A	11.54 A	11.60 A	11.66 A
Module Efficiency	19.5%	19.7%	19.9%	20.1%	20.4%	20.6%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C					
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)					
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)					
Max. Series Fuse Rating	20 A					
Application Classification	Class A					
Power Tolerance	0 ~ + 10 W					

\* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

**ELECTRICAL DATA | NMOT\***

CS3W	430MS	435MS	440MS	445MS	450MS	455MS
Nominal Max. Power (Pmax)	321 W	325 W	328 W	332 W	336 W	339 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	37.6 V	37.8 V	37.9 V	38.1 V	38.3 V	38.5 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.54 A	8.59 A	8.65 A	8.71 A	8.76 A	8.82 A
Open Circuit Voltage (Voc)	45.4 V	45.6 V	45.8 V	46.0 V	46.2 V	46.4 V
Short Circuit Current (Isc)	9.17 A	9.21 A	9.26 A	9.31 A	9.36 A	9.41 A

\* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m² spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

**MECHANICAL DATA**

Specification	Data
Cell Type	Mono-crystalline
Cell Arrangement	144 [2 X (12 X 6)]
Dimensions	2108 X 1048 X 40 mm (83.0 X 41.3 X 1.57 in)
Weight	24.9 kg (54.9 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy, crossbar enhanced
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4 mm² (IEC), 12 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	Portrait: 500 mm (19.7 in) (+) / 350 mm (13.8 in) (-); landscape: 1400 mm (55.1 in); leap-frog connection: 1670 mm (65.7 in)*
Connector	T4 series or H4 UTX or MC4-EVO2
Per Pallet	27 pieces
Per Container (40' HQ)	594 pieces

\* For detailed information, please contact your local Canadian Solar sales and technical representatives.

**TEMPERATURE CHARACTERISTICS**

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.35 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.27 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	42 ± 3°C

**PARTNER SECTION**



\* The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. Canadian Solar Inc. reserves the right to make necessary adjustment to the information described herein at any time without further notice. Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

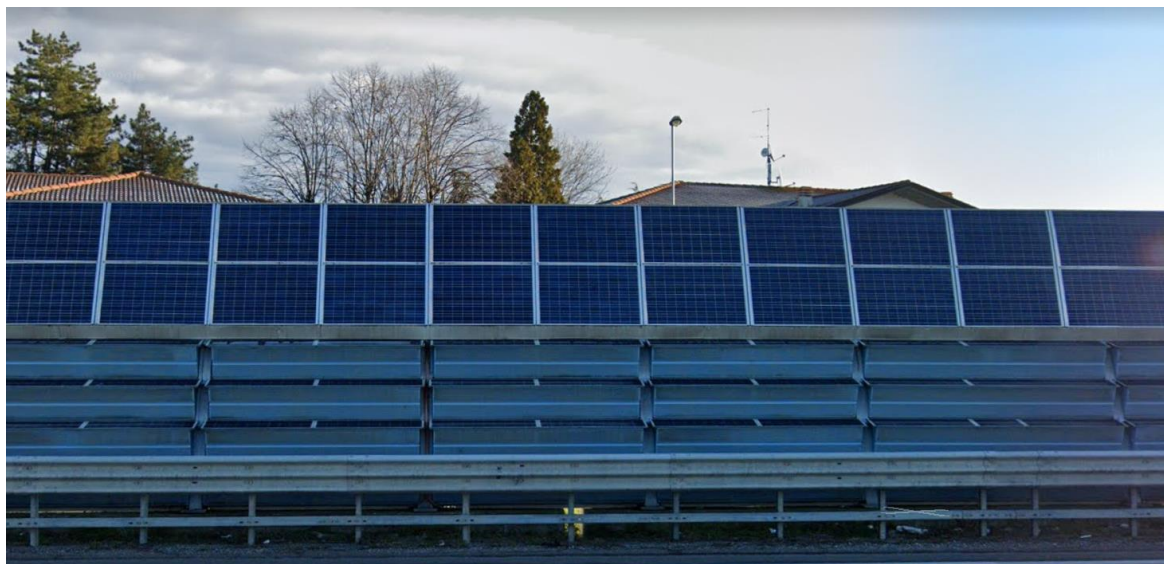
**CANADIAN SOLAR INC.**

545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, [www.canadiansolar.com](http://www.canadiansolar.com), [support@canadiansolar.com](mailto:support@canadiansolar.com)

Příloha 3: Ukázka algoritmu pro výpočet délky a azimutu stěny

```
(=Výpočet délky a azimutu stěny na základě GIS podkladů z Prahy=)
dataphsPraha = Import["phs2.xlsx"];
vyskaphsPraha = Import["protihluk.xlsx"];
zemsirka = Table[dataphsPraha[[1]][[1]][[2]], {i, 2, Length[dataphsPraha[[1]]]};
zemdelka = Table[dataphsPraha[[1]][[1]][[3]], {i, 2, Length[dataphsPraha[[1]]]};
poradiaphs = Table[dataphsPraha[[1]][[1]][[4]], {i, 2, Length[dataphsPraha[[1]]]};
vyskaimport = Table[vyskaphsPraha[[2]][[1]][[3]], {i, 2, Length[vyskaphsPraha[[1]]]};
datamodel = Table[{zemsirka[[i]], zemdelka[[i]], poradiaphs[[i]], {i, 1, Length[zemdelka]}}];
delkaphs =
Table[If[datamodel[[i, 3]] == datamodel[[i + 1, 3]],
6371000 * 2 *
ArcTan[Sqrt[1 - (Sin[(datamodel[[i + 1]][[1]][[1]] Degree - datamodel[[i]][[1]][[1]] Degree]^2 + Cos[datamodel[[i]][[1]][[1]] Degree] * Cos[datamodel[[i + 1]][[1]][[1]] Degree] + Sin[(datamodel[[i + 1]][[2]] Degree - datamodel[[i]][[2]] Degree]^2) /
(Sin[(datamodel[[i + 1]][[2]] Degree - datamodel[[i]][[2]] Degree]^2 + Cos[datamodel[[i]][[1]][[1]] Degree] * Cos[datamodel[[i + 1]][[1]][[1]] Degree] + Sin[(datamodel[[i + 1]][[2]] Degree - datamodel[[i]][[2]] Degree]^2) / 2)], 0],
{i, 1, Length[datamodel] - 1}];
ID = Table[If[delkaphs[[i]] > 0, datamodel[[i, 3]], Nothing], {i, 1, Length[delkaphs]};
Export["IDpraha.xlsx", ID]
IDpraha.xlsx
azimutphs =
Table[If[datamodel[[i, 3]] == datamodel[[i + 1, 3]],
Mod[ArcTan[(Cos[datamodel[[i]][[1]][[1]] Degree] * Sin[datamodel[[i + 1]][[1]][[1]] Degree] - Sin[datamodel[[i]][[1]][[1]] Degree] * Cos[datamodel[[i + 1]][[1]][[1]] Degree] + Cos[datamodel[[i + 1]][[2]] Degree - datamodel[[i]][[2]] Degree] *
(Sin[datamodel[[i + 1]][[2]] Degree - datamodel[[i]][[2]] Degree] * Cos[datamodel[[i + 1]][[1]][[1]] Degree]) + (360 / Pi + 360, 360)], 0], {i, 1, Length[datamodel] - 1}];
```

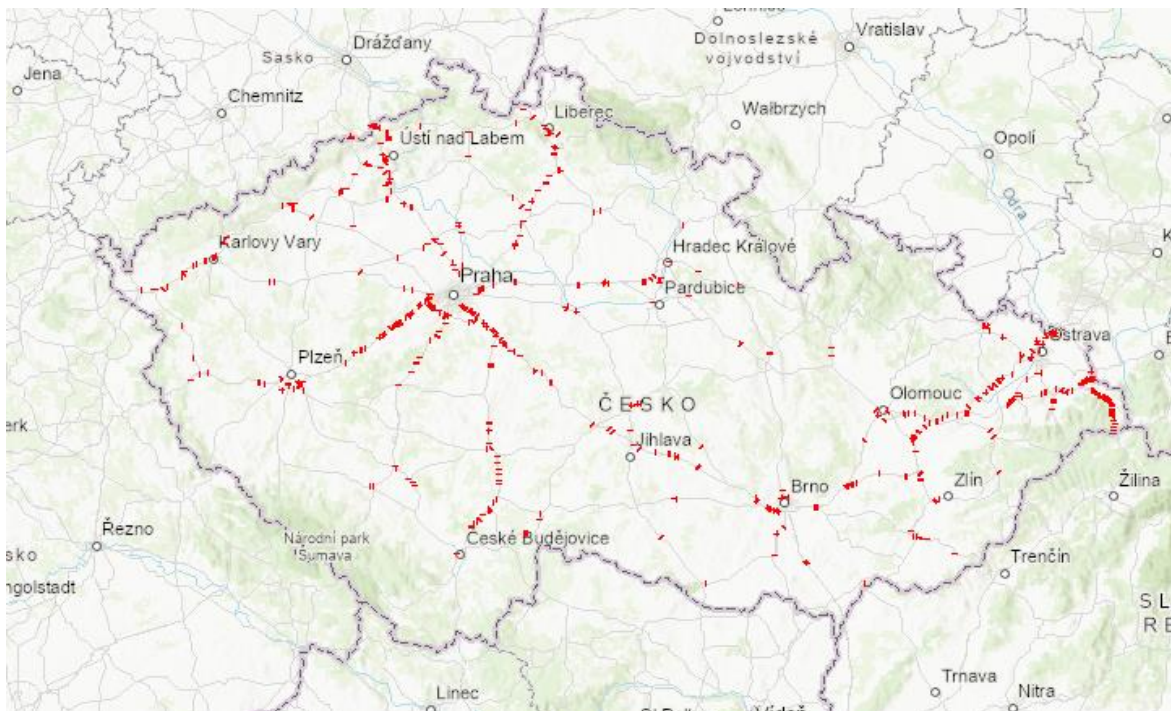
Příloha 4: Přední strana FVPHS podél dálnice SS434 v Itálii Zdroj: googlemaps



Příloha 5: Zадní strana FVPHS podél dálnice SS434 v Itálii Zdroj: googlemaps



Příloha 6: Zobrazení PHS v majetku ŘSD





Příloha 9: Plánovaný průběh výstavby celé dálnice D35 [74]

