

**KATEDRA EKONOMIKY,
MANAŽERSTVÍ A HUMANITNÍCH VĚD**

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V PRAZE**



FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

**ENERGETICKÉ VYUŽITÍ
PROTIHLUKOVÝCH STĚN
(STUDIE PROVEDITELNOSTI)**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2023

**JAKUB
NOVÁK**

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Novák** Jméno: **Jakub** Osobní číslo: **457039**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající 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:

Energetické využití protihlukových stěn (studie proveditelnosti)

Název diplomové práce anglicky:

Utilization of Noise Barriers for Energy Production (Feasibility Study)

Pokyny pro vypracování:

- 1) Průzkum vývoje technologií fotovoltaických systémů, tržního prostředí s komponenty a legislativního prostředí pro možnosti instalace fotovoltaiky do veřejného prostoru a jejího propojení s distribuční sítí
- 2) Analýza možných řešení fotovoltaických protihlukových stěn a potenciálu instalovaného výkonu fotovoltaických elektráren osazených nebo integrovaných do protihlukových stěn
- 3) Sestavení modelu energetické bilance a ekonomického cyklu využití pro varianty pilotního projektu instalace fotovoltaické elektrárny na protihlukovou stěnu (například. vodíkové úložiště, dobíjecí stanice pro elektromobily apod.)
- 4) Posouzení ekonomické efektivnosti variant vzorového projektu

Seznam doporučené literatury:

- [1] KLEISS, G., CASTELLO, S., HILLE, G., REISE, CH., et al. Evaluation of the potential of PV noise barrier technology for electricity production and market share, Final Report. TNC GmbH. Freiburg, Germany, June 2016. [2] POE, C., PLOVNICK, A., HODGES, T., et al. Highway Renewable Energy: Photovoltaic Noise Barriers. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Office of Natural Environment. Washington D.C., July 2017. [online]. Dostupné z: <https://www.fhwa.dot.gov/environment/sustainability/energy/publications/photovoltaic>
- [3] BOESSENKOL, E., VAN DER GRAAF, D. Solar Highways: Final Report. Ministry of Infrastructure and Water Management of the Netherlands, Rijkswaterstaat. Utrecht, 2020. [online]. Dostupné z: <https://www.solarhighways.eu/en/documents>
- [4] KANELIS, M., DE JONG, M., SLOOFF, M., DEBIJE, G. The solar noise barrier project: 1. Effect of incident light orientation on the performance of a large-scale luminescent solar concentrator noise barrier. Smart Energy Buildings & Cities, Eindhoven University of Technology. The Netherlands, 2016. [online]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148116309557>
- [5] NORDMANN, T., VONTOBEL, T., CLAVADETSCHER, L. 15 Years of Practical Experience in Development and Improvement of Bifacial Photovoltaic Noise Barriers Along Highways and Railway Lines in Switzerland. TNC Consulting AG. 2012. [online]. Dostupné z: <https://www.eupvsec-proceedings.com/proceedings?paper=20241>
- [6] MINISTERSTVO PRO MÍSTNÍ ROZVOJ ČR. Metodická pomůcka Ministerstva pro místní rozvoj k umístování, povolování a užívání fotovoltaických staveb a zařízení. 2022. [online]. Dostupné z: <https://www.komora-khk.cz/informacni-servis-khk-khk/ostatni-informace/metodicka-pomucka-ministerstva-pro-mistni-rozvoj-k-umistovani-povolovani-a-uzivani-fotovoltaickych-staveb-a-zarizeni/>

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Jiří Beranovský, Ph.D., MBA katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd FEL

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

Datum zadání diplomové práce: **16.09.2022**

Termín odevzdání diplomové práce: **10.01.2023**

Platnost zadání diplomové práce: **19.02.2024**

Ing. Jiří Beranovský, Ph.D., MBA
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

PROHLÁŠENÍ

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

V Praze dne

.....

Jakub Novák

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval Ing. Jiřímu Beranovskému, Ph.D., MBA za vedení diplomové práce, odborný dohled, a především za cenné rady v průběhu vypracování. Rád bych také poděkoval Ing. Radku Kropelnickému z Ředitelství silnic a dálnic za poskytnutí údajů o délce protihlukových stěn v ČR. Dále děkuji Mgr. Janu Princílkovi ze společnosti KuPr System, s.r.o. za jeho čas na poskytnutých konzultacích a údaje k nosné konstrukci pro fotovoltaické protihlukové stěny. Také bych chtěl poděkovat panu Leopoldu Dietlovi ze společnosti Forster Metallbau GmbH za poskytnutí údajů k montáži rakouského řešení nosné konstrukce pro fotovoltaické protihlukové stěny. Děkuji též Petru Mašíkovi ze společnosti SunFlow s.r.o. za jeho čas a rady v oblasti návrhu a montáže fotovoltaických systémů a Ing. Ladislavu Červinkovi za konzultace ohledně tvorby trojrozměrných vizualizací fotovoltaických protihlukových stěn.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá využitím protihlukových stěn k výrobě elektrické energie. Teoretická část práce je zaměřena na instalaci fotovoltaických elektráren do veřejného prostoru v souvislosti s cíli České republiky a Evropské unie v oblasti klimatu a podílu obnovitelných zdrojů v energetickém mixu. Dále se práce zabývá systémovým vlivem obnovitelných zdrojů energie na cenu elektřiny. Následně je provedena charakteristika dostupných technických řešení pro realizaci projektu fotovoltaické protihlukové stěny, přičemž zvláštní důraz je kladen především na řešení nosné konstrukce pro fotovoltaické moduly. Praktická část se zaměřuje na stanovení technického potenciálu instalovaného výkonu fotovoltaických protihlukových stěn ve vybraných státech a sestavení modelu ekonomické efektivity vzorového projektu fotovoltaické protihlukové stěny.

Klíčová slova: fotovoltaická elektrárna, protihluková stěna, nosná konstrukce, bateriové úložiště, vodíkové úložiště, dobíjecí stanice, potenciál instalovaného výkonu, model ekonomické efektivity

ABSTRACT

The aim of this diploma thesis is the utilization of noise barriers for power generation. The theoretical part of the thesis focuses on the installation of photovoltaic power plants in public spaces in the context of the climate goals of the Czech Republic and the European Union and the target for the share of renewable energy sources in the energy mix. Furthermore, the thesis deals with the systemic impact of renewable energy sources on the price of electricity. Subsequently, a characterization of the available technical solutions for the implementation of the photovoltaic noise barrier project is made, with particular emphasis on the design of the supporting structure for the photovoltaic modules. The practical part focuses on the determination of the technical potential of the installed capacity of photovoltaic noise barriers in selected countries and the development of an economic efficiency model for a photovoltaic noise barrier project.

Keywords: photovoltaic power plant, noise barrier, mounting structure, battery storage, hydrogen storage, charging station, installed power potential, economic efficiency model

OBSAH

ÚVOD	1
KAPITOLA 1: MOTIVACE INSTALACE FOTOVOLTAICKÝCH ELEKTRÁREN DO VEŘEJNÉHO PROSTORU	2
1.1 VÝVOJ TRHU S KOMPONENTY PRO FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY	2
1.1.1 Vývoj trhu s fotovoltaickými moduly	2
1.1.2 Vývoj trhu s ostatními komponenty pro fotovoltaické elektrárny	4
1.1.3 Dlouhodobé měrné náklady na výrobu energie z fotovoltaických elektráren.....	5
1.2 VÝVOJ TRHU SE ZAŘÍZENÍMI PRO AKUMULACI ENERGIE	6
1.3 ENERGETICKÁ POLITIKA EVROPSKÉ UNIE A ČESKÉ REPUBLIKY.....	8
1.3.1 Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu.....	8
1.3.2 Fit for 55.....	9
1.3.2.1 Kontext vzniku balíčku Fit for 55.....	9
1.3.2.2 Principy balíčku Fit for 55.....	10
1.3.2.3 Konkrétní návrhy opatření balíčku Fit for 55.....	10
1.3.3 Prioritní oblast výzkumu, vývoje a inovací na základě Státní energetické koncepce ČR – obnovitelné (alternativní) zdroje energie	11
1.3.4 Agregace flexibility	11
1.3.5 Energy-only market.....	13
1.3.5.1 Krátkodobé marginální náklady.....	13
1.3.5.2 Merit order effect.....	13
1.3.5.3 Capacity market.....	14
1.3.6 Dlouhodobé marginální náklady.....	15
1.3.6.1 Systémová metoda pro výpočet marginálních nákladů.....	15
1.3.6.2 Metoda reprezentantů pro výpočet marginálních nákladů	16
1.3.6.3 Vyhodnocení směřování budoucího vývoje energetického mixu České republiky a zařazování obnovitelných zdrojů včetně fotovoltaiky	17
1.4 LEGISLATIVNÍ RÁMEC INSTALACE FOTOVOLTAICKÝCH ELEKTRÁREN DO VEŘEJNÉHO PROSTORU V ČESKÉ REPUBLICE	17
1.4.1 Komunitní energetika.....	18
1.4.2 Národní akční plán pro obnovitelné zdroje energie	19
1.4.3 Národní akční plán pro chytré sítě.....	19
1.4.4 Rozvoj podporovaných zdrojů energie do roku 2030.....	20
1.4.5 Vyhodnocení možností umístění větrných a fotovoltaických elektráren z hlediska ochrany přírody a krajiny	21
1.5 HISTORIE PROJEKTŮ FOTOVOLTAICKÝCH ELEKTRÁREN NA PROTIHLUKOVÝCH STĚNÁCH	23
1.5.1 Švýcarsko	23
1.5.2 Německo.....	24
1.5.3 Nizozemsko.....	25
1.5.4 Austrálie	26
1.5.5 Česká republika.....	27
KAPITOLA 2: TECHNOLOGIE FOTOVOLTAICKÝCH SYSTÉMŮ	28
2.1 VYUŽITELNOST SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ V ČR.....	28
2.2 FOTOVOLTAICKÉ MODULY	28
2.2.1 Monokrystalické fotovoltaické moduly.....	29
2.2.2 Polykrystalické fotovoltaické moduly	29

2.2.3	Tenkvrstvé fotovoltaické moduly.....	29
2.2.4	Half-cell technologie	30
2.2.5	Výkonové optimizéry	31
2.3	FOTOVOLTAICKÉ STŘÍDAČE.....	32
2.3.1	MPPT regulátor.....	32
2.4	TECHNOLOGIE AKUMULACE ENERGIE.....	33
2.4.1	Bateriové úložiště	33
2.4.1.1	Technologie bateriových úložišť.....	34
2.4.2	Vodíkové úložiště.....	35
2.5	VLIV FOTOVOLTAIKY NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ.....	36

KAPITOLA 3: OPATŘENÍ KE SNIŽOVÁNÍ HLUKU Z DOPRAVY..... 37

3.1	ZDROJE HLUKU Z DOPRAVY.....	37
3.1.1	Zdroje hluku v silniční dopravě	38
3.1.2	Zdroje hluku v železniční dopravě.....	38
3.2	ÚTLUM HLUKU A ZVUKU.....	39
3.2.1	Útlum vlivem absorpce ve vzduchu.....	39
3.2.2	Útlum vlivem mlhy, deště a sněhu	39
3.2.3	Útlum způsobený gradienty teploty a větru	39
3.2.4	Útlum vlivem překážky.....	39
3.3	ÚČINKY HLUKU A JEHO VLIV NA OKOLÍ.....	40
3.4	STRATEGICKÉ HLUKOVÉ MAPOVÁNÍ A AKČNÍ PLÁNOVÁNÍ.....	41
3.5	TECHNOLOGIE DOPRAVNÍCH PROTIHLUKOVÝCH OPATŘENÍ.....	43
3.5.1	Protihlukové stěny	44
3.5.1.1	Betonové protihlukové stěny	46
3.5.1.2	Plastové protihlukové stěny	47
3.5.1.3	Dřevěné protihlukové stěny	47
3.5.1.4	Kovové protihlukové stěny	48
3.5.1.5	Sklovláknobetonové protihlukové stěny.....	48

KAPITOLA 4: TECHNOLOGIE FOTOVOLTAICKÝCH PROTIHLUKOVÝCH STĚN 49

4.1	TYPY KONFIGURACE FOTOVOLTAICKÝCH PROTIHLUKOVÝCH STĚN	49
4.2	FOTOVOLTAICKÁ PROTIHLUKOVÁ STĚNA S KAZETOVOU NOSNOU KONSTRUKCÍ FORSTER FONOCON SILENT SOLAR	52
4.2.1	Komponenty fotovoltaického systému s nosnou konstrukcí Forster FONOCON Silent Solar	54
4.2.2	Možný instalovaný výkon na délku fotovoltaické protihlukové stěny s nosnou konstrukcí Forster FONOCON Silent Solar	55
4.2.2.1	Měrné náklady na nosnou konstrukci Forster FONOCON Silent Solar na možný instalovaný výkon.....	56
4.3	FOTOVOLTAICKÁ PROTIHLUKOVÁ STĚNA S VRCHNÍ NOSNOU KONSTRUKCÍ KUPR SYSTEM	57
4.3.1	Možný instalovaný výkon na délku fotovoltaické protihlukové stěny s nosnou konstrukcí KuPr System.....	57
4.3.1.1	Měrné náklady na nosnou konstrukci KuPr System na možný instalovaný výkon	58

KAPITOLA 5: TECHNICKÝ POTENCIÁL INSTALOVANÉHO VÝKONU FOTOVOLTAICKÝCH PROTIHLUKOVÝCH STĚN..... 59

5.1	STANOVENÍ SOUHRNNÉ DÉLKY PROTIHLUKOVÝCH STĚN V JEDNOTLIVÝCH STÁTECH ..	59
5.1.1	Souhrnná délka protihlukových stěn v České republice	59

5.1.2	Souhrnná délka protihlukových stěn v Rakousku	60
5.1.3	Souhrnná délka protihlukových na Slovensku	60
5.1.4	Souhrnná délka protihlukových v Německu	60
5.1.5	Souhrnná délka protihlukových v Polsku	60
5.1.6	Souhrnná délka protihlukových v Nizozemsku	60
5.2	STANOVENÍ TECHNICKÉHO POTENCIÁLU INSTALOVANÉHO VÝKONU FOTOVOLTAICKÝCH PROTIHLUKOVÝCH STĚN	60
5.2.1	Potenciál výkonu v České republice	62
5.2.1.1	Potenciálně ušetřené emise CO ₂ využitím elektřiny vyrobené z fotovoltaických protihlukových stěn	62
5.2.1.2	Pilotní projekt fotovoltaické protihlukové stěny Osice	63
5.2.2	Potenciál výkonu v ostatních zkoumaných evropských státech.....	65
KAPITOLA 6: HODNOCENÍ EKONOMICKÉ EFEKTIVNOSTI PROJEKTU FOTOVOLTAICKÉ PROTIHLUKOVÉ STĚNY		67
6.1	INVESTICE DO FOTOVOLTAICKÉ PROTIHLUKOVÉ STĚNY	69
6.1.1	Model výroby elektrické energie	70
6.1.1.1	Ušetřené emise CO ₂ využitím elektřiny vyrobené z fotovoltaické protihlukové stěny Svojkovice	73
6.2	MODEL EKONOMICKÉ EFEKTIVNOSTI	73
6.2.1	Typové diagramy dodávky	73
6.2.2	Stanovení diskontní míry	75
6.2.3	Kritéria hodnocení ekonomické efektivity	77
6.2.3.1	Čistá současná hodnota	77
6.2.3.2	Vnitřní výnosová míra	78
6.2.3.3	Doba návratnosti.....	78
6.2.4	Varianty využití vyrobené elektřiny z fotovoltaické protihlukové stěny.....	79
6.2.4.1	Varianta využití energie č. 1 – prodej elektřiny na vnitrodenním trhu.....	79
6.2.4.2	Varianta využití energie č. 2 – energetická komunita	79
6.2.4.3	Varianta využití energie č. 3 - dobíjecí stanice pro elektromobily (s bateriovým úložištěm).....	81
6.2.4.4	Varianta využití energie č. 4 - dobíjecí stanice pro elektromobily (s vodíkovým úložištěm).....	82
6.2.4.5	Varianta využití energie č. 5 - dobíjecí stanice pro elektromobily (s vodíkovým úložištěm a s využitím odpadního tepla elektrolyzátoru).....	83
6.2.4.6	Varianta využití energie č. 6 - dobíjecí stanice pro elektromobily (s virtuální baterií).....	83
6.2.5	Stanovení doby životnosti projektu.....	84
6.2.6	Další předpoklady modelu.....	84
6.2.7	Výsledky modelu ekonomické efektivity.....	84
6.2.7.1	Vyšetření a optimalizace parametrů modelu pomocí doplňku Solver	87
6.2.7.2	Citlivostní analýza	87
ZÁVĚR.....		95
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY		97
SEZNAM ZKRATEK.....		106
SEZNAM OBRÁZKŮ		108
SEZNAM TABULEK.....		110

ÚVOD

Odvětví energetiky v Evropské unii momentálně prochází velmi dynamickým vývojem. Za hlavní znaky této transformace by se dala označit především snaha o zvýšení energetické nezávislosti a také o omezování negativních dopadů lidské činnosti na životní prostředí. Protože právě tento sektor se na tvorbě emisí podílí nejvíce, není překvapením, že na něj má aktuální klimatická politika významný dopad.

Hlavním cílem této diplomové práce bude pro vybraný projekt fotovoltaické protihlukové stěny navrhnout vhodnou konfiguraci fotovoltaického systému včetně různých variant akumulace energie a zjistit, zda je investice do takového projektu ekonomicky efektivní. V práci bude brán v úvahu také očekávaný budoucí vývoj energetické politiky EU a následně bude posouzen vliv na potenciální realizaci projektů fotovoltaických protihlukových stěn. Vzhledem k tomu, o jak obsáhlé téma se jedná, není v práci tohoto rozsahu možné provést detailní rozbor všech uvažovaných technologií. Obsahem této práce tedy bude spíše charakteristika dostupných technických řešení fotovoltaických systémů a jejich kombinace s protihlukovými stěnami a simulace ekonomického cyklu využití a vlivu vybraných faktorů v navrženém modelu.

První teoretická kapitola této práce bude věnována průzkumu vývoje tržního prostředí s komponenty pro fotovoltaické systémy, legislativního prostředí, legislativního prostředí pro instalaci fotovoltaiky do veřejného prostoru a důvodům, proč by projekty fotovoltaických protihlukových stěn mohly být financovány z veřejného sektoru. Proto je zde popsán i vliv obnovitelných zdrojů energie na trh s elektřinou a další systémové dopady. Za účelem opodstatnění významu fotovoltaiky zde bude popsán současný stav a také očekávaný budoucí vývoj v sektoru elektroenergetiky v EU s ohledem na aktuální klimatické cíle.

V dalších teoretických kapitolách budou probrány technické základy fungování zařízení potřebných pro zkoumaný projekt fotovoltaické protihlukové stěny.

Ve čtvrté kapitole budou nastíněny konkrétní možnosti konfigurace fotovoltaických protihlukových stěn. Jedná se tedy zejména o řešení nosných konstrukcí pro umístění fotovoltaických modulů na protihlukovou stěnu.

Pátá kapitola se bude zabývat stanovením technického potenciálu instalovaného špičkového výkonu fotovoltaických protihlukových stěn ve vybraných státech EU. K tomu budou využity údaje o délkách protihlukových stěn na silnicích a dálnicích i na železnici podle dostupnosti dat od příslušných státních institucí.

V poslední kapitole této práce bude popsán navržený technicko-ekonomický model s probráním potřebné teorie ke stanovení ekonomické efektivnosti variant vzorového projektu. Dále budou výsledky modelu ekonomické efektivnosti vyhodnoceny a budou vybrány nejvýhodnější varianty projektu. Na závěr bude provedena optimalizace instalovaného výkonu pro maximalizaci kritéria ekonomické efektivnosti a vyšetření vlivu vybraných rizikových vstupů do modelu pomocí jednodimenzionální i dvoudimenzionální citlivostní analýzy.

KAPITOLA 1: MOTIVACE INSTALACE FOTOVOLTAICKÝCH ELEKTRÁREN DO VEŘEJNÉHO PROSTORU

V roce 2015 byla schválena tzv. „nová aktualizovaná Státní energetická koncepce“, která je v roce 2023 v České republice stále nejnovějším dokumentem, který má na 25 let jasně artikulovat priority a strategické záměry státu v rámci celého sektoru energetiky a poskytnout tak investorům, občanům a státní správě stabilitu v tomto odvětví. Podle Státní energetické koncepce (SEK) jsou vrcholové strategické cíle energetiky ČR:

- **„bezpečnost** dodávek energie – zajištění nezbytných dodávek energie pro spotřebitele v běžném provozu i při skokové změně vnějších podmínek (výpadky dodávek primárních zdrojů, cenové výkyvy na trzích, poruchy a útoky) v kontextu EU; cílem je garantovat rychlé obnovení dodávek v případě výpadku a současně garantovat plné zajištění dodávek všech druhů energie v rozsahu potřebném pro nouzový režim fungování ekonomiky a zásobování obyvatelstva při jakýchkoliv nouzových situacích,
- **konkurenceschopnost** energetiky a sociální přijatelnost – konečné ceny energie (elektřina, plyn, ropné produkty) pro průmyslové spotřebitele i pro domácnosti srovnatelné v porovnání se zeměmi regionu a dalšími přímými konkurenty,
- **udržitelnost** (udržitelný rozvoj) – struktura energetiky, která je dlouhodobě udržitelná z pohledu životního prostředí (nezhoršování kvality ŽP), finančně-ekonomického (finanční stabilita energetických podniků a schopnost zajistit potřebné investice do obnovy a rozvoje), lidských zdrojů (vzdělanost) a sociálních dopadů (zaměstnanost) a primárních zdrojů (dostupnost).“^[19]

Tato kapitola přináší analýzu, zda je na základě SEK a na ni provázaných strategických dokumentů užitečné, aby se státní instituce zabývaly tématem energetického využití protihlukových stěn a uvažovaly o financování projektů instalace fotovoltaických elektráren na protihlukové stěny z veřejného sektoru.

1.1 Vývoj trhu s komponenty pro fotovoltaické elektrárny

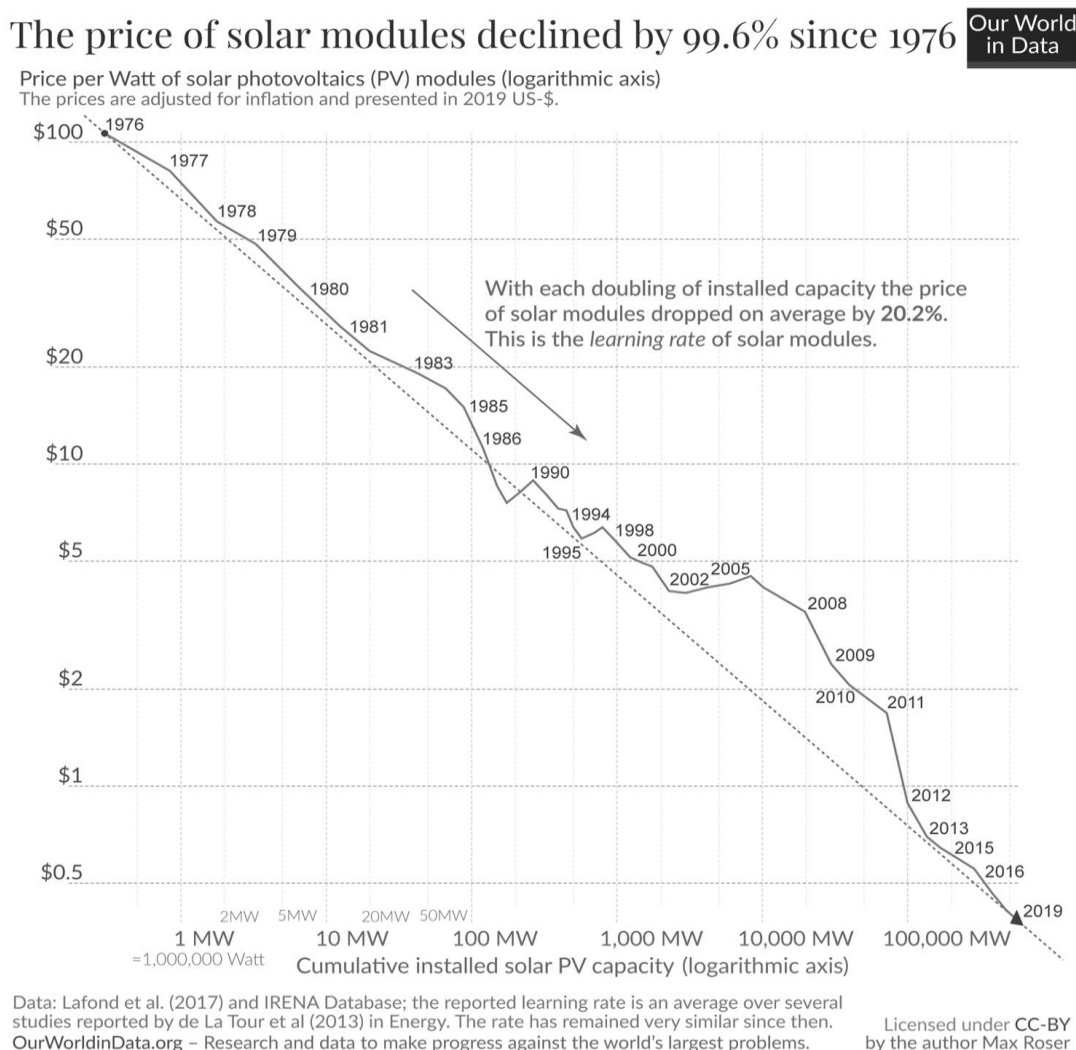
Mnohé závěry v této podkapitole vychází ze zahraničních výzkumů (Massachusetts Institute of Technology, University of Oxford apod.), ale jsou aplikovány na trh v České republice. Toto zjednodušení lze provést, protože trh s fotovoltaickými moduly i s většinou dalších komponentů pro fotovoltaické elektrárny (FVE) je natolik globalizován, že např. studie ze Spojených států na toto téma lze aplikovat i na český trh (na rozdíl např. od ekonomiky uhelných elektráren). Mnoho hlavních faktorů, které ovlivňují vývoj trhu s komponenty pro FVE v ČR i v zahraničí je totiž shodných. Jedná se zejména o náklady na materiály pro výrobu komponentů v Číně a náklady na námořní dopravu z Číny. Navíc do provozu FVE nevstupují žádné palivové náklady, které by mohly být specifické pro konkrétní lokaci.

1.1.1 Vývoj trhu s fotovoltaickými moduly

Vlivem technologického vývoje ve fotovoltaice a souvisejících oborech se za poslední desetiletí výrazně snížily náklady na nově instalovaný výkon FVE.^[20] Jak je patrné z obr. 1, který vychází z dat Mezinárodní agentury pro obnovitelnou energii (IRENA – International Renewable Energy Agency) od roku 1976, cena FV modulů v poměru k výkonu modulu očištěná o inflaci klesá průměrně o 20,2 % s každým dalším zdvojnásobením instalovaného výkonu FVE ve světě.^[21] Tento jev se nazývá Swansonův zákon^[22] a jedná se o speciální případ empirického pozorování tzv. křivky učení (learning curve)^[23] podobně jako např. Moorův zákon o exponenciálním růstu počtu tranzistorů v integrovaných obvodech.

Důvody dlouhodobého snižování cen FV modulů za poslední tři desetiletí se zabývá studie z Massachusetts Institute of Technology z roku 2018. [24] Odborný článek rozděluje příčiny poklesu cen FV modulů na tzv. „low-level“ a „high-level“, které vstupují jako proměnné do matematického modelu. Z low-level příčin se na poklesu cen podílí z 23 % zvýšení efektivity výroby, z 21 % pokles nákladů na jiné než křemíkové materiály, z 16 % cena křemíku, ze 14 % snížení spotřeby křemíku, z 11 % rozměry waferu (substrátového disku) a v modelu se vyskytuje mnoho dalších méně významných faktorů. Mezi high-level příčiny poklesu nákladů se řadí veřejný a soukromý výzkum, který přispěl z 59 %. Dále se jedná zejména o úspory z rozsahu, které se podílely z 22 % a úspory vyplývající z opakovaného výrobního procesu (např. nevyžadující experimentální výrobní linku pro prototypovou výrobu), které přispěly k poklesu nákladů ze 7 %.

Podle autorů studie důležitou roli hraje i státní dotační politika, která stimuluje růst trhu a výrazně se podílí na celkovém poklesu nákladů. Ta v celosvětovém měřítku zahrnuje opatření jako jsou výkupní (zelené) bonusy a různé dotační programy nebo standardy podílu obnovitelných zdrojů v energetickém mixu. [24]



Obr. 1 Vývoj ceny FV modulů v závislosti na rostoucím instalovaném výkonu FVE ve světě mezi lety 1976 až 2019 [20]

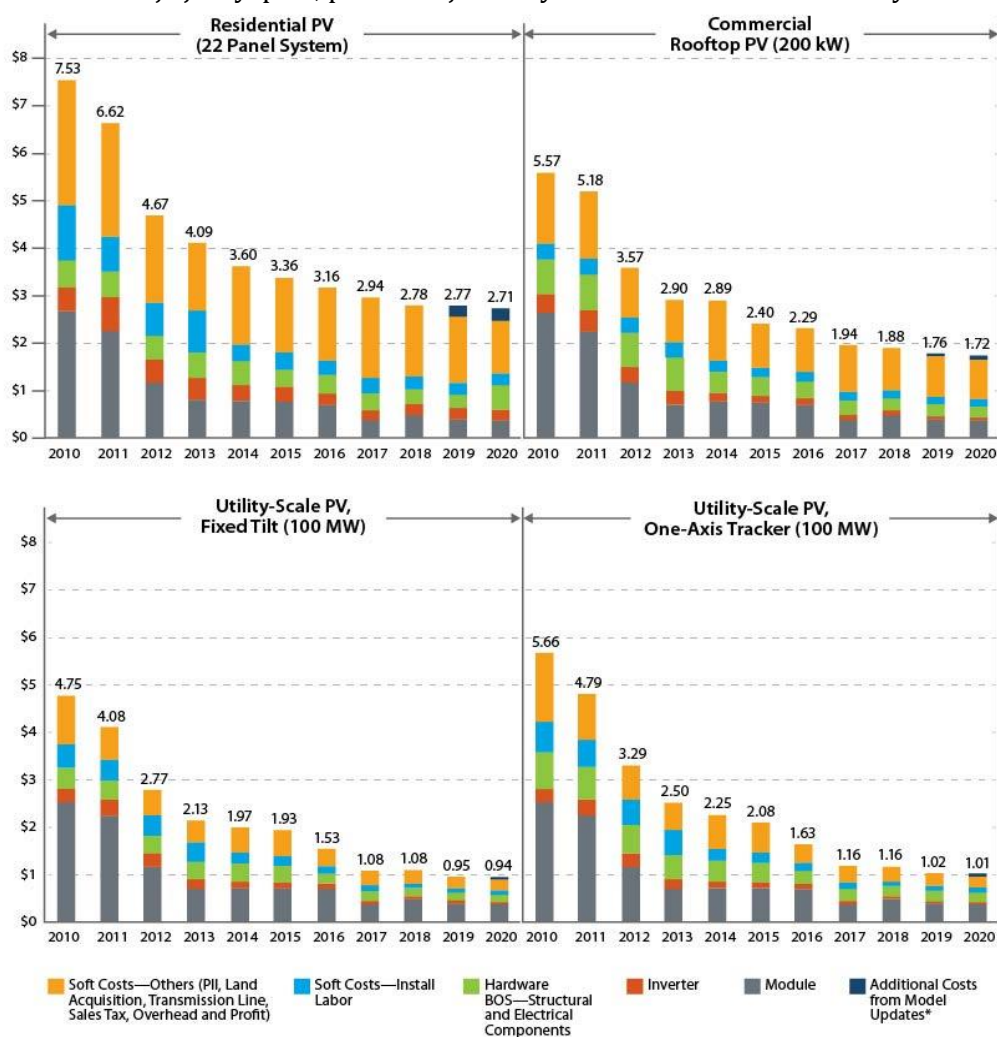
Naopak mezi lety 2020 až 2022 však došlo k výraznému růstu ceny FV modulů (až o 50 %). Zdražování na trhu začalo prakticky ihned po vypuknutí pandemie Covid-19. Nejprve se omezila výroba kvůli částečnému uzavření výroben v Číně na jaře 2020. Další negativní dopad na ceny panelů mělo zdražení námořní dopravy mezi Čínou a Evropou až na 12 000 EUR/kontejner (desetinásobek oproti počátku roku 2020). [26] Ceny fotovoltaických modulů reagují i na

zdražování vstupních materiálů (zejména cena polykrystalického i monokrystalického křemíku kvůli nedostatku na trhu stoupla o více než 300 %) a uzavírání výroben kvůli energetické krizi v Číně. [27] Dalším faktorem je prudký růst poptávky po FVE zejména pro rezidenční objekty v rámci opatření k ušetření nákladů na energii jako reakce na celosvětovou energetickou krizi. [25]

Růst cen v posledních letech však není zdaleka tak výrazný, aby obrátil desetiletí stálého poklesu nákladů na výstavbu FVE. Zvýšení investičních nákladů (CAPEX) pro nové FVE za poslední rok se vykompenzuje extrémním zdražením ceny silové elektřiny v Evropě, proto ekonomická rentabilita FVE zůstane zachována. Česká republika tak díky novým dotacím mj. z Modernizačního fondu, Národního plánu obnovy a Fondu na spravedlivou transformaci v řádu stovek miliard vstoupila do nové vlny fotovoltaického rozvoje.

1.1.2 Vývoj trhu s ostatními komponenty pro fotovoltaické elektrárny

Dlouhodobý trend vývoje cen dalších komponent pro výstavbu FVE mimo FV modulů (tzv. BOS – balance of system) jako jsou střídače, kabeláž či nosná konstrukce je klesající stejně jako dlouhodobý trend vývoje ceny FV modulů. [28] Zatímco náklady na FV moduly klesají výrazněji, náklady na BOS nevykazují stejnou míru poklesu. Důvodem je, že do technologie FV článků byly vloženy vysoké investice. Technologie FV článků se stále vyvíjí a zlepšuje a náklady na výrobu se snižují. BOS tvoří do velké míry položky z oborů, které nejsou specifické pro FV. Např. technologie nosných konstrukcí je již vyspělá, proto má jen malý užitek z dalších inovací a výzkumu.



Obr. 2 Vývoj cen jednotlivých složek nákladů na výstavbu nového instalovaného výkonu FVE mezi lety 2010 až 2020 [28]

Jak je však patrné z obr. 2, podle studie, kterou zpracovala Národní laboratoř pro obnovitelnou energii (NREL – National Renewable Energy Laboratory) Ministerstva energetiky Spojených států, i komponenty BOS, stejně jako všechny ostatní vstupy včetně ceny montáže, přispěly mezi lety 2010 až 2020 k výraznému poklesu nákladů na výstavbu nového instalovaného výkonu FVE. To platí podle NREL pro rezidenční objekty i pro tzv. utility-scale¹ projekty. [28]

S ohledem na současný vývoj trhu s FV moduly a BOS se reálné CAPEX nových utility-scale FVE o výkonu 1 MWp v ČR pohybují v roce 2022 na úrovni 22 000 – 24 000 CZK/kWp. Nejistá je však dostupnost kvalitních komponentů od předních výrobců na českém trhu. [26]

1.1.3 Dlouhodobé měrné náklady na výrobu energie z fotovoltaických elektráren

Díky dlouhodobě klesajícím nákladům na výstavbu FVE, jak vyplývá z předchozích podkapitol, došlo ke snižování dlouhodobých měrných nákladů na výrobu energie (LCOE – levelized cost of energy) z FVE.

LCOE se používá k porovnávání různých způsobů výroby energie a plánování investic. Představuje průměrný výnos na jednotku vyrobené energie, který by byl nutný k pokrytí investičních nákladů na výstavbu, provozních nákladů a palivových nákladů výroby během její předpokládané doby životnosti. LCOE se určuje se jako poměr mezi všemi diskontovanými náklady za dobu životnosti výroby energie vydělené diskontovaným součtem skutečně dodaného množství energie. Vstupy do LCOE mohou zahrnovat náklady na kapitál, náklady na vyřazení z provozu, náklady na palivo, fixní a variabilní náklady na provoz a údržbu, náklady na financování a předpokládanou míru využití zdroje. [29]

Zjednodušený vztah pro výpočet dlouhodobých měrných nákladů na výrobu energie má následující tvar:

$$LCOE = \frac{a_T * CAPEX + OPEX + FEX}{W} \quad (1-1)$$

, kde *CAPEX* jsou kapitálové (investiční) náklady a likvidační náklady,
OPEX jsou provozní náklady,
FEX jsou palivové náklady a náklady na uhlíkovou daň (resp. náklady na emisní povolenky),
W je roční výroba energie,
a_T je annuita pro danou dobu životnosti a daný diskont.

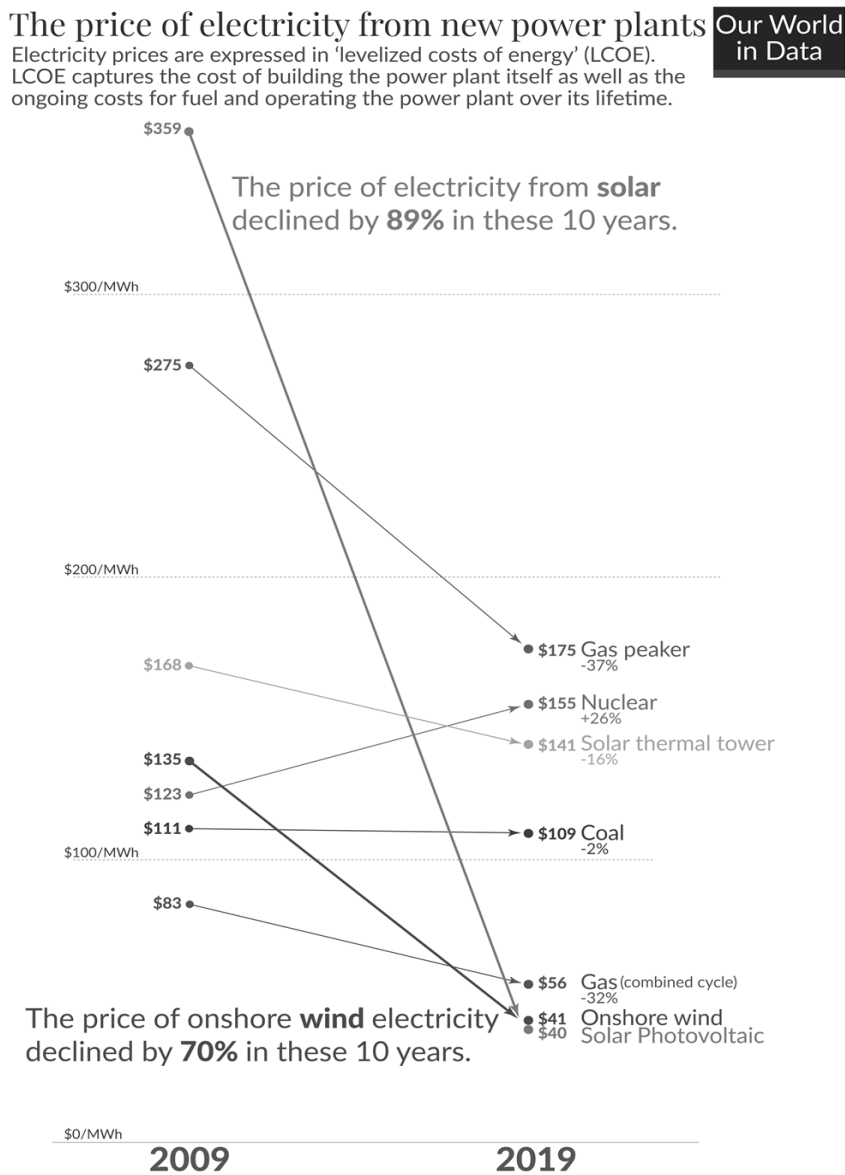
Zjednodušení tohoto vztahu spočívá v tom, že neuvažuje cenový vývoj položek OPEX a FEX. Dále neuvažuje změny v roční výrobě, rozdílné způsoby financování, odpisování apod. a neuvažuje dotace a podpory (investiční ani provozní). [30]

Jak je patrné z obr. 3, který vychází z dat každoroční analýzy LCOE od konzultantské společnosti Lazard Ltd, mezi lety 2009 až 2019 pokleslo LCOE z FVE o 89 %. [31] To je způsobeno kombinací již zmíněného dlouhodobého poklesu investičních nákladů na výstavbu nového instalovaného výkonu FVE a nulových palivových nákladů na výrobu elektřiny z FVE. Provozní náklady FVE jsou v porovnání s fosilními zdroji energie téměř nulové.

LCOE se uvádí jako vhodné souhrnné měřítko celkové konkurenceschopnosti různých zdrojů energie, má však značná omezení. Rozhodování o investici do výstavby zdroje elektřiny zahrnuje

¹ Jako utility-scale výroby se označují FVE s výkonem přes 1 MWp.

faktory, které se v LCOE neodrážejí. LCOE totiž popisuje pouze náklady výroby na prahu zdroje. To znamená bez nákladů na přenos a distribuci, bez nákladů na řízení soustavy (systémové služby) a bez nákladů na zajištění spolehlivosti. [30] V LCOE se neprojeví schopnost různých zdrojů energie uspokojit poptávku po energii v různých denních dobách na základě flexibility nebo naopak intermitentní charakter výroby typický pro některé obnovitelné zdroje energie, jak je blíže popsáno v dalších podkapitolách (1.3 Energetická politika Evropské unie a České republiky).



Data: Lazard Levelized Cost of Energy Analysis, Version 13.0. Licensed under CC-BY by the author Max Roser. OurWorldinData.org - Research and data to make progress against the world's largest problems.

Obr. 3 Vývoj LCOE jednotlivých typů elektráren mezi lety 2009 až 2019 [20]

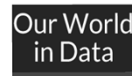
1.2 Vývoj trhu se zařízeními pro akumulaci energie

Fotovoltaika je intermitentním² zdrojem elektřiny, a protože elektřina není klasickou komoditou, je nutné zajišťovat neustálý soulad mezi její výrobou a spotřebou. [30] Jedním z možných opatření

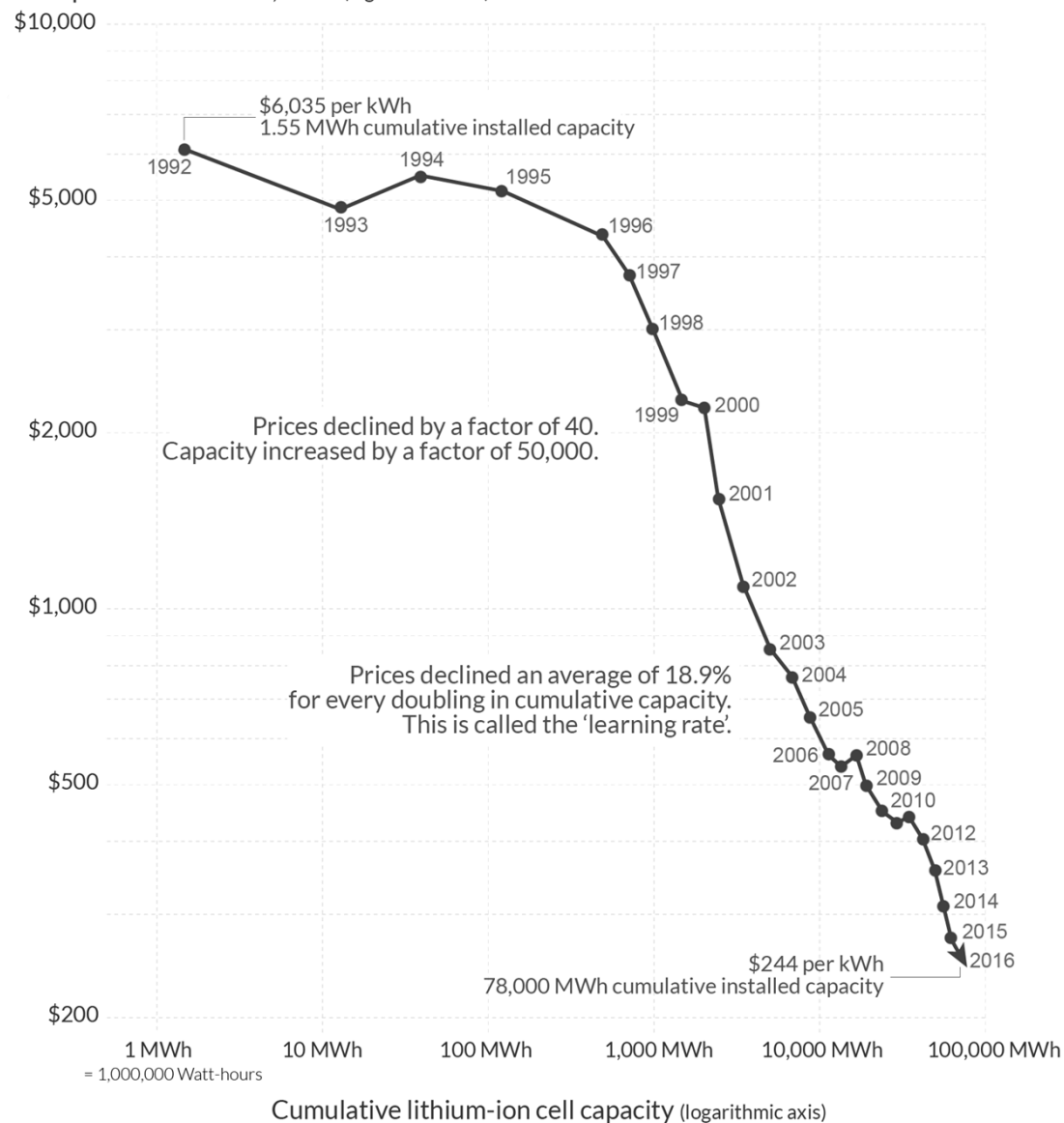
² Intermitentní zdroje nevyrábí energii nepřetržitě kvůli externím faktorům, které nelze ovlivnit a jejichž podmínky se mění v poměrně krátkém časovém měřítku. Mezi intermitentní zdroje elektřiny patří fotovoltaika, větrná energie, přílivová energie a energie mořských vln. [32]

přispívajících k řešení je doplňovat intermitentní zdroje zařízeními pro akumulaci energie. To je možné ať už na úrovni např. menšího bateriového úložiště u samotné FVE nebo na úrovni utility-scale úložiště jako např. přečerpávací vodní elektrárny.

Price and market size of lithium-ion batteries since 1992



Price per kilowatt-hour; kWh (logarithmic axis)



Prices are adjusted for inflation and given in 2018 US-\$ per kilowatt-hour (kWh).
 Source: Micah Ziegler and Jessica Trancik (2021). Re-examining rates of lithium-ion battery technology improvement and cost decline.
 OurWorldinData.org - Research and data to make progress against the world's largest problems. Licensed under CC-BY by the author Hannah Ritchie.

Obr. 4 Vývoj ceny lithium-iontových baterií mezi lety 1992 až 2016 [20]

Stejně jako cena FV komponentů sleduje i cena elektrochemické akumulace energie již zmíněnou křivku učení a dlouhodobě klesala. Jak je patrné z obr. 4, cena v poměru k velikosti lithium-iontového (Li-ion) bateriového úložiště očištěná o inflaci klesá od roku 1992 průměrně o 18,9 % s každým dalším zdvojnásobením kumulované velikosti Li-ion baterií ve světě. [20]

Mezi lety 2020 až 2022 ale i cena baterií založených na lithiu prudce stoupla ze stejných důvodů jako cena FV komponentů (viz kapitola 1.1 Vývoj trhu s komponenty pro fotovoltaické elektrárny). Roste proto i význam alternativních technologií akumulace energie jako je Power-to-gas (P2G) nebo jiné experimentální technologie využívající např. roztavené soli nebo zahřátého

písku. Technologie P2G využívá přeměny elektrické energie na energii chemicky vázanou v podobě plynného média, které je na rozdíl od elektrické energie skladovatelné. Nejčastěji je tímto médiem vodík či metan. [33]

1.3 Energetická politika Evropské unie a České republiky

1.3.1 Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu

Na základě požadavků Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/1999 o správě energetické unie a opatření v oblasti klimatu [34] byl připraven Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu (také označován jako Národní klimaticko-energetický plán). [38] Povinnost přípravy Vnitrostátního plánu v oblasti energetiky a klimatu vyplývá z článku 3 nařízení EU o správě energetické a opatření v oblasti klimatu, které vstoupilo v platnost 24. prosince 2018. Dokument obsahuje cíle a politiky ve všech pěti rozměrech energetické unie na období 2021-2030 s výhledem do roku 2050.

Skrze tento dokument mají členské státy mimo jiné povinnost informovat Evropskou komisi o vnitrostátním příspěvku ke schváleným evropským klimaticko-energetickým cílům. Stěžejní část Vnitrostátního plánu tvoří nastavení příspěvku ČR k cílům EU v oblasti snižování emisí, zvyšování podílu obnovitelných zdrojů energie a zvyšování energetické účinnosti. Vnitrostátní plán vychází ze dvou hlavních strategických dokumentů, Státní energetické koncepce ČR, schválené v roce 2015 [19] a Politiky ochrany klimatu v ČR schválené v roce 2017. Struktura a náležitosti Vnitrostátního plánu respektují výše zmíněné nařízení.

V oblasti snižování emisí skleníkových plynů je stanoven celoevropský cíl na úrovni 43 % snížení emisí skleníkových plynů v porovnání s rokem 2005 v sektorech spadajících do systému obchodování s emisemi (EU ETS – European Union Emissions Trading System) a o 30 % v sektorech mimo EU ETS. Cílem ČR je snížit celkové emise skleníkových plynů do roku 2030 o 30 % v porovnání s rokem 2005, což odpovídá snížení emisí o 44 milionů tun ekvivalentu CO₂. Vnitrostátní plán také obsahuje dlouhodobé indikativní cíle do roku 2050, které vycházejí ze schválené Politiky ochrany klimatu. Podle emisních projekcí dojde při naplnění politik a opatření obsažených ve Vnitrostátním plánu k poklesu emisí skleníkových plynů na úrovni 34 % (v porovnání s rokem 2005).

Součástí rozměru dekarbonizace je také oblast obnovitelných zdrojů energie. Zde byl odsouhlasen celoevropský cíl do roku 2030 na úrovni 32 % vyjádřený jako podíl obnovitelných zdrojů na hrubé konečné spotřebě energie. Přepracované znění směrnice 2018/2001 o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů dále obsahuje požadavky na podcíle v sektoru vytápění a chlazení a sektoru dopravy. Česká republika navrhuje příspěvek k evropskému cíli do roku 2030 na úrovni 22 %. Mezi hlavní politiky pro naplnění navrženého příspěvku patří politiky zakotvené v novele zákona č. 165/2012 Sb. o podporovaných zdrojích energie, která nastavuje nové schéma podpory obnovitelných respektive podporovaných zdrojů. Pro naplňování navrhovaného příspěvku v oblasti obnovitelných zdrojů budou důležité také další politiky nad rámec zmíněného návrhu novely zákona.

V oblasti energetické bezpečnosti vychází Vnitrostátní plán zejména z cílů a politik obsažených ve schválené Státní energetické koncepci ČR. V rámci rozměru energetické bezpečnosti neexistují žádné vrcholové cíle na evropské úrovni, i když existuje řada požadavků vyplývajících z evropské legislativy, kupříkladu z nařízení o opatřeních na zajištění bezpečnosti dodávek zemního plynu. Za hlavní cíle je možné označit zvýšení diverzifikace energetického mixu, zachování soběstačnosti v zásobování elektřinou, zajištění dostatečnosti rozvoje energetické infrastruktury a významné nezvyšování dovozní závislosti. V případě dovozní závislosti bude však s vysokou pravděpodobností docházet k postupnému zvyšování, a to v důsledku snížení využití domácího hnědého a černého uhlí a souvisejícího zvýšení dovážených energetických komodit.

S ohledem na rozměr vnitřního trhu s energií lze jako podstatné vnímat splnění cíle v oblasti interkonektivity elektrizační soustavy na úrovni 15 % do roku 2030. ČR má za cíl udržení importní respektive exportní kapacity přenosové soustavy mimo jiné pro rok 2030 v poměru k maximálnímu zatížení na úrovni alespoň 30 %, respektive 35 %, což ve vyjádření k instalovanému výkonu odpovídá cíli na úrovni 15 %. Interkonektivita ČR se již nyní pohybuje na úrovni téměř 30 %, ČR tedy nepovažuje za nutné zavádět další specifické politiky v této oblasti. Integrace energetického trhu a rozvoj infrastruktury je již nyní významně harmonizován na úrovni EU. Další harmonizace je jasně dána evropskou legislativou, ve které je také zakotvena většina informačních a plánovacích povinností, jedná se kupříkladu o povinnost přípravy tzv. desetiletých plánů rozvoje přenosové a přepravní soustavy. V rámci Vnitrostátního plánu je popsán současný stav a očekávaný rozvoj tržní integrace a rozvoje energetické infrastruktury.

Pátým rozměrem tzv. energetické unie je rozměr zaměřený na výzkum, inovace a konkurenceschopnost. Česká republika v tomto ohledu nemá stanoveny specifické kvantifikovatelné cíle v oblasti veřejného výzkumu, vývoje a inovací související specificky s energetickou unií. Výzkum, vývoj a inovace v oblasti udržitelné energetiky jsou však jednou z prioritních oblastí klíčových strategických dokumentů, jako je Národní výzkumná a inovační strategie pro inteligentní specializaci ČR a Národní priority orientovaného výzkumu, experimentálního vývoje a inovací. ČR se také snaží při vytváření priorit v této oblasti zohledňovat priority na úrovni EU, zejména tedy priority tzv. Evropského strategického plánu pro energetické technologie. Vyčíslení přesné úrovně veřejného financování výzkumu, vývoje a inovací směřujících do nízkouhlíkových technologií není možné pro ČR přesně stanovit. Vnitrostátní plán však uvádí odhad veřejných financí alokovaných v rámci sektoru energetiky.

Celkové investice spojené s naplněním Vnitrostátního plánu ČR v oblasti energetiky a klimatu se odhadují na úrovni nižších jednotek miliard korun. Tyto investice byly detailněji vyčísleny s ohledem na plnění cíle v oblasti OZE a energetické účinnosti. Celkové náklady spojené s rozvojem obnovitelných zdrojů energie odpovídají téměř 900 mld. CZK. V tomto ohledu je vhodné zdůraznit, že jedná o náklady na úrovni veřejné podpory, celkové investice budou vyšší než uvedená částka. Dosažení cíle meziročních úspor (dle článku 7 směrnice 2012/27/EU o energetické účinnosti) je spojeno s celkovými investicemi ve výši 634,5 mld. CZK a alokací ve výši 157,8 mld. CZK z veřejných zdrojů. Dodatečné investice (veřejné prostředky) bude nutné dále vynaložit na plnění článku 3 směrnice o energetické účinnosti. Ostatní dimenze budou také spojeny s dalšími dodatečnými investicemi, jedná se zejména o rozvoj infrastruktury. ^[38]

1.3.2 Fit for 55

Fit for 55, balíček legislativních návrhů, který podporuje snížení emisí skleníkových plynů o 55 % do roku 2030 oproti roku 1990, byl Evropskou komisí představen v červenci 2021. Balíček obsahuje jak návrhy upravující stávající směrnice či nařízení, tak úplně nové legislativní návrhy, přičemž se zaměřuje na oblasti, jako je EU ETS, uhlíkové vyrovnání na hranicích, energetiku a paliva či využívání půdy a lesnictví. V neposlední řadě pak přináší podpůrná opatření, jejichž cílem je učinit transformaci sociálně spravedlivější. Navrhovaná opatření by měla přinést nové příležitosti pro investice, inovace a tvorbu pracovních míst. ^[39]

1.3.2.1 Kontext vzniku balíčku Fit for 55

Fit for 55 je součástí širší strategie EU k dosažení uhlíkové (klimatické) neutrality do roku 2050 známé jako tzv. Zelená dohoda pro Evropu (European Green Deal). Zelená dohoda byla představena Evropskou komisí v roce 2019, načež byla v roce 2020 odsouhlasena členskými zeměmi. V létě 2021 pak nabyl účinnosti Evropský právní rámec pro klima, známý též jako Evropský klimatický zákon (European Climate Law), který činí dosažení uhlíkové neutrality do roku 2050 právně závazným. Součástí tohoto zákona je i střednědobý cíl, který EU zavazuje ke

snížení emisí skleníkových plynů o 55 % do roku 2030 oproti roku 1990, přičemž jeho dosažení má zajistit právě balíček Fit for 55. [39]

Opatření vychází z předpokladu, že pro udržení globálního oteplení pod hranicí 1,5 °C vzhledem k předindustriálnímu období je potřeba do roku 2030 snížit emise skleníkových plynů na polovinu celosvětově, nejen v rámci EU. Evropská unie (EU-27, bez Spojeného království) se v roce 2020 na těchto emisích podílela 7,5 %. V absolutních číslech země EU v témže roce vyprodukovaly 2,6 miliardy tun emisí CO₂, čímž se zařadily na třetí místo za Čínu a USA. [40]

1.3.2.2 Principy balíčku Fit for 55

Navrhovanými opatřeními v balíčku Fit for 55 prostupují následující principy:

- **Přiměřenost a účinnost opatření** – navrhovaná opatření jsou založena na tržních mechanismech i regulacích.
- **Znečišťovatel platí** – firmy nesou náklady emisí, které produkují, což je motivuje k zavádění čistých technologií. Tento princip je podporován zejména systémem obchodování s emisními povolenkami.
- **Solidarita** – cílená a systematická podpora skupin obyvatel, které mohou být opatřeními nepřiměřeně zasaženy (např. zdražováním energií, ztrátou zaměstnání apod.). [39]

1.3.2.3 Konkrétní návrhy opatření balíčku Fit for 55

Jednotlivá navrhovaná opatření lze rozdělit do tří skupin. První skupinu tvoří tzv. tržní mechanismy, které zahrnují zejména evropský systém obchodování s emisními povolenkami (EUA – European Union Allowance), kde Komise navrhuje zahrnutí dalších odvětví (námořní dopravy, silniční dopravy a budov), rozšíření povolenek v oblasti letecké dopravy a rychlejší snižování množství povolenek v oběhu. Zároveň Komise stanovuje, že všechny výnosy z povolenek budou členské státy povinny použít na opatření související se změnou klimatu (dosud šlo o 50 %). Dále Komise navrhuje zavedení mechanismu uhlíkového vyrovnání na hranicích (CBAM – Carbon Border Adjustment Mechanism), který by měl zajistit zpoplatnění vysokouhlíkových dovozů. To se má týkat zejména například cementu nebo oceli tak, aby dovozci ze třetích zemí byli zatíženi stejnými poplatky za emise jako výrobci v EU. Tyto dovozy aktuálně tvoří 2 % všech dovozů. Dovozy do EU by si tedy museli zakoupit certifikáty podle emisní náročnosti komodit (pokud je již neuhradili ve třetí zemi). Zmíněná opatření reflektují princip „znečišťovatel platí“.

Další sada opatření spadá pod cíle a regulace, které zahrnují revizi stávající směrnice o obnovitelných zdrojích energie, kdy by mělo dojít k navýšení jejich požadovaného podílu na výrobě energie na 40 % do roku 2030, a směrnice o energetické účinnosti, která upravuje cíl snížit spotřebu primární energie oproti očekávaným hodnotám v roce 2030 na 39 %. Další návrhy zahrnují přísnější emisní předpisy pro osobní automobily a dodávky, budování nové infrastruktury pro alternativní paliva a iniciativy pro udržitelnější letecká paliva a čistší námořní paliva. Součástí balíčku je rovněž revize nařízení o sdílení úsilí, která navyšuje cíl snížení emisí v sektorech mimo systém EU ETS o 40 % do roku 2030 oproti roku 2005. V prosinci 2021 Komise představila návrhy zaměřující se na energetickou náročnost budov, snižování v metanu v energetice a vnitřní trh s plyny z obnovitelných zdrojů, se zemním plynem a s vodíkem.

Třetí skupinu návrhů tvoří podpůrná opatření. K zajištění sociálně spravedlivé a solidární transformace Komise navrhuje vznik nového Sociálního klimatického fondu, jehož prostředky budou namířeny ke skupinám obyvatel, které budou z důsledku transformace hospodářství zranitelnější. Část příjmů fondu bude tvořena výnosy z obchodování s emisními povolenkami, část budou tvořit příspěvky členských zemí. Solidarita je namířena i směrem k zemím s vyšší závislostí na fosilních palivech a nižším HDP, pro které budou k dispozici prostředky z posíleného Modernizačního a Inovačního fondu.

Jak uvádí Komise, ^[39] legislativní návrhy vychází z analýzy posouzení dopadů, která ukazuje, že „přílišné spoléhání na posílené regulační politiky by vedlo ke zbytečně vysoké ekonomické zátěži, zatímco samotné stanovování cen uhlíku by neodstranilo přetrvávající selhání trhu a netržní překážky.“ Proto je balíček tvořen kombinací tržních mechanismů i regulací a zároveň nezbytných podpůrných opatření. Návrhy ve většině případů neobsahují jednu konkrétní technologii, ale zpravidla podporují paletu několika technologií, případně stanovují pouze cíl a způsob jeho dosažení nechávají volný.

1.3.3 Prioritní oblast výzkumu, vývoje a inovací na základě Státní energetické koncepce ČR – obnovitelné (alternativní) zdroje energie

Jednou z tzv. prioritních oblastí výzkumu, vývoje a inovací na základě Státní energetické koncepce ČR jsou obnovitelné (alternativní) zdroje energie. Detailnější popis podle Vnitrostátního plánu České republiky v oblasti energetiky a klimatu tuto oblast definuje jako účinnější využití biomasy, rozvoj pokročilých biopaliv vyrobených z nepotravinářské biomasy a odpadů, rozvoj nových fotovoltaických systémů včetně řídicích prvků, geotermálních zdrojů v geologických podmínkách ČR, energetické využití vodíku včetně palivových článků, tepelná čerpadla všech kategorií s vysokou účinností. ^[38]

Uvažovaný projekt fotovoltaických elektráren na protihlukové stěny tedy podle předchozích podkapitol odpovídá v rámci rozvoje nových fotovoltaických systémů nejen Státní energetické koncepci, klimaticko-energetickým cílům EU, ale i Vnitrostátnímu plánu České republiky v oblasti energetiky a klimatu. Lze tedy uvažovat jeho podpoření z přepokládaných prostředků na úrovni veřejné podpory spojených s rozvojem obnovitelných zdrojů energie podle odhadu veřejných financí alokovaných v rámci sektoru energetiky z Vnitrostátního plánu.

1.3.4 Agregace flexibility

Trhy s elektřinou v rámci Evropské unie postupně směřují ke stále užšímu propojení. Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu ^[38] v tomto směru sleduje cíl 15 % propojení elektroenergetických soustav v roce 2030. V souladu s těmito požadavky postupují snahy o propojení denních a vnitrodenních trhů v rámci platform a projektů. ČR se již nyní účastní na denním česko-slovensko-maďarsko-rumunském trhu s elektřinou (4M MC).

Vládní analytické a strategické dokumenty očekávají postupnou přeměnu zdrojové základny ČR a zároveň změnu charakteru spotřeby. ^[19] Jednou z interpretací dopadů takového vývoje je pokles disponibilního výkonu pod průměrné zatížení elektrizační soustavy ČR, ze kterého lze odvodit riziko změny pozice ČR z exportní na importní již v tomto desetiletí podle postupu útlumu jednotlivých elektráren. V jednotlivých scénářích budoucího vývoje energetiky je deficit instalovaného výkonu ve větší či menší míře nahrazován zdroji obnovitelnými, plynovými či jadernými. Mění se i chování spotřebitelů a část instalovaného výkonu se umísťuje dovnitř odběrných míst. Rozkolísanost zatížení by dále mohl umocnit rozvoj elektromobility. ^[41]

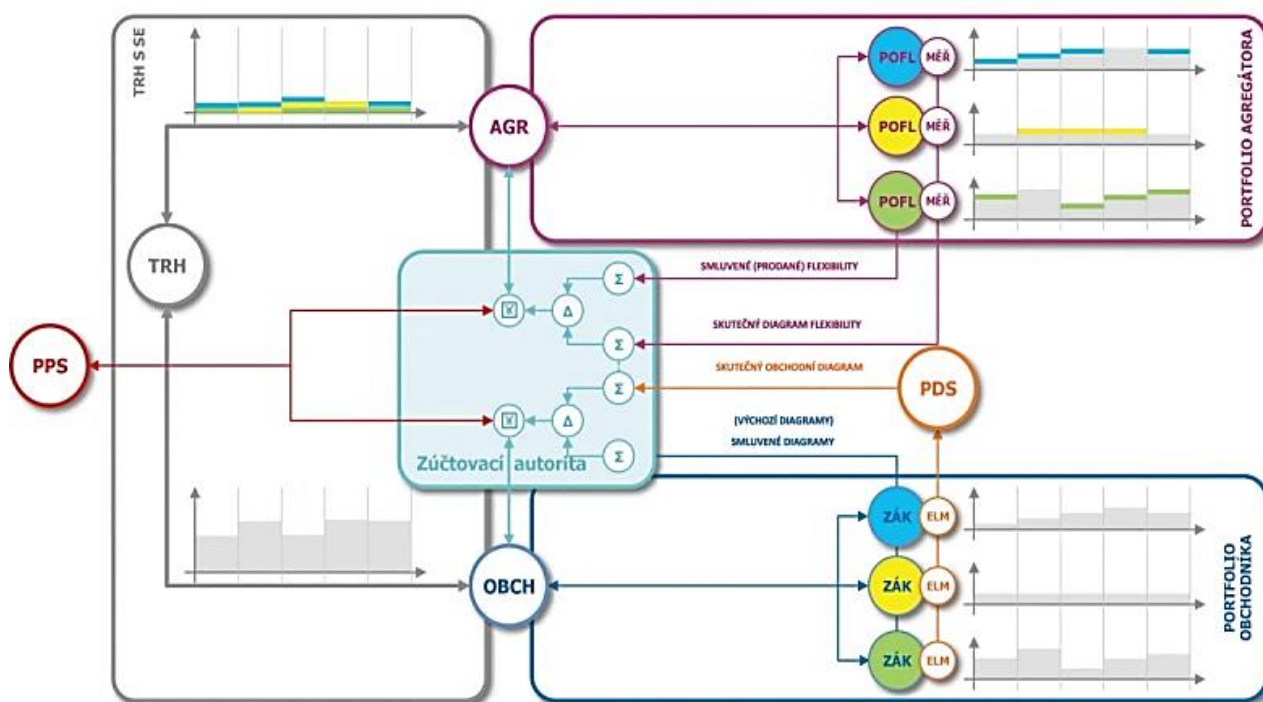
Modelování různých kombinací scénářů vývoje dospívá k několika společným znakům v oblasti dynamiky bilanční rovnováhy:

- dochází ke snižování diagramu residuálního zatížení, klimaticky závislé zdroje (teplárny, obnovitelné zdroje energie) utlačují prostor pro nasazení říditelných zdrojů, které jsou mimo obchodní dodávku elektřiny využívány i pro dodávku podpůrných služeb (PpS),

- roste velikost mezihodinových změn diagramu residuálního zatížení³, které si vynucuje potřebu rychlých PpS,
- zkracují se časové úseky s velkým rozdílem mezi minimem a maximem diagramu residuálního zatížení, což si vynucuje velké kapacity PpS s nízkým časovým využitím.

V kombinaci s energetickými politikami sousedních států tak ČR čelí riziku poklesu dostupnosti a kvality služeb pro zajištění výkonové rovnováhy v souladu s Energetickým zákonem. [48]

Mimo různé formy ukládání elektrické energie její konverzí (do energie mechanické, chemické apod.) získává na významu koncept agregace výkonové flexibility. Těmto tématům se v teoretické i praktické rovině v ČR intenzivně věnují projekty SecureFlex [43][44] a DFLEX [45] společně řešené Českým institutem informatiky, robotiky a kybernetiky ČVUT.



Obr. 5 Zjednodušené schéma vztahů na trhu s Podpůrnými službami s obchodníkem a nezávislým agregátorem při zúčtování skutečně poskytnuté flexibility s využitím podružného měření [42]

Flexibilita představuje schopnost zařízení (spotřebujících, vyrábějících nebo skladujících el. energii) měnit v reakci na povel nebo cenové signály množství (odebírané nebo dodávané) energie oproti sjednaným či předpokládaným diagramům. [38] Příkladem flexibilní výroby mohou být paroplynové elektrárny. Příkladem flexibilní spotřeby může dobíjení elektromobilů, chlazení skladů nebo topení v budovách. Historicky k řízení spotřeby v ČR slouží hromadné dálkové ovládání (HDO) velkého množství bojlerů, akumulčních kamen anebo dnes stále častěji využívaných tepelných čerpadel. Pro potřeby regulace sítě je však tento nástroj zastaralý, a to hlavně z toho důvodu, že neposkytuje žádnou postupnou výkonovou regulaci. Přijímač HDO umístěný v rozvaděči odběratele přes relé pouze buď spíná přímo velké spotřebiče anebo přepíná odběrový tarif. Takto vybavená distribuční síť může pokyny přes HDO řídit odběr, a tím zatížení soustavy. Podobné systémy existují i v zahraničí jako např. DRED (demand enabled response)

³ Residuální zatížení je zatížení po odečtení výroby z FVE, výroby z VTE, vynucené výroby při kogeneraci a salda zahraničních výměn. [44]

v Austrálii. Jde ale také o to, zda koncový zákazník tyto pokyny dokáže využít a jestli je vůbec kapacita a požadavek nějaký odběr uskutečnit. Potenciál regulace spotřeby, a tím poskytování flexibility, je však velký.

Agregace flexibility do poskytování PpS probíhá dnes formou obchodního bloku složeného z výrobních zařízení charakteru převážně točivých strojů, případně doplněných o akumulaci. Rozvoj poskytování PpS z distribuovaných zařízení netočivého charakteru a zároveň udržení kvality a důvěryhodnosti služeb poskytovaných agregátorem prostřednictvím aktivního řízení rozsáhlé množiny drobných poskytovatelů flexibility (POFL), zkrácení obchodního intervalu na ¼ hodiny, intenzivnější zapojení národních hráčů do propojených velkoobchodních trhů EU, zapojení poskytovatelů do agregace flexibility a jejich efektivnější a transparentní motivace by s sebou měly přinést další zvýšení efektivity a likvidity trhů s energiemi a flexibilitou.

Agregace flexibility (zejména na straně spotřeby) tedy vytváří prostor pro vyšší penetraci intermitentních zdrojů (včetně FV) v energetickém mixu.

1.3.5 Energy-only market

Na trhu s elektřinou se aktuálně pro sesouhlasení nabídky a poptávky a pro tvorbu ceny používá seřazení zdrojů podle tzv. merit order, do kterého vstupují krátkodobé marginální náklady jednotlivých zdrojů. Jedná se o neekonomičtější způsob okamžitého řazení již postavených zdrojů pro jejich nasazování (tzv. energy-only market – trh pouze s energií). Předpokladem modelu je, že trh zajistí krátkodobou optimalizaci (efektivní alokaci potřebné produkce mezi existující kapacitami).^[46]

1.3.5.1 Krátkodobé marginální náklady

Marginální náklady jsou definovány jako přírůstek nákladů vyvolaných mezním přírůstkem poptávky (produkce).

Krátkodobé marginální náklady (SRMC – short-run marginal cost) jsou definovány jako přírůstkové výrobní a dopravní náklady vyvolané přírůstkem dodávky při nezměněné kapacitě výrobního a dopravního zařízení. Obsah SRMC lze rozšířit i o ztrátu způsobenou nedodávkou elektřiny. Z krátkodobého hlediska tedy platí vztah:

$$FC = konst. \rightarrow MC = \frac{dVC}{dQ} \quad (1-2)$$

, kde FC jsou fixní náklady,

MC jsou marginální náklady,

dVC je derivace variabilních nákladů podle objemu vyráběné energie dQ .^[51]

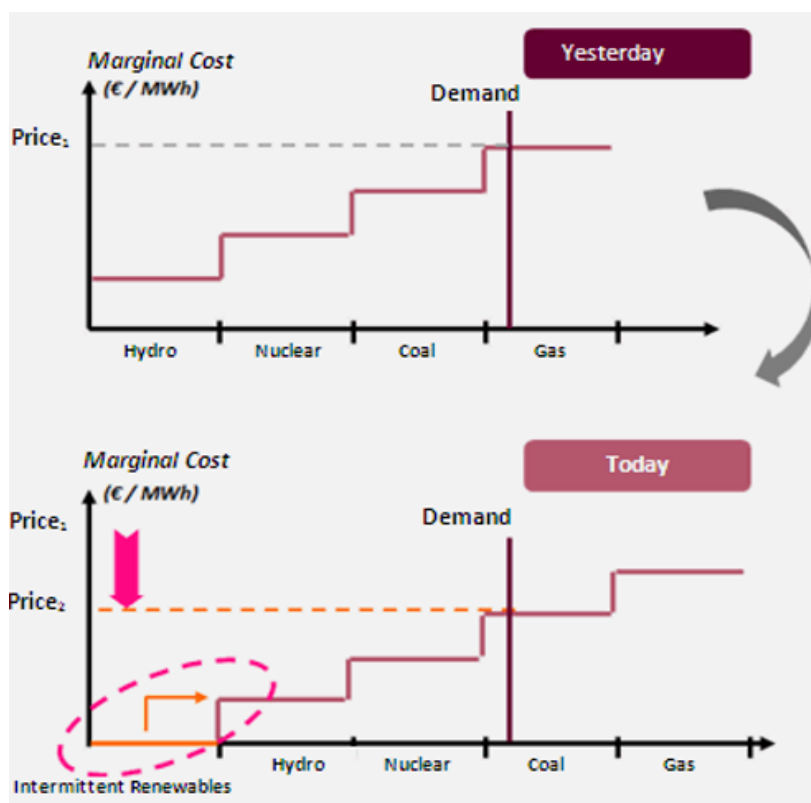
1.3.5.2 Merit order effect

Protože se v SRMC neprojeví investiční náklady na výstavbu zdrojů, jedná se pouze o derivaci jejich variabilních nákladů podle objemu výroby. Obnovitelné zdroje energie (OZE) mají tedy SRMC skoro nulové, a proto snižují cenu elektřiny na trhu (tzv. merit order effect). To je mimo environmentální aspekty silným argumentem pro zvyšování podílu OZE v energetickém mixu.

Vzhledem k intermitentnímu charakteru OZE ale merit order effect působí pouze, když jsou vhodné podmínky pro výrobu energie z těchto zdrojů. Zvyšuje se tedy volatilita ceny elektřiny na trhu v různých hodinách během dne i mezi ročními obdobími, z nichž některé jsou vhodnější pro provoz OZE. Vhodné podmínky pro fotovoltaiku a větrnou energii se částečně vyrovnávají, protože pro výrobu energie z FV je vhodnější léto, pro výrobu energie z větru naopak zima. Dále např.

rozšíření užívání klimatizace v létě přispívá k vyrovnávání spotřeby mezi zimou a létem, ale to stále nestačí pro potlačení vlivu OZE na zvýšení volatility ceny elektřiny.

Pro započtení CAPEX do celkových nákladů na výrobu energie je lepší metodou porovnání jednotlivých zdrojů již zmíněné LCOE. Stále se ale jedná jen o náklady na prahu zdroje. Proto bylo vyvinuta rozšířená metoda tzv. enhanced LCOE pro započítání nákladů na rozvoj a provoz elektrizační soustavy (ES) spojených s rozvojem OZE. [30]



Obr. 6 Merit order effect [50]

1.3.5.3 Capacity market

Alternativou k energy-only market by byl tzv. capacity market (kapacitní trh), který odměňuje výrobce energie za pouhou připravenost na flexibilní výrobu elektřiny. Poptávka po elektřině je zejména krátkodobě extrémně cenově neelastická, [47] stát proto neustále musí zajišťovat výkonovou rovnováhu. V ČR řídí rovnováhu mezi výrobou a spotřebou na základě výhradní licence dle zákona č. 458/2000 Sb. (Energetický zákon) [48] provozovatel přenosové soustavy (PPS) ČEPS, a.s. (Česká elektroenergetická přenosová soustava) vlastněný Ministerstvem průmyslu a obchodu.

Předpokladem modelu capacity market je, že trh zajistí dlouhodobé investiční signály pro výstavbu nových kapacit. Zásadním problémem trhu s energií jsou vysoká rizika spojená s rychlými změnami evropské legislativy a nestabilní tržní signály vyvolané řadou tržních deformací a prosazováním politických cílů. Investoři vyhledávají pouze výstavbu zdrojů s garantovanými (dotovanými) cenami. Další vývoj trhu s elektřinou v EU bude směřovat buď k dokončení vnitřního trhu a návratu k „Energy Only Market“ odstraněním tržních deformací nebo k oddělení trhu s energií a kapacitami a vytvoření samostatného mechanismu poskytujícího signály pro investice. Časté změny legislativy na evropské i národní úrovni znejišťují investory. Hlavním cílem by mělo být stabilní a předvídatelné podnikatelské prostředí. [46]

1.3.6 Dlouhodobé marginální náklady

Při hodnocení efektivnosti podnikatelských záměrů v energetice hraje důležitou roli cena elektřiny. Cenu elektřiny je proto nutné umět co nejlépe prognózovat. Na základě řady prací v oboru ekonomie lze prohlásit, že pro prognózu ceny jakéhokoliv produktu jsou nejlepší dlouhodobé marginální (mezní) náklady (LRMC – long-run marginal cost) na produkci daného zboží. To platí i pro elektřinu. ^{[51][52][53]}

LRMC jsou přírůstkové výrobní a dopravní náklady vyvolané přírůstkem dodávky. Zahrnují i investici výrobce do potřebného zařízení výrobní a přepravní kapacity. Cílem výpočtu LRMC je vyjádřit výrobní náklady na změnu spotřeby, resp. výroby elektrické energie z makroekonomického hlediska. Metoda je tak vhodná k přímému použití pro účely výpočtů ekonomické efektivnosti v energetice zejména pro veřejné investice jako je např. instalace FVE do veřejného prostoru zkoumaná právě v této práci. Dále je metoda vhodná pro konstrukci a aktualizaci tarifního systému nebo dohadovaných výkupních cen elektřiny z nezávislých zdrojů a dovozu. ^[51]

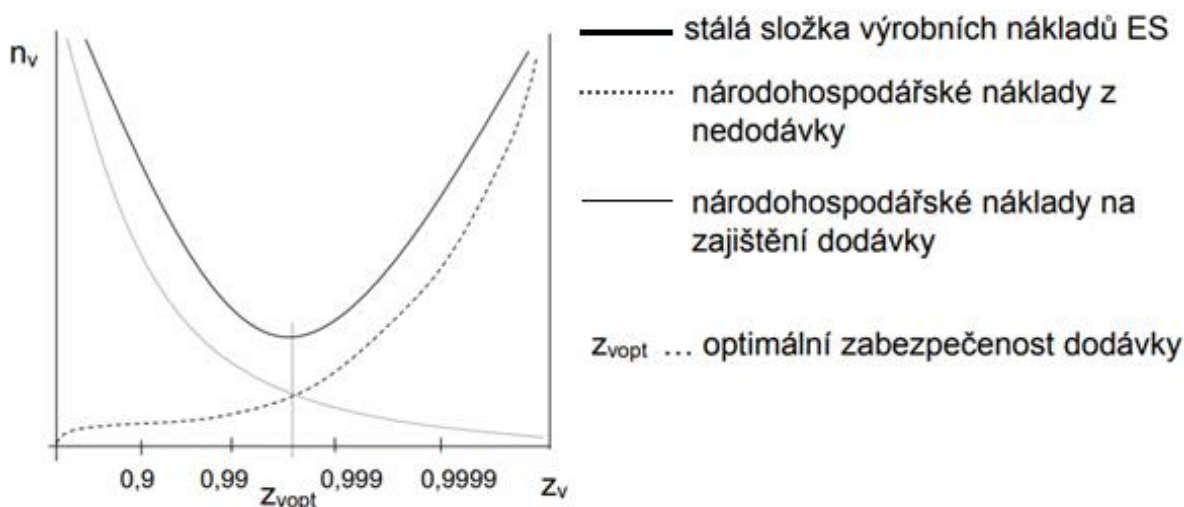
LRMC představují komplexnější způsob porovnání nákladů na výrobu elektřiny. Obsahují všechny náklady v řetězci. To znamená, že zahrnují mimo již zmíněných nákladů na prahu zdroje (LCOE) i náklady na podpůrné, systémové služby, záložní zdroje, náklady na akumulaci elektřiny, náklady přenosu a distribuce elektřiny včetně měření a zpracování dat, externality (dopady na jiné subjekty – klima, zdraví, krajinu, zemědělství, materiály aj.), dotace a podpory (přímé a nepřímé). ^[30] Z dlouhodobého hlediska tedy platí vztah:

$$FC \neq konst. \rightarrow MC = \frac{dTC}{dQ} \quad (1-3)$$

, kde FC jsou fixní náklady,
 MC jsou marginální náklady,
 dTC je derivace celkových nákladů podle objemu vyráběné energie dQ . ^[51]

1.3.6.1 Systémová metoda pro výpočet marginálních nákladů

Systémová metoda výpočtu MC spočívá v experimentech na matematicko-ekonomickém modelu ES. Model zahrnuje proměnné a stálé provozní náklady a anuitní hodnotu investičních nákladů všech zdrojů v ES. Metoda je velmi náročná na HW i SW



Obr. 7 Systémová metoda výpočtu marginálních nákladů (upraveno) ^[51]

Principem systémové metody je nalezení bodu optimální zabezpečení dodávky, ve kterém jsou národohospodářské náklady na zajištění dodávky (součet stálé složky výrobních nákladů ES a národohospodářských nákladů z nedodávky) nejnižší. Mezi možné náklady z nedodávky na straně dodavatele patří:

- přímé – ztráty z tržeb, z obchodní marže apod.,
- nepřímé – nutné např. zapojit záložní zdroj nebo nutné přepojit na jiné vedení,
- systémové – náklady na opravu zařízení, které neplánovaně vzniknou.

Mezi možné náklady z nedodávky na straně odběratele patří:

- přímé – ztráty z nerealizované výroby, ušlý zisk,
- nepřímé – režimové ztráty,
- systémové – náklady na opravu zařízení. [51]

1.3.6.2 Metoda reprezentantů pro výpočet marginálních nákladů

Metoda výpočtu LRMC pomocí reprezentantů byla vypracována na Katedře ekonomiky FEL ČVUT. Předpokládá se vyrovnaná bilance spotřeby a výroby v ES. Další výroba bez zvýšení instalovaného výkonu není možná.

Metoda považuje za marginální náklady pouze měrné náklady vybraných typů zdrojů – tzv. závěrných elektráren⁴, jejichž výstavba a provoz nejsou v blízké budoucnosti omezeny. Vylučující podmínky závěrných elektráren pro tuto metodu jsou: [51]

- nedostatek paliva,
- nedostatek lokalit pro výstavbu,
- ekologické problémy,
- závislost výroby elektřiny na jiné hlavní výrobě (teplárny), na klimatických podmínkách.

Závěrné elektrárny a sítě jsou ty, jež v blízké budoucnosti mohou být bez vážnějších omezení stavěny a provozovány k pokrytí nárůstu zatížení a úbytku dožívajících zdrojů. V České republice roli závěrných elektráren v současnosti plní jaderné elektrárny (JE) a přečerpávací vodní elektrárny (PVE), případně elektrárny s paroplynovým cyklem (PPE). [52]

Např. v Německu a Rakousku je však situace jiná. V Německu došlo v souvislosti s havárií JE ve Fukušimě k politickému rozhodnutí zastavit výrobu v jaderných elektrárnách původně plánované dokonce do roku 2022. Otázkou je, jaké zdroje nahradí výpadek 9,5 GW, které v Německu kryjí zatížení výrobou zhruba 72 TWh ročně (doba využití maxima 7500 h/r). Plán je takový, že tento výpadek bude nahrazen především obnovitelnými zdroji. Většina z nich je však ze své povahy intermitentní a pro spolehlivý chod ES je třeba je doplnit elektrárnami, které lze pružně regulovat nezávisle na počasí tak, aby bylo dosaženo vyrovnané bilance výkonu výroby a spotřeby v každém okamžiku. Tuto funkci mohou zastat pouze rychle regulovatelné špičkové zdroje jako je například akumuláční vodní elektrárna, PPE či zdroj typu akumulátoru jako PVE nebo jiný vhodný akumulátor s dostatečnou kapacitou a účinností pro regulaci výkonu v ES. Bateriová úložiště jsou zatím možným řešením pouze pro krátkodobou akumulaci (např. denní), nikoliv však pro sezónní akumulaci (např. z léta do zimy).

V odborném článku publikovaném Katedrou ekonomiky FEL ČVUT v časopise Energie 21 č. 4/2019 [52] je vypočtena hodnota LRMC metodou reprezentantů vztažená na jednotku odpadlého výkonu a práce, které by bylo nutno nahradit po odstavení dožitých jaderných elektráren v ČR. Byly vypočteny LRMC v případě, kdy budeme uvažovat náhradní zdroje v podobě kombinace větrných a přečerpávacích vodních elektráren. Hodnota LRMC zde pro kombinaci VTE a PVE vychází zhruba dva a půl krát vyšší (37 356 CZK/kW/r) než náhrada dosavadní jaderné elektrárny

⁴ Závěrná elektrárna je nejdražší elektrárna v systému merit order podle krátkodobých marginálních nákladů v daném okamžiku. Cenu elektřiny na trhu (ze všech zdrojů v daném okamžiku) určují náklady právě této nejdražší elektrárny, jejíž provoz je ještě potřebný k uspokojení poptávky.

novou JE (14 228 CZK/kW/r). Z výpočtů tedy plyne, že náhrada JE pomocí obnovitelných zdrojů s ekvivalentními účinky je více než dvakrát dražší, než náhrada novou JE. Výpočty byly podle autora provedeny pro stav „na zelené louce“, tedy nebyly brány v úvahu dosavadní zdroje a především charakter dosavadní spotřeby. Tento charakter by bylo možno vzít v úvahu, ale výsledky by to nejspíš příliš nezměnilo. ^[52]

1.3.6.3 Vyhodnocení směřování budoucího vývoje energetického mixu České republiky a zařazování obnovitelných zdrojů včetně fotovoltaiky

JE tedy podle LRMC vychází pro ČR jako ještě levnější řešení než OZE vzhledem k již zmíněným výhodám metody výpočtu nákladů pomocí LRMC oproti např. LCOE, enhanced LCOE nebo SRMC (např. lepší promítnutí intermitentního charakteru zdrojů nebo nákladů na provoz sítě). ^[53] Je tu ale nebezpečí citlivosti JE na palivové náklady a inflaci. Výhodou OZE je nezávislost na ceně jakéhokoliv paliva a provoz těchto zdrojů je takřka úplně odolný proti inflaci. Ta se může projevit pouze v nákladech na opravu a údržbu. Navíc je třeba počítat s dlouhou dobou výstavby nové JE (nebo rozšíření stávajících JE), pokud je vůbec reálné takový projekt v podmínkách ČR v současnosti realizovat. Proto je alespoň vhodné jako jedno z opatření pro konkurenceschopnost energetiky a sociální přijatelnost (snížení ceny elektřiny pro konečné spotřebitele) v souladu s cíli SEK ČR ^[19] co nejdříve do energetického mixu ČR zařazovat více OZE včetně fotovoltaiky alespoň do určité meze, než by mohlo začít vznikat nebezpečí vážných komplikací způsobených jejich intermitentním charakterem výroby. Stanovení konkrétního ideálního podílu intermitentních OZE pro ČR (potažmo celého energetického mixu) je pak velmi komplexní optimalizační úlohou o hledání nejnižších možných LRMC na výrobu elektrické energie.

1.4 Legislativní rámec instalace fotovoltaických elektráren do veřejného prostoru v České republice

Z důvodů uvedených v předchozích podkapitolách (cíle energetické politiky EU a na ně navázané strategické dokumenty ČR v kombinaci s vývojem trhu při respektování omezení plynoucích z intermitentního charakteru OZE) se v ČR zrychluje přírůstek instalovaného výkonu FVE. Proto se uvažuje, kam všude lze FV instalovat a jak lze energii z FV vhodně využít. Trendem již není stavět FVE do volného prostoru a tím např. znehodnotit zemědělskou půdu. Zhruba od roku 2010 došlo v ČR k výraznějšímu rozvoji instalace FV přímo ve městech na haly, kancelářské budovy, rodinné domy apod., ale ani tento prostor není neomezený. Uvažuje se tak i o dalších možnostech instalace FV. Jednu z variant, kterou lze stále považovat za experimentální, ale ve světě se rozšiřuje, představuje instalace FVE na protihlukové stěny (PHS). Fotovoltaická protihluková stěna (FVPHS) plní účel absorpce nadlimitního hluku typicky ze silnice nebo železnice a zároveň je zdrojem elektrické energie. Nevýhodou jsou však zatím poněkud vyšší náklady na nosnou konstrukci pro umístění FV modulů na protihlukovou stěnu oproti umístění např. „na zelenou louku“ nebo na střechu RD, protože nosné konstrukce ještě nejsou standardizované a jedná se zatím většinou o prototypovou výrobu.

Potenciál FVPHS je nevyužitý a hlavní překážkou pro realizaci takového projektu v ČR zatím představuje stávající legislativa. Legislativa sousedních evropských států již vzala v potaz PHS explicitně jako jednu z možných variant instalace FVE. V ČR jsou sice v metodice Metodické pomůcky Ministerstva pro místní rozvoj k umístění, povolování a užívání fotovoltaických staveb a zařízení ^[8] také explicitně zmíněny „protihlukové stěny okolo dálnic“ mezi možnostmi aplikace FV systémů. Legislativně existují však stále překážky. PHS jsou veřejný prostor. Většinou jsou na území ČR majetkem Ředitelství silnic a dálnic (ŘSD) nebo Správy železnic (SŽ), které jsou státními organizacemi. Dalším možným vlastníkem PHS mohou být jednotlivé městské municipality prostřednictvím svých příspěvkových organizací. Ale v programových dokumentech pro implementaci evropských dotačních programů jako např. Modernizačního fondu, jehož

program č. 2 Nové obnovitelné zdroje v energetice (RES+) je přímo pro instalaci FVE do veřejného prostoru určen, nejsou mezi příklady podporovaných opatření PHS explicitně zmíněny. ^{[9][10]} Lze však uvažovat podporu projektu FVPHS v rámci výzvy RES+ č. 1/2022 - Fotovoltaické elektrárny do 1 MWp nebo v rámci výzvy RES+ č. 3/2022 - Komunální FVE pro malé obce. S předpokladem růstu popularity projektů FVPHS u odborné veřejnosti lze také očekávat v dalších vyhlašovaných výzvách programu explicitní zmínění podpory projektů FVPHS. ^{[11][12]}

I z hlediska získání povolení stavebního úřadu a licence Energetického regulačního úřadu (ERÚ) na FVE se legislativní podmínky v ČR zjednodušují a přibližují se tak podmínkám v zemích kde již pilotní projekty FVPHS byly realizovány. V září 2022 byla vládou schválena novela energetického zákona, podle které u staveb obnovitelných zdrojů energie do 50 kW (kWp) nebude třeba územní povolení, stavební povolení, ohlášení stavby, licence ERÚ ani měsíční vykazování výkonu (dříve do 20 kW). ^[14] Další zjednodušení legislativní zátěže staveb OZE je plánováno. ^[13]

1.4.1 Komunitní energetika

Mimo uzákonění samotných staveb je však třeba se postarat o distribuci vyrobené energie z těchto staveb, což je také řešeno v rámci novely energetického zákona, která počítá s možností tzv. komunitní energetiky. ^[15] Novela má umožnit vznik energetických společenství, jejichž členové mezi sebou budou moci sdílet energii, kterou vyrobí ze společných výroben. Novela navazuje na směrnici Evropské unie o společných pravidlech pro vnitřní trh s elektřinou. Pomůže domácnostem, obcím i firmám usnadnit výrobu vlastní energie především z obnovitelných zdrojů. Díky novele bude možné veškerou vyrobenou energii sdílet mezi odběrnými místy, která budou členy energetického společenství a už nebude nutné tolik posílat přebytky vyrobené energie do sítě. Konkrétním příkladem využití komunitní energetiky pro projekt FVPHS je výroba elektřiny ze solární elektrárny na protihlukové stěně v rámci obce. Obec si pořídí vlastní FVE, kterou napojí na místní distribuční síť. Elektřinu, kterou vyrábí, pak může dodávat vybraným odběratelům zahrnutým do energetického společenství – primárně úřadům, školám, sportovním halám a dalším. Takto vyrobená elektřina může členům energetického společenství nahradit část jejich spotřeby elektřiny. ^{[16][17]}

Komunitní energetika se objevuje i v obecném programovém dokumentu pro implementaci Modernizačního fondu v České republice v rámci programu č. 8 (KOMUNERG). ^[9] Mezi příklady podporovaných opatření relevantní pro projekt FVPHS patří optimalizace konečné spotřeby energie, výstavba komunitních elektráren, využívajících nepalivové OZE, s vlastní či pronajatou distribuční sítí vč. možnosti akumulace energie, inteligentních síťových a měřicích prvků, a optimalizace spotřeby energie, instalace systému aktivního hospodaření s energií (např. měření a regulace), výstavba komunitních dobýjecích či plnicích stanic na energii/palivo vyprodukované v rámci společenství pro nízkoemisní vozidla aktivních spotřebitelů. ^[9]

Dále pokud by stát PHS pronajímal za účelem investorských projektů, je zde i možnost obchodování s elektřinou na trhu. Mezi výhody využití plochy PHS pro FV systémy patří skutečnost, že PHS jsou vždy umístěny poblíž aglomerací, které právě chrání před hlukem. Umístění PHS je podloženo akustickou studií, která je nedílnou součástí dokumentace pro územní rozhodnutí. ^[61] Proto zde lze nalézt využití pro vyrobenou energii ať už např. pro napájení veřejných objektů v blízkosti (např. na dálniční odpočívce), pro elektromobilitu (ostrovní systémy u samoobslužných dálničních odpočívadel apod.), nebo úsporu energie v domácnostech. Dále pro FV na PHS u železnice se nabízí využití vyrobené energie rovnou v trakční síti nebo v zastávkách. Správa železnic (SŽ) již experimentuje s FVE v okolí železničních cest ve formě prvních projektů na zastávky. V Děčíně je přímo výrobou elektřiny z FVE pokrývána část okamžité spotřeby v nádražní budově SŽ. ^[18]

1.4.2 Národní akční plán pro obnovitelné zdroje energie

Národní akční plán pro obnovitelné zdroje energie (NAP pro OZE) je jedním z kroků, jak snížit závislost České republiky na fosilních palivech. Materiál, který dne 25. ledna 2016 schválila vláda, vychází ze směrnice Evropského parlamentu a Rady č. 2009/28/ES ze dne 23. dubna 2009 o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů a pro Evropskou unii jako celek z této směrnice vyplýval cíl v roce 2020 dosáhnout 20 % podílu energie z obnovitelných zdrojů a cíl 10 % podílu energie z obnovitelných zdrojů v dopravě. Pro Českou republiku byl Evropskou Komisí stanoven minimálně 13 % podíl energie z obnovitelných zdrojů na hrubé konečné spotřebě energie. Národní akční plán předpokládal pro rok 2020 dosažení 15,3 % podílu energie z obnovitelných zdrojů na hrubé konečné spotřebě energie a 10 % podílu energie z obnovitelných zdrojů na hrubé konečné spotřebě v dopravě. ^[54]

Legislativně je akční plán ukotven v zákoně č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie. Z důvodu dynamického vývoje OZE se Česká republika rozhodla přistoupit k pravidelné aktualizaci akčního plánu, aniž by to bylo požadováno zmíněnou směrnicí a tato aktualizace je součástí zákona o podporovaných zdrojích energie. Lze tedy očekávat další aktualizace NAP pro OZE s výhledem alespoň do roku 2030.

1.4.3 Národní akční plán pro chytré sítě

MPO zpracovalo na základě úkolu uvedeného v návrhu aktualizace Státní energetické koncepce ČR Národní akční plán pro chytré sítě (NAP SG). Úkol souvisí s jednou z priorit SEK týkající se koncepce rozvoje síťové infrastruktury pro zabezpečení spolehlivého a bezpečného provozu při požadovaném rozvoji distribuované výroby elektřiny (zejména OZE) včetně zapojení malých teplárenských zdrojů, řízení výroby, akumulace a spotřeby, s přihlédnutím k požadavku zvyšování energetické účinnosti.

Zavedení a využití inteligentních sítí bude v blízké budoucnosti nezbytnou součástí zajištění spolehlivého provozu elektrizační soustavy. Integraci velkého objemu výroby elektřiny z intermitentních zdrojů do ES ČR a očekávaný nárůst výroby také v malých zdrojích připojených do distribuční sítě nebude možné zvládnout bez zavedení nového způsobu řízení soustavy a inteligentních sítí. Využívání prostředí inteligentních sítí bude také nezbytné pro rozvoj trhu s elektřinou a pro jeho využívání aktivními spotřebiteli, a také spotřebiteli — výrobci. Spotřebitelům navíc poskytnou inteligentní sítě technologickou podporu pro zvýšení účinnosti užití energie.

NAP SG předpokládá postupné zavedení inteligentních sítí a dalších opatření v několika etapách. Investice do inteligentních sítí jsou investicemi do infrastruktury a promítnou se do regulované složky ceny za elektřinu. Proto je potřeba přizpůsobit způsob a rychlost zavedení inteligentních sítí přínosům pro spotřebitele. ^[55]

V souvislosti s novými závaznými cíli ČR podílu OZE na celkové spotřebě energie do roku 2030 lze v blízkém období očekávat významný rozvoj decentralizovaných zdrojů energie v oblasti výroben FVE a VTE, rozvoj výroben OZE a kogenerací. Výrobní OZE budou připojovány do úrovní nízkého a vysokého napětí a daný rozvoj bude mít vliv nejen na PDS, ale i na PPS, která bude muset efektivně reagovat na aktuální výrobu z intermitentních zdrojů. V rámci integrace decentralizovaných zdrojů energie směřují opatření PDS do oblasti automatizace, regulace napětí a řízení toků jalového výkonu. To povede ke snížení nákladů na integraci decentralizovaných zdrojů energie do sítí distribuční soustavy na částku, která bude řádově nižší ve srovnání s opatřením formou klasického posilování sítí. Intermitentní výroba decentralizovaných zdrojů energie může bez realizace úprav distribuční soustavy vést ke zhoršení kvality a spolehlivosti dodávek elektrické energie. Je možné očekávat zvýšené požadavky na řízení DS s nutností instalace kompletního dispečerského řízení až na nejnižší napěťovou hladinu. ^[56]

1.4.4 Rozvoj podporovaných zdrojů energie do roku 2030

Dokument s názvem Rozvoj podporovaných zdrojů energie do roku 2030 publikovaný MPO představuje podklad pro účely přípravy nového Vnitrostátního plánu v oblasti energetiky a klimatu. [57]

V roce 2021 v kontrastu s deklarovanými cíli do následujících let tvořily obnovitelné zdroje pouze 5,56 % národního energetického mixu ČR. [35] Vůbec největší potenciál z obnovitelných zdrojů mají v Česku fotovoltaické elektrárny. Je však nutno rozlišovat jednotlivé typy FVE. Autoři studií (např. EGÚ Brno, 2019) [36] vidí největší potenciál v FVE umístěných na fasádách a střechách budov, dále na brownfieldech a v povrchových dolech. Další variantou OZE pro ČR jsou větrné elektrárny. Z celkové čisté spotřeby elektrické energie by tedy Česká republika teoreticky dokázala významnou část pokrýt pomocí OZE [36] [37] (je však nutné uvážit intermitentní charakter výroby energie z uvedených OZE). Skutečný potenciál výkonu obnovitelných zdrojů by ale zřejmě byl ještě o něco vyšší, protože autoři studií pracují pouze s odhadem potenciálu větrných a uvedených typů fotovoltaických elektráren, ale už ne např. s FVE na protihlukových stěnách, jejichž potenciál výkonu právě bude stanoven v dalších kapitolách této práce.

Technický potenciál fotovoltaických zdrojů umístitelných na budovy je dále kvantifikován např. ve studii „Potenciál solární energetiky v České republice“ (studie ENACO, 2015). [58] Dle této studie odpovídá potenciál využití FVE v rámci rodinných domů (RD) a bytových domů (BD) hodnotě 4 483 MW a potenciál využití FVE v rámci ostatních nerezidenčních budov je pak vyčíslen na úrovni 7 309 MW.

Rok	Větrné elektrárny [MW]	Solární elektrárny [MW]	Malé vodní elektrárny [MW]
2021	30	7	2
2022	30	10	2
2023	30	16	2
2024	40	24	2
2025	40	33	2
2026	40	42	2
2027	40	52	2
2028	50	62	2
2029	50	72	2
2030	50	82	2
Celkem	400	400	20

Tab. 1 Předpokládané přírůstky instalovaného výkonu v letech 2021-2030 pro VTE, FVE, MVE v rámci přípravy návrhu nového Vnitrostátního plánu v oblasti energetiky a klimatu [57]

Rozvoj FVE umístěných na budovách dnes již funguje v rámci investiční podpory (a někdy již i bez ní) a toto schéma je plánované zachovat i do roku 2030 (tedy bez zavádění provozní podpory a bez podpory velkých parků FVE umístěných na zemědělské půdě).

Lze předpokládat, že rozvoj FVE se uskuteční především v instalacích do 5 kW umístěných na rodinných domech a případně částečně také instalací do 10 kW, které by mohly pokrývat střechy větších bytových budov, objektů nebo průmyslových hal. Většina instalací, které budou s instalovaným výkonem do 10 kW, mají v současné době zjednodušení provozování (nemusejí mít licenci na výrobu elektřiny od ERÚ, jako oprávnění k podnikání v energetice). Na větších budovách (průmyslové a výrobní haly) předpokládáme výkony v řádech desítek kW – většinou by se mělo jednat o instalace s výkonem do 30 kW, u velkých budov (například u skladů) by mohlo jít o instalaci s výkonem do 100 kW.

Jak je patrné z tabulky 1, očekává se, že přírůstek instalovaného výkonu FVE v následujících letech prudce vzroste. Mimo typických umístění FVE, které jsou ve studiích obvykle uvažovány, lze tedy FVE na protihlukové stěny považovat za vhodné doplnění.

Na základě dostupných dokumentů z oblast energetiky a klimatu se tedy dá předpokládat vysoký počet instalací nových FVE, které budou postupně připojovány do elektrizační sítě. 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. 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. Současně tento nárůst může vyvolat navýšení investic nutných pro posílení distribučních soustav.

1.4.5 Vyhodnocení možností umístění větrných a fotovoltaických elektráren z hlediska ochrany přírody a krajiny

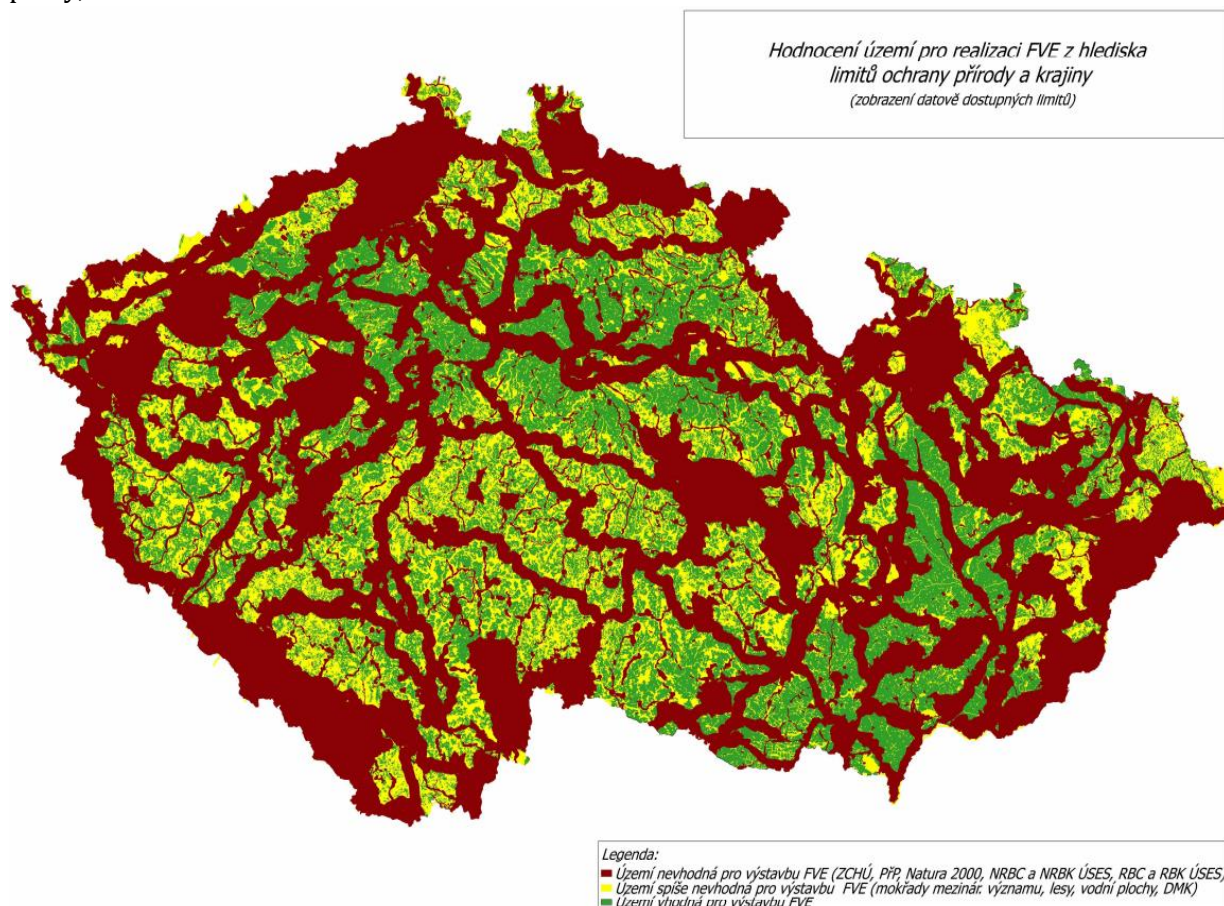
Ministerstvo životního prostředí (MŽP) zpracovalo Metodický návod k preventivnímu hodnocení území kraje nebo menších samosprávných celků - „Vyhodnocení možností umístění větrných a fotovoltaických elektráren z hlediska ochrany přírody a krajiny“. Tento metodický pokyn formuluje zásady hodnocení území z hlediska ochrany přírody a krajiny, zejména krajinného rázu, se zaměřením na umístění větrných a fotovoltaických elektráren, a určuje postup pro identifikaci územních limitů ochrany přírody a krajiny, kterými jsou přírodní, kulturní a historické charakteristiky krajiny relevantní vzhledem k předpokládané výstavbě elektráren a predikaci vlivu jejich potenciální výstavby a provozu. ^[59]

Jedním z předpokladů k dosažení cílů podílu OZE je sjednocení a zrychlení administrativního postupu souvisejícího s povolováním realizace staveb a zařízení využívajících OZE. Mezi opatření, která by k tomuto měla přispět, patří i tento metodický návod k preventivnímu vyhodnocení možností umístění VTE a FVE z hlediska ochrany přírody a krajiny na území krajů, obcí nebo jiných územních celků. Přes všechny přínosy ve smyslu menší zátěže životního prostředí oproti výrobě elektrické energie z konvenčních zdrojů je výstavba VTE a FVE zásahem do krajiny, který se může svým charakterem dotýkat zájmů chráněných zákonem č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, ve znění pozdějších předpisů, zájmů chráněných zákonem č. 334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu, ve znění pozdějších předpisů, a zájmů chráněných zákonem č. 20/1987 Sb., o státní památkové péči. ^[59]

Metodický návod proto stanovuje postup (princip) zpracování preventivního hodnocení, který identifikuje zájmy, resp. limity ochrany přírody a krajiny i limity ochrany zemědělského půdního fondu v regionálním měřítku, a formou negativního vymezení definuje území, v nichž je výstavba VTE a FVE nevhodná, spíše nevhodná a obecně za posléze jasně formulovaných podmínek vhodná.

Definování krajinných prostorů jako nevhodných pro výstavbu VTE a FVE neznamena automaticky nemožnost umístění těchto staveb. Z jejich identifikace pouze vyplývá základní informace, zda a do jaké míry se jedná o významnější území z hlediska výše uvedených chráněných zájmů. Lze zde tudíž očekávat větší administrativní zátěž spojenou s případným povolovacím procesem a zvýšené riziko nepovolení záměru. Definování obecně vhodných území pro výstavbu VTE nebo FVE naopak neznamena automaticky kladné vyjádření příslušných úřadů ve věci umístění stavby a není ani pro správní orgány závazné. Protože preventivní studie velkého krajinného prostoru (územního celku) zpracovaná na základě tohoto metodického návodu nezná přesné parametry navrhovaných staveb, její hloubka, resp. konkrétnost zpracování nejsou schopny postihnout všechny možné aspekty vlivu navržených záměrů na přírodu a krajinu. Vše proto následně závisí na posouzení každého konkrétního záměru a splnění všech zákonných podmínek pro umístění stavby.

Metodický návod je i jedním z podkladů pro předběžné zhodnocení dotčení výše uvedených limitů konkrétními investičními záměry VTE nebo FVE. To však v žádném případě nenahrazuje proces posouzení vlivů záměru či koncepce a územně plánovací dokumentace na životní prostředí a následné povolovací procesy. Takové zhodnocení ale může být podkladem pro další koncepční krajinně a územně plánovací dokumenty, zejména pak pro zásady územního rozvoje, územní plány, územní studie. [59]



Obr. 8 Hodnocení území pro realizaci FVE z hlediska limitů ochrany přírody a krajiny [60]

V případě FVE je z vizuálního hlediska nejvýznamnějším znakem plocha pokrytá fotovoltaickými moduly. FVE se proto v krajině uplatňují jako plošně horizontální dominanty. Z kratších vzdáleností upoutává pozornost geometrický charakter stavby. Ze středních a větších vzdáleností působí FVE spíše jako homogenní plocha. Z hlediska míry vlivu na krajinu jsou u FVE významnými především dvě okolnosti. Tou první je velikost souvislé plochy (případně seskupení souvislých ploch) pokryté FV moduly. Druhou okolností je expozice pozemku, na kterém jsou moduly umístěny a jeho orientace vzhledem k relevantním znakům krajiny. Tyto dva atributy rozhodují o stanovení zón viditelnosti. Obecně lze konstatovat, že oproti VTE je rozsah vizuálně ovlivněného území u FVE o řád až o dva řády menší (jednotky až desítky km²). Podobně jako VTE jsou i FVE povolovány jako stavby dočasné, které mají být po vypršení doby životnosti demontovány. [59]

V případě projektu fotovoltaické protihlukové stěny (FVPHS) lze však očekávat, že nehrozí omezení vyplývající např. z umístění v přírodních parcích ani v památkových zónách, pokud zde již bude umístěna nebo plánována silnice pro motorová vozidla, dálnice nebo železnice s protihlukovou stěnou. V některých případech hraje roli i odlesk FV modulů, který lze technickými opatřeními podstatně minimalizovat. Za potenciální nebezpečí instalace FVE na protihlukovou stěnu by bylo možné považovat oslnování projíždějících řidičů. Dle dostupných studií [62][63][64][65] však FV moduly způsobují menší oslnění než např. okna nebo vodní hladina.

Důkazem bezpečnosti mohou být instalace FV systémů na světových letištích bez zaznamenání problémů s oslněním pilotů letadel FV moduly. Britská studie [69] prezentuje výsledky experimentu FVPHS u dálnice M27 ve Velké Británii, kde bylo pomocí kamerového systému sledováno chování řidičů v okolí FVPHS. Snímán byl provoz po směru jízdy i provoz v protisměru. Na základě pozorování nebylo zjištěno, že by instalace měla jakýkoli vliv na chování řidičů při projíždění okolo FVPHS. Zhoršení bezpečnosti silničního provozu lze tedy vyloučit.

1.5 Historie projektů fotovoltaických elektráren na protihlukových stěnách

1.5.1 Švýcarsko

První projekt fotovoltaické protihlukové stěny (FVPHS) vznikl již v roce 1989 ve Švýcarsku, kde se jednalo o instalaci FV modulů na PHS u dálnice A13. Švýcarská Spolková rada považuje FVPHS za slučitelné s cílem využívání zdrojů, jako je půda, voda, a energie, udržitelným způsobem. Zároveň čelila legislativním požadavkům na budování nových PHS podél silnic a železnic v zastavěných oblastech. Proto Švýcarské federální ředitelství silnic (FEDRO) realizovalo v prosinci 1989 první dálniční FVPHS na světě. FV moduly jsou zde připevněny na dvoumetrové konstrukci, která je namontována na PHS pod optimálním sklonem vzhledem k zeměpisné šířce místa a pokrývá podél silnice délku PHS 800 m. Polykrystalické FV moduly zabírají plochu přibližně 970 m² a vyrobí zhruba 108 000 kWh ročně po odečtení vlastní spotřeby elektrárny (napájení střídače a monitorovacího systému). [171]



Obr. 9 Fotovoltaická protihluková stěna ve Švýcarsku [2]

Šest let po realizaci první dálniční PNVB byla uspořádána mezinárodní soutěž, která dala podnět k demonstraci alternativních konfigurací FVPHS. Výsledkem bylo v letech 1997 až 1999 šest dalších instalací po 10 kWp (tři ve Švýcarsku a tři v Německu), včetně vývoje koncepcí

integrovaných FVE do PHS. Jedním z cílů těchto projektů bylo ukázat typické výhody různých technologií v různých situacích. Od té doby byly po celé zemi postaveny další dálniční FVPHS. FEDRO uvedlo, že obecně podporuje více způsobů využití silničního prostoru, pokud lze zajistit bezpečnost silničního provozu.

1.5.2 Německo

První FVPHS byla v Německu postavena v roce 1992. Od té doby po celé zemi vzniklo mnoho dalších FVPHS. K tomu přispěly klesající náklady na fotovoltaiku (jak bylo probráno v předchozích podkapitolách), legislativa stanovená zákonem o obnovitelných zdrojích energie (EEG – Erneuerbare-Energien-Gesetz) [66] a politika Energiewende. Legislativní změny v EEG přinesly výkupní ceny energie z OZE, a politika Energiewende podporuje přechod na ekologicky šetrné, spolehlivé a cenově dostupné nízkouhlíkové dodávky energie. Tyto faktory společně úspěšně stimulovaly rozvoj OZE v celém Německu.

První generace FVPHS v Německu byla dodatečně instalována na stávající PHS. Nyní se posuzují možnosti využití PHS pro instalaci FV již od počátku plánování nových PHS. Nicméně stávající protihlukové stěny i nadále poskytují významný potenciál pro výrobu energie z OZE. Německé ředitelství dálnic identifikovalo perspektivní lokality po celé zemi prostřednictvím analýzy GIS, která spojovala informace o umístění a orientaci stávající infrastruktury, jako jsou PHS, silnice, budovy, hráze apod. dohromady s přírodními charakteristikami, jako je topografie, terénní vlny a intenzita slunečního záření. Trojrozměrné modelování pak bylo použito k dalšímu upřesnění pro zjištění, kde např. násypy a dopravní infrastruktura poskytují největší potenciál výkonu FVE.

Ve většině případů, kdy je nalezena vhodná lokalita pro výstavbu FVPHS, je k financování a dokončení výstavby zapotřebí soukromý developer, který je ochoten pokrýt počáteční náklady. Developer také obvykle platí poplatek státu, aby mohl pozemek využívat, a vyrobená elektřina se dodává do sítě. Výstavba moderních FVPHS bude obvykle zahrnovat montáž FVE s použitím zařízení proti krádeži, jako jsou např. šrouby s protizávitem a kamery, aby se zabránilo vandalismu. Tento problém se však s rostoucím využíváním integrovaných FVPHS stává méně závažným. [2]

Doba potřebná k návratu investičních nákladů bude záviset zejména na ceně a výši dotací, ale v oblastech s vyšší intenzitou slunečního záření, jako je jihozápadní Německo, se FVPHS ukázaly jako zvláště nákladově efektivní. Německé ředitelství dálnic vypracovalo příručku popisující, jak veřejné a soukromé zúčastněné strany mohly nejlépe spolupracovat, aby byly aplikace FVPHS ekonomicky životaschopné, včetně poskytnutí přehledu efektivních postupů projektování a výstavby a vzorových smluv pro partnerství veřejného a soukromého sektoru.

Pro německé silniční úřady nepředstavují FVPHS obvykle technické problémy z hlediska snížení protihlukové funkce nebo bezpečnosti. Hotové technologie fotovoltaických panelů vyrobené speciálně pro zařízení snižující hluk splňují nebo překračují regulační pokyny pro snižování hluku a za předpokladu, že jsou komponenty fotovoltaických panelů správně orientovány vzhledem k charakteristikám místa, se neočekává, že by přidání fotovoltaických panelů do protihlukové stěny mělo vliv a nezpůsobí nové stížnosti na hluk. Totéž platí i pro otázky bezpečnosti. PHS v Německu musí splňovat všechny příslušné předpisy a bezpečnostní normy bez ohledu na to, zda obsahují solární panely. Obvykle jsou umístěny za svodidly a nebyly spojeny s problémy s oslňováním nebo rozptylováním řidičů.

Jedním z problémů jsou pravidelné stížnosti obyvatel, kteří si stěžují na vizuální estetiku FVPHS nebo na to, že FVE zasahující nad stávající PHS narušují výhled. V budoucnu se plánuje více zapojit do procesu přípravy a rozvoje FVPHS místní rezidenty, aby pomohly při plánování a zajistilo se, aby s projekty souhlasili.

1.5.3 Nizozemsko

Výstavba protihlukových stěn je v Nizozemsku velice rozšířená. V zemi je vysoký počet obyvatel a vysoká hustota obyvatelstva znamená, že dálnice, železnice, domy a podniky se často nacházejí v těsné blízkosti, což vyžaduje stavbu PHS. Na počátku 90. let 20. století se začaly v Nizozemsku zkoušet projekty dodatečného vybavení betonových protihlukových stěn FV moduly a v roce 1998 postavili jednu z nejdelších instalací FVPHS, která v té době existovala. Stojí v délce 1,6 km podél dálnice poblíž Amsterdamu. Dodnes vyrábí přibližně 176 000 kWh elektřiny ročně. Projekt byl však realizován, když byla instalace OZE v přepočtu na watt mnohem dražší, než je tomu nyní. Proto realizace solární protihlukové stěny v Nizozemsku sice ukázala zelené ambice, ale neznamenala nutně zisk. Vzhledem k tomu, že náklady na FV systémy od té doby významně poklesly, mohou být nyní podobné projekty šetrné k životnímu prostředí i ekonomické. [3]



Obr. 10 Montáž fotovoltaické protihlukové stěny na dálnici A9 v Nizozemsku [82]

V Nizozemsku se proto snaží posunout hranice ve výzkumu FVPHS, zejména v oblasti nových PHS. Stavba nové FVPHS dává projektantům největší možnosti a flexibilitu při navrhování FV systému. Rijkswaterstaat (RWS) je úřadem, který je zodpovědný za projektování, výstavbu, správu a údržbu vodních děl a silniční sítě v Nizozemsku. Nyní pracuje na projektu LIFE Solar Highways, který může připravit půdu pro další rozvoj FVPHS. Za tímto účelem RWS spolupracuje se Střediskem pro energetický výzkum v Nizozemsku (ECN) a Střediskem pro aplikace solární energie (SEAC), aby demonstrovalo technickou stránku projektu (prototyp plně integrované FVPHS) a vypracovali proveditelný ekonomický model. Cílem týmu je také ukázat environmentální a sociální přínosy využití moderních konstrukčních prvků pro stavbu PHS na dálnicích. Projekt je financován z grantu Evropské komise LIFE+ v hodnotě přibližně 1,4 milionu EUR v kombinaci s finančními prostředky RWS. [67]

1.5.4 Austrálie

Společnost VicRoads vykonává funkci silničního a dopravního úřadu ve státě Victoria v Austrálii. Společnost VicRoads prohlásila, že plánuje budovat OZE, které budou integrovány do nějaké formy silniční infrastruktury, včetně PHS.

V roce 2007 začala společnost VicRoads prodávat do místní elektrizační soustavy elektřinu z OZE vyrobenou z FV modulů integrovaných do vrchní části PHS na novém dálničním uzlu poblíž melbournského letiště Tullamarine. Inovativní FVPHS byla součástí rozsáhlejšího projektu přestavby křižovatky Tullamarine-Calder za 150 milionů AUD, jehož cílem bylo zajistit bezpečnější cestování a zlepšit plynulost dopravy. Když analýza společnosti VicRoads týkající se životního prostředí v rámci projektu ukázala, že PHS je v místě nutná, rozhodla se společnost navázat spolupráci s místním developerem FV systémů a dalšími konzultanty, aby demonstrovali novou technologii FVPHS.

S využitím grantu ve výši 140 000 AUD od Sustainability Victoria (státní organizace s pravomocí pro realizaci programů integrovaného nakládání s odpady a účinného využívání zdrojů) mohla společnost VicRoads instalovat 500 metrů dlouhý FV systém, který je nyní součástí prefabrikované betonové PHS. Fotovoltaická část bariéry se skládá z 210 neprůhledných amorfních křemíkových FV modulů, z nichž každý váží přibližně 106 kilogramů a jsou instalovány vertikálně na vrcholu 4 metry vysoké PHS. Díky tloušťce tepelně zpevněného skla FV modulů, akustické pásce instalované mezi jednotlivými FV moduly a přidanému metru k výšce PHS díky FV modulům jsou ještě vylepšeny akustické vlastnosti této PHS. Výsledky projektu PNVB Tullamarine-Calder byly pro společnost VicRoads důkazem toho, že FV moduly mohou být dobrým materiálem pro PHS za předpokladu, že daná PHS má akusticky odrazivý povrch (na rozdíl od požadavku na pohltivost). Hmotnost FV modulů je přijatelná a nižší účinnost výroby energie způsobená svislou orientací panelů ve srovnání s ideálním sklonem je údajně také přijatelná. [2]



Obr. 11 Fotovoltaické moduly na prefabrikované betonové protihlukové stěně v Melbourne (Austrálie)^[68]

FV moduly projektu FVPHS Tullamarine-Calder jsou umístěny ve výšce, která je mimo dosah případné havárie (nebo vandalismu). Kromě toho nebyla zjištěna žádná obava z rozptylování

řidičů; vzhledem k integrovanému vertikálnímu provedení fotovoltaických panelů není oslnění problémem a mnoho řidičů si možná ani nevšimne, že se zde nachází FV moduly. Vertikální orientace také minimalizuje shromažďování nečistot. Téměř veškerou další údržbu lze provádět mimo silnici, protože všech pět střídačů je instalováno na stěně a je k nim přístup ze strany mimo silnici. Zadní strana fotovoltaických panelů je světlé barvy a byla navržena tak, aby částečně odrážet oblohu, aby stěna byla méně vizuálně rušivá pro obyvatele.

Společnost VicRoads neplánuje výstavbu dalších FVPHS, protože dospěla k závěru, že se stavba ekonomicky nevyplatí a projekt v současném australském kontextu není finančně životaschopný. Důvodem jsou především nízké výkupní ceny elektřiny z FVE v Austrálii. Společnost VicRoads nemohla přímo využívat vyrobenou energii, protože neměla v blízkosti místa denní spotřebu po elektřině. Společnost VicRoads tak usoudila, že je nákladově efektivnější umístit FV moduly střechy budov, protože potřebné nosné konstrukce jsou levnější než v případě FVPHS. [2]



Obr. 12 Běžnou údržbu fotovoltaického systému lze provádět na straně protihlukové stěny mimo silnici^[68]

Tabulka se seznamem vybraných zahraničních projektů fotovoltaických protihlukových stěn řazených podle instalovaného výkonu se nachází v příloze.

1.5.5 Česká republika

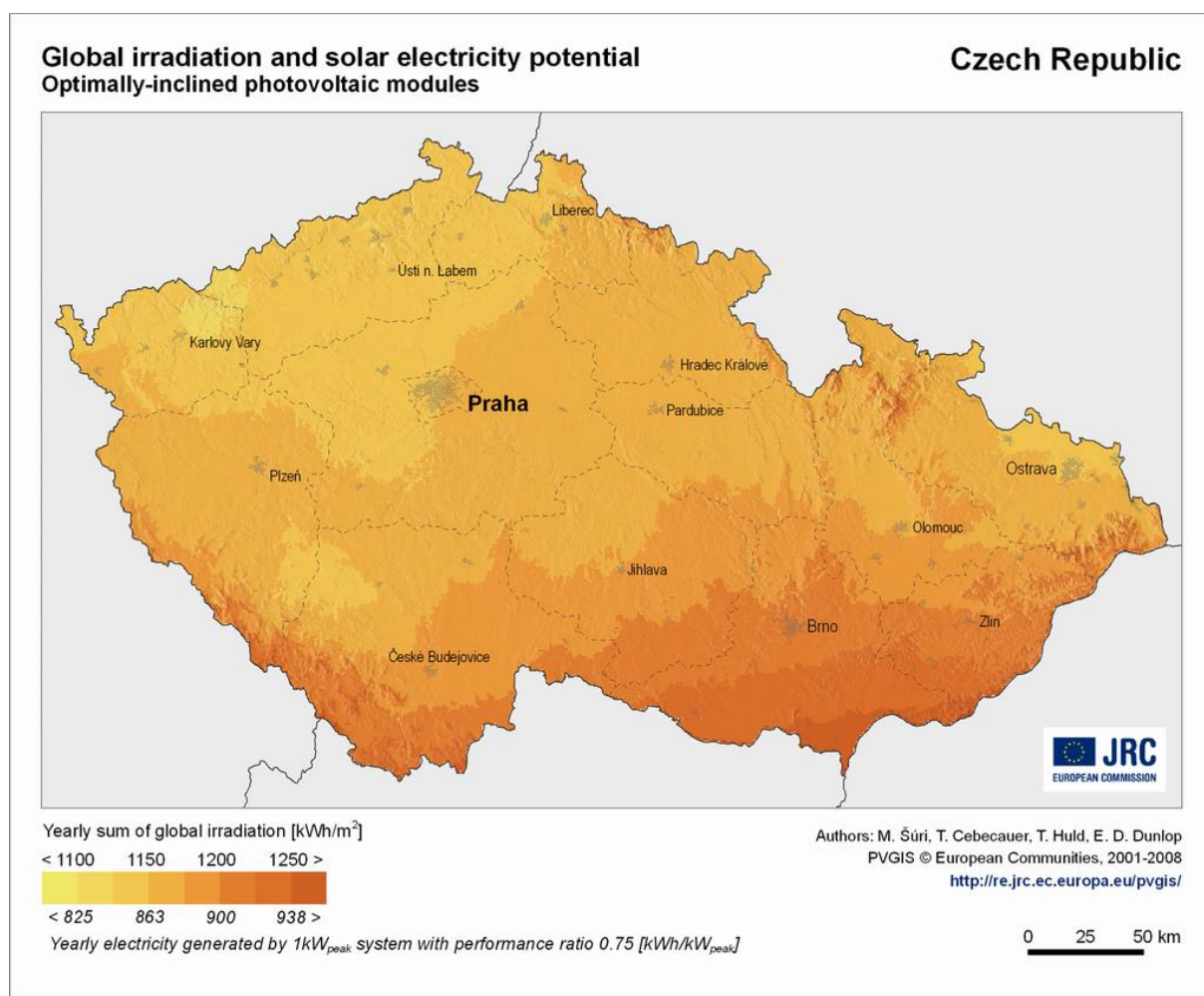
V České republice v současnosti zatím nebyl (k roku 2022) realizován žádný projekt FVPHS. Existují již návrhy FVPHS s konkrétním umístěním, jako je např. projekt FVPHS navržený v úseku Vysoké Mýto – Džbánov dálnice D35. Společnost ČEZ ESCO v testovacím parku v Ledvicích zkouší vlastnosti a vhodnost různých typů FV modulů, které chce po vyhodnocení nasazovat v připravovaných velkých solárních parcích. Úhrnný výkon těchto zdrojů, kterými přispěje k plnění klimatických cílů a závazků České republiky, by měl údajně v příštích 10 letech dosáhnout tisíců MW. Proto jsou mezi testovanými typy instalací i svisle instalované oboustranné FV moduly pro agrivoltaiku nebo protihlukové stěny. [69]

KAPITOLA 2: TECHNOLOGIE FOTOVOLTAICKÝCH SYSTÉMŮ

Nejzásadnější a nejlépe dostupnou technologií pro energetické využití protihlukových stěn je bezesporu fotovoltaická elektrárna, která je založena na principu přeměny slunečního záření ve využitelnou elektrickou energii.

2.1 Využitelnost slunečního záření v ČR

Na koncovou využitelnost energie ze slunečního záření má vliv spousta faktorů. Hlavním faktorem je samotná proměnlivost počasí, které zapříčiní, jaký energetický zisk z příslušného dne je možné z FVE získat. Z dlouhodobější perspektivy ovlivní FVE počet slunečných dnů, proměnlivé podmínky ročních období (v mírném podnebném pásu) – zde se projeví např. optimální úhel naklonění FV modulů vůči slunečním paprskům. Podle typu použité technologie má také vliv, zda na FVE dopadá přímé (jasná obloha) či difuzní záření – jedná se o rozptýlené světlo vlivem odrazu (zataženo, oblačno). [71]



Obr. 13 Mapa intenzity globálního slunečního záření na území ČR [70]

Jak je patrné z obr. 13, optimální lokace pro umístění FVE jsou situovány zejména na území jižní Moravy, dále oblast Olomoucka, části středních Čech a jižní poloviny hlavního města Prahy.

2.2 Fotovoltaické moduly

Fotovoltaické moduly (často také nazývané panely) jsou složeny z menších segmentů – článků, které se spojují do sérií či se zapojují paralelně, aby dosáhly potřebných výsledných parametrů.

Výsledné FV moduly se pak spojují do tzv. stringů⁵ (sériových větví) rovněž pro dosažení potřebných parametrů. FV moduly se mohou lišit následujícími technologiemi výroby. [71]

2.2.1 Monokrystalické fotovoltaické moduly

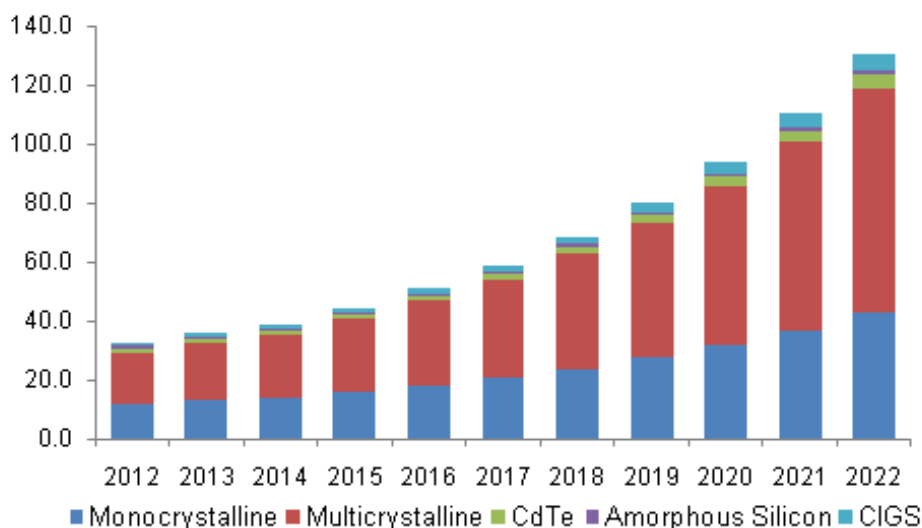
Prvotní technologie znala pouze monokrystalické panely, které také dosahují nejvyšší účinnosti (pohybuje se od 17 do 22 %). [72] Jednotlivé články jsou vyříznuty z jednoho krystalu. Nevýhodou monokrystalických článků je jejich cena. Monokrystalické panely lze poznat podle tmavého až černého zabarvení.

2.2.2 Polykrystalické fotovoltaické moduly

Tlak na snížení ceny donutil výrobce využívat méně náročnou technologii výroby, a tak výrobci přišli s polykrystalickým článkem. Ten se oproti monokrystalickému liší v tom, že krystalická zrna jsou náhodně orientována a hranice zrn ve struktuře křemíku způsobuje větší ztráty rekombinací (účinnost dosahující 15 až 17 %). [98] Kromě nižší ceny se polykrystalické panely vyznačují lepším využitím difuzního záření díky své multikrystalické struktuře. Polykrystalické panely mají modré zabarvení.

2.2.3 Tenkovrstvé fotovoltaické moduly

Jedná se o technologie, ve které je vkládána důvěra do dalšího rozvoje FV modulů. Nejsou však tolik široce využívány zejména z důvodu silného poklesu ceny křemíku v posledních 15 letech. Tenkovrstvé solární panely jsou, jak sám název napovídá, založeny na bázi amorfního křemíku, CdTe, CIGS (měď, indium, galium, selen). Nespornou výhodou je díky jejich tenké struktuře možnost je esteticky zakomponovat na místa, na která se tradiční FV moduly dát nemohou a jejich nízká váha (např. na střechy průmyslových podniků nebo právě specifické protihlukové stěny). Nevýhodou je snížená životnost a účinnost (okolo 10 %). [98]



Obr. 14 Podíly instalovaných technologií FVE článků v Německu mezi lety 2012 až 2022 (v GW) [73]

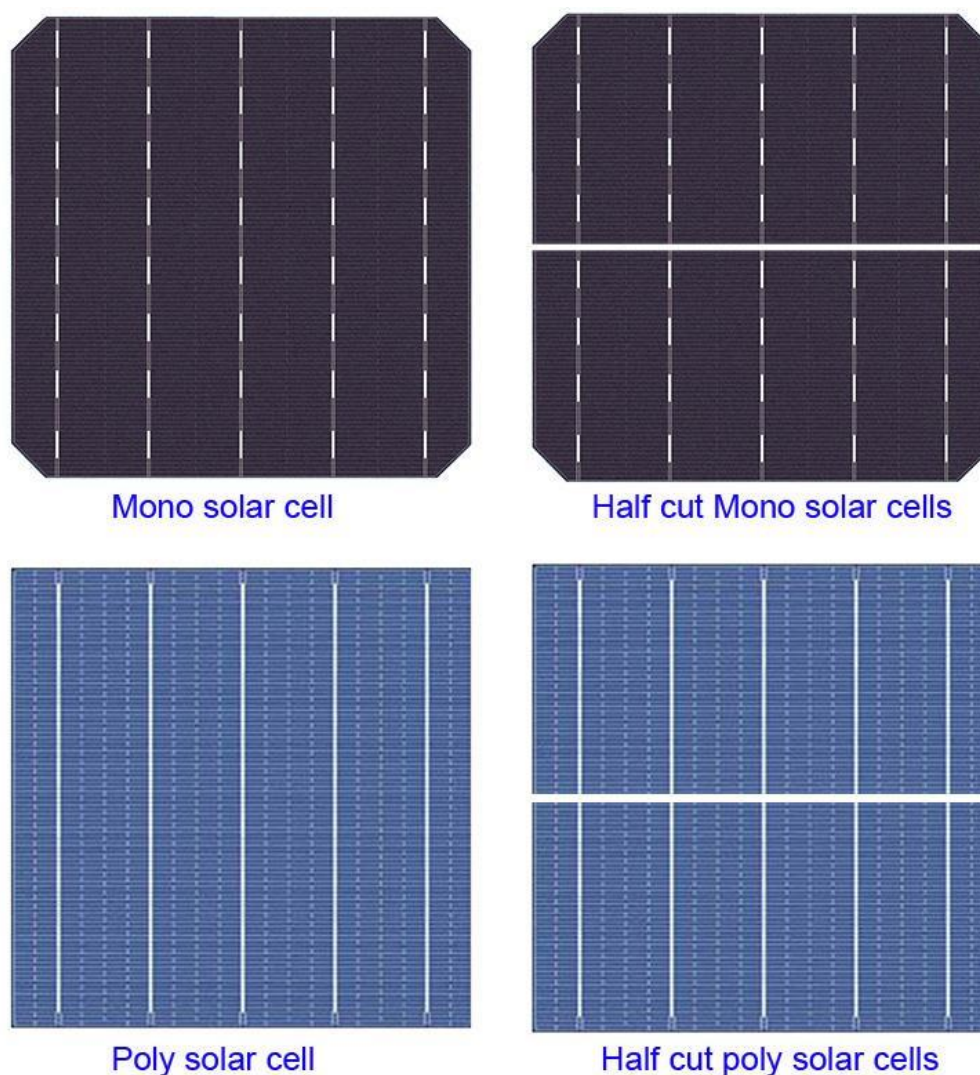
⁵ String je řetězec sériově propojených FV modulů. Podle počtu modulů se dosáhne potřebného elektrického napětí na stringu, které se v sériovém zapojení modulů sčítá. Jednotlivé stringy jsou potom do střídače (případně ještě před střídačem např. v požárním servoodpojovači) spojovány paralelně, čímž se sečte jimi tekoucí elektrický proud. [75]

Z německé studie „Solar Cell Market Analysis By Product And Segment Forecasts: Germany solar cell market installed capacity, by product, 2012-2022“ [73] vyplývá, že podíl polykrystalických FV modulů dosahuje nejvyššího, většinového zastoupení – poměr cena/užitná hodnota splňují ze všech technologií nejlépe (viz Obr. 14). Třetinový podíl připadá na monokrystalické zejména z důvodu největšího zisku energie. Novější technologie založené na CdTe, amorfním křemíku a CIGS se podílí na celkovém instalovaném výkonu méně než 10 %.

Výrobci z velké většiny deklarují pokles účinnosti na 80 % původní kapacity po 25 letech, naprostá většina pak očekává provozování FVE i po skončení státní podpory. K rekonstrukci se majitelé uchylují v 66 % až po uplynutí 16 let provozu. [36]

2.2.4 Half-cell technologie

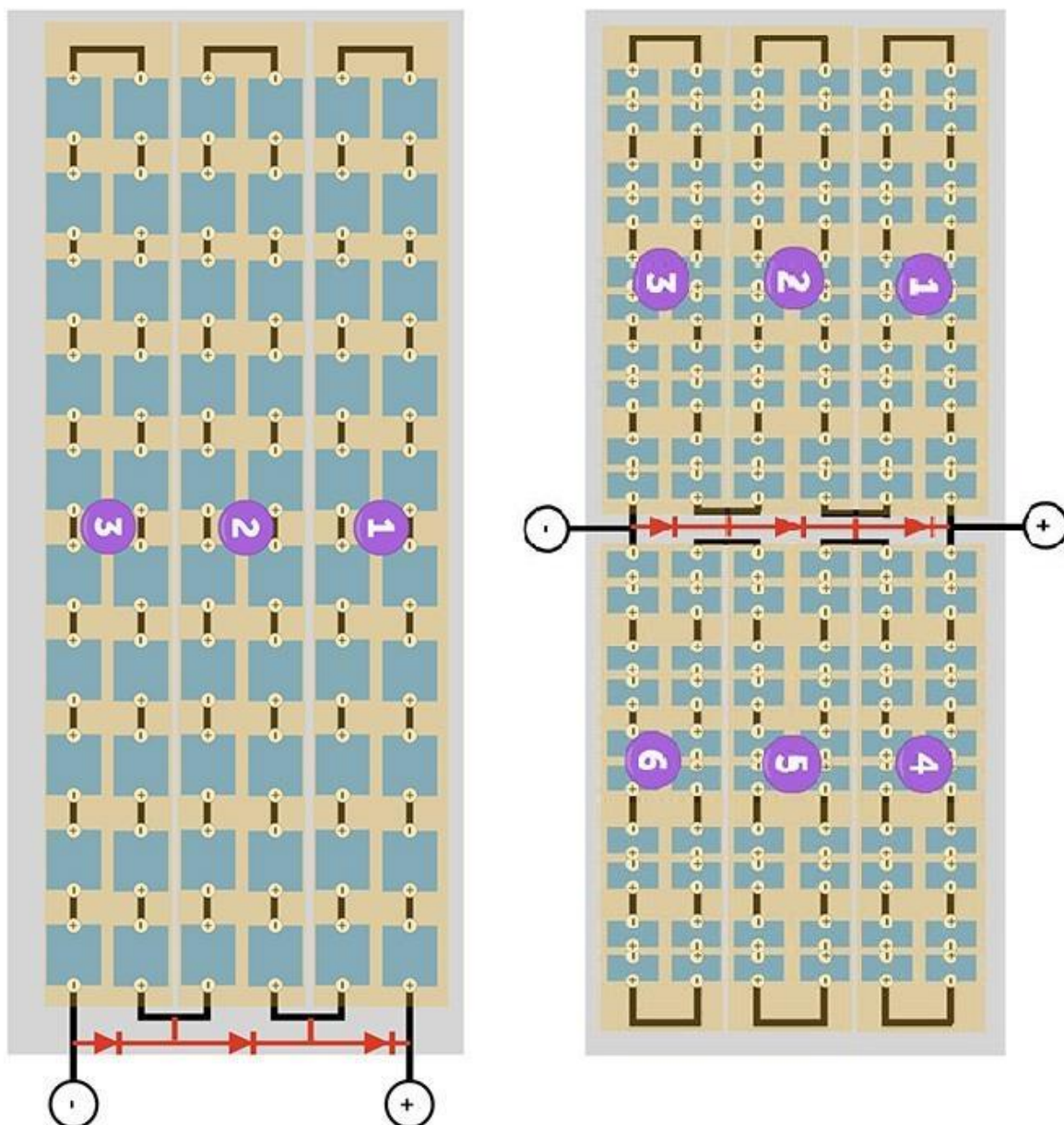
Stále častěji se využívá FV modulů, na nichž jsou místo tradičního celočlánekového provedení umístěny poločlánekové (half-cell) moduly, které přináší celou řadu benefitů.



Obr. 15 Porovnání klasických (vlevo) a half-cell fotovoltaických modulů [74]

Half-cell FV moduly vyrábí i v polostínu. Když se spodní část běžného FV modulu dostane do stínu, přestane celý vyrábět elektřinu. U poločlánekového panelu se to nestane. Pokud je zastíněna jeho dolní polovina, elektřinu stále produkuje jeho horní část a obráceně. Half-cell technologie tedy zajistí výrobu elektrické energie i během ranního svítání a večerního pološera, nebo pokud se na obloze objeví oblačnost. Dále umožní vyšší výkon a nižší ztráty při výrobě. Jestliže se solární

články zkrátí na polovinu, na polovinu se sníží také proud. Díky tomu se zmenší tepelné ztráty, a tak panely s půlenými články za předpokladu stejného zastínění vyrobí víc energie, než by vyrobily klasické panely. FV moduly s poločlánky jsou navíc odolnější než jejich tradiční protějšky. Díky tomu, že jsou half-cell moduly menší, jsou také jednotlivě méně namáhány, a výrazně se tak snižuje riziko popraskání. [74]



Obr. 16 Porovnání schématu zapojení klasického (vlevo) a half-cell fotovoltaického modulu [74]

2.2.5 Výkonové optimizéry

FVE s použitím výkonových optimizérů umožňuje dosažení jejího maximálního možného výkonu. Minimalizuje ztráty FVE způsobené nevhodnou kombinací FV modulů z hlediska jejich druhů, jejich výkonů nebo propojení. Dále snižuje ztráty způsobené částečným zastíněním FV modulů. Dále optimizéry umožňují monitorování stavu jednotlivých FV modulů.

Jednotlivé výkonové optimizéry lze připojit paralelně ke každému FV modulu, čímž se umožní „přemostění“ jednotlivých modulů např. při zastínění. Výkonový optimizér optimalizuje výstupní napětí a umožňuje sledování výkonu a parametrů každého modulu (mimo elektrických parametrů

např. i teploty pro případ přehřívání modulu nebo dokonce požáru). Dále automaticky udržuje konstantní napětí na stringu, čímž umožňuje projektantovi větší flexibilitu v návrhu optimálního FV systému a také vyšší odolnost proti chybám v koncepci. Protože MPPT (viz podkapitola 2.3.1 MPPT regulátor) a řízení napětí jsou řešeny zvláště, střídač se stará pouze o přeměnu stejnosměrného napětí DC na střídavý proud AC. Může tedy jít o méně složité zařízení a tím je spolehlivější. Konstantní napětí na FV modulu zajišťuje stálý provoz s nejvyšší účinností nezávisle na délce stringu a teplotě. Mnoho výrobců nabízí zároveň monitorovací portál: webovou aplikaci, která umožňuje monitorování jednotlivých FV modulů pomocí optimizérů, monitorování stringů i celého systému. Software automaticky upozorní na široké spektrum problémů, které ovlivňují výrobu energie a které by jinak mohly zůstat nepovšimnuty. FVE s výkonovými optimizéry je rozšiřitelná – přidání modulů ke stávající instalaci snadnější. Po celou dobu instalace i údržby je v systému s optimizéry zajištěno bezpečné napětí. [75]

Do budoucna lze očekávat stále častěji nabízené FV moduly přímo s integrovaným výkonovým optimizérem (případně dokonce s integrovaným mikroinvertorem). Takové FV moduly jsou obvykle nazývány „smart panel“ nebo „intelligent module“. [75]

2.3 Fotovoltaické střídače

Střídač je typ měniče pro přeměnu stejnosměrné energie na střídavou. Střídač má tedy na vstupu stejnosměrné veličiny a na jeho výstupu je vyráběná energie přibližně o stejných parametrech, jako jsou v distribuční síti. Střídače jsou ostrovní – off-grid (tedy bez sítě) a síťové – on-grid (schopné provozu pouze se sítí).

On-Grid střídače nejprve automaticky zjistí parametry sítě a pak se ve vhodný okamžik připojí. Tento proces se nazývá přifázování. Po přifázování pracuje střídač paralelně se sítí, proto musí vyhovovat parametrům norem pro zdroje připojené k distribuční soustavě podle platných Pravidel provozování distribuční soustavy [76] a Podmínek připojení. [77]

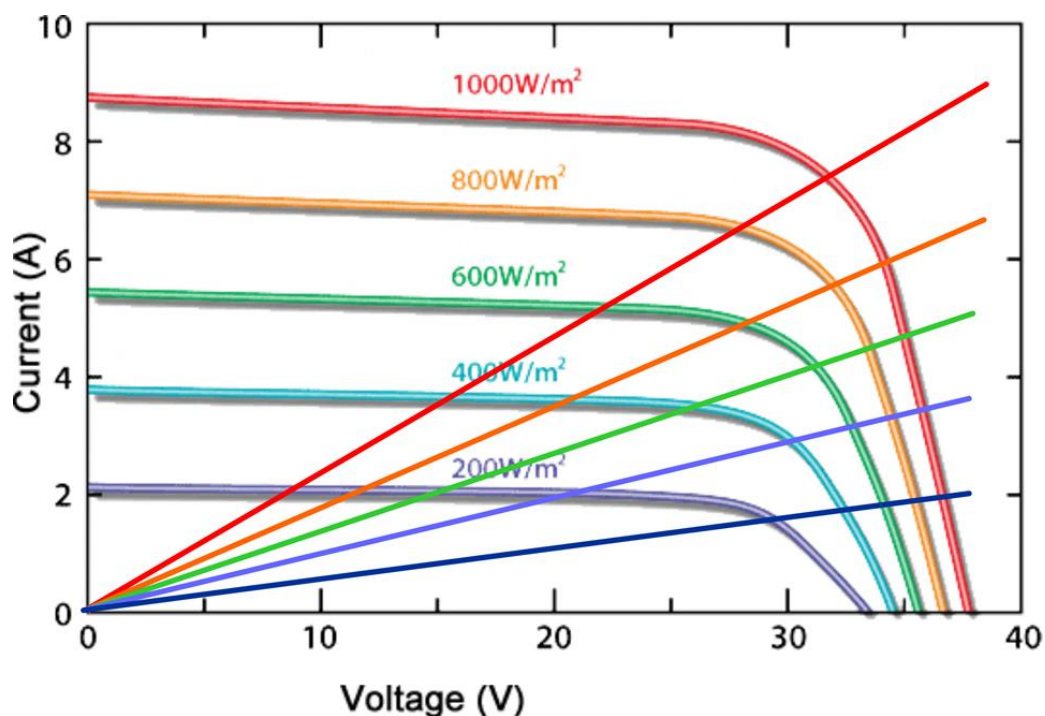
Ve fotovoltaice je dále obvyklé označení měnič pro přístroj, který obsahuje nejen střídač, ale současně i následující komponenty: stejnosměrný měnič (energie z FV modulů má jiné parametry než je třeba pro nabíjení akumulátoru) – navíc pro optimální nabíjení se i potřeba nabíjecích parametrů mění s úrovní nabití baterie. Dále se jedná o usměrňovač (umožňuje nabití baterie například při dlouhodobé nepřízní počasí).

Hybridní měniče samozřejmě usměrňují, střídají, mění a to většinou i současně. Inteligentní elektronika si hlídá vše potřebné, aby provoz byl bezproblémový a bezpečný. Hybridním označením se již obvykle rozumí, že střídač v měniči je schopen jak provozu ostrovního, tak toho paralelního se sítí.

2.3.1 MPPT regulátor

Regulace MPPT (maximum power point tracking) označuje schopnost měniče (případně i každého jednotlivého optimizéru) „sledovat“ bod maximálního výkonu FV modulu. Fotovoltaické panely jsou tzv. nelineární prvky, proto je třeba zatěžovat je (odebírat elektrický proud) podle toho, jaká je zrovna intenzita slunečního záření. Jen tak lze z panelů dostat maximální možné množství energie pro daný aktuální osvit. Ať svítí slunce jakoukoli intenzitou, měnič zajistí, aby byly panely zatěžovány optimálně a dodaly do zátěže – například do topného tělesa bojleru – maximální možný výkon. Z trhu již nyní pravděpodobně úplně vymizely systémy bez MPPT. Solární výkon dopadající na FV moduly se mění neustále. I při dni bez oblačnosti se slunce po obloze pohybuje a mění se jak vrstva atmosféry, kterou musí prosvítit, tak i dopadový úhel. Výkon modulů také závisí na jejich teplotě a tak rozdíl mezi systémem s MPPT regulací a bez ní může být i 30–50 %. [75]

Jak je patrné z obr. 17, MPPT regulátor se tedy pohybuje na křivce voltampérové charakteristiky a hledá bod, ve kterém bude plocha pod křivkou (výkon) největší. Tento bod se nachází pro každou intenzitu slunečního záření v jiném místě voltampérové charakteristiky.



Obr. 17 MPPT regulace [78]

2.4 Technologie akumulace energie

Přírůstek podílu OZE v energetickém mixu se projevuje na potřebě skladovat vyrobenou elektrickou energii. Důvodem je variabilita přírodních podmínek, na které jsou některé OZE závislé. Jedná se primárně o změnu intenzity slunečního záření, větrných podmínek a případně průtoku vody. Využití biomasy a bioplynu je závislé pouze na zásobování – aktuální těžební podmínky a zásoba dřeva, kejdy apod.

Mimo nejdostupnější technologii bateriových úložišť je možné se setkat s akumulací energie za pomoci mechanické energie (stlačení vzduchu, přečerpávací elektrárny), výrobou vodíku (elektrolýza vody, termochemická reakce) a využití uložení tepla nebo chladu (princip ukládání latentního tepla za pomoci tekutých solí či organických olejů). Tyto technologie jsou však technologicky značně náročnější než koupě akumulátorové baterie a podstatně dražší. V budoucnu může dojít ke snížení jejich ceny a využitelnosti pro širší veřejnost.

2.4.1 Bateriové úložiště

Navýšením počtu FVE začala být aktuální otázka jejich řízení v době, kdy jejich přechodné děje z plně osvětlených panelů (maximální výkon) se v řádech minut, či dokonce sekund přesunou do plně nebo částečně zastíněných (žádný či částečný výkon). Tyto výkyvy dodávaného výkonu do sítě se řeší různými zdroji podpůrných služeb. Pokles ceny bateriových systémů postupně navýšil jejich důležitost. Setkáme se jednak s velkými bateriovými úložišti (BESS – battery energy storage system) v o instalovaném výkonu větším než 1 MW a s malými domovními úložišti, která pomáhají domácnostem využít jinak nespotřebovanou energii z doby, kdy jejich výroba převyšuje poptávku na dobu, kdy naopak mají nadbytek spotřeby nad výrobou (příkladem je využití FVE – přes den je výroba větší než spotřeba, baterie se nabíjí, po západu slunce nastane opak).

Důležitost bateriové akumulace uvádí i již zmíněný Národní akční plán pro chytré sítě (NAP SG) [55], který počítá jak s využitím velkých bateriových úložišť pro podpůrné služby (pokud splní požadované parametry jako je délka poskytované služby, její výkon apod.), tak s menšími pro vyrovnání výkyvů OZE. Nevýhodou je v současné době neexistující definice BESS české legislativě, která brání většímu nasazení velkých bateriových systémů. Postupným vytlačováním točivých

zdrojů založených na fosilních palivech a adaptaci BESS do legislativy lze očekávat, že dojde k navýšení instalované kapacity BESS a jejich využití. [79][80]



Obr. 18 Bateriové úložiště společnosti ČEZ v Tušimicích [80]

Projekty fotovoltaických protihlukových stěn zejména v kombinaci s např. energetickou komunitou větších velikostí se pravděpodobně pro zajištění ekonomické efektivity neobejdou bez využití větších BESS.

2.4.1.1 Technologie bateriových úložišť

Výběr technologie baterie se odlišuje podle způsobu jeho využití. Určité technologie jsou vhodné pro dlouhotrvající zadržení energie s malou mírou vybití, jiné mají možnost rychlého nabití a vybití. Konečný výběr závisí na zohlednění několika faktorů, mezi kterými najdeme primárně ekonomiku provozu, životnost a samotnou kapacitu. [81]

Instalovaná kapacita se pohybuje v řádech jednotek kWh pro domovní využití, které napomáhá lepšímu využití vyrobené elektřiny převážně z FVE v rámci dne, přes desítky kWh pro menší firemní instalace, jež jsou vhodné pro snížení energetických špiček odběru (tím napomůžou ke snížení velikosti jističe a s tím spojené fixní platby za jistič), až po stovky kWh podniků s velkým odběrem, které dokážou výrazně pomoci s energetickým hospodářstvím firmy. [81]

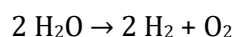
Z následující tabulky 2 je patrné, že nejpoužívanější a nejpravděpodobnější technologii při výběru bateriového úložiště je technologie NMC. Na zvážení vhodnou přichází v úvahu ještě technologie LFP. Složení těchto baterií není tvořené pouze přímo prvky, jak je vidět ve výpisu v tabulce, ale jedná se o kombinaci jejich oxidů. Podle článku [80] dosahovala v roce 2020 cena kontejnerového úložiště o kapacitě 1 MWh ceny 17 milionu CZK. Nasazení bateriového úložiště musí být vždy dobře zvážená investice.

Typ baterie	Složení	Vlastnosti	Doba životnosti	Využití
Nikl-kadmiové	Nikl, kadmium	+Velice odolné -Nutná údržba (dolévání destilované vody) -Malá hustota energie -Nutnost akumulátorovny -Ekologické normy	Dlouhá (téměř neomezená)	Záložní baterie vlaků, nouzová svítidla, vojenské aplikace
Olověné	Olovo	+Možnost hlubokého vybití – Nutná dvojnásobná kapacita kvůli optimálnímu vybití 50 % -Nutnost akumulátorovny s odvětráváním	1000 plných cyklů (při běžném provozu 10 let), poté snížení kapacity	Trakce
Lithiové (obecně)	Lithium	+Bezúdržbové +Hermetičnost +Není třeba speciálního prostoru -Pořizovací cena	Dle technologie, viz níže	viz NMC, LFP, LTO
NMC	Lithium, nikl, mangan, kobalt	+Postupně snižující se napěťová křivka (kontrola stavu baterie)	1000 až 4000 cyklů	Elektromobilita, mobilní aplikace, nejpoužívanější typ baterií
LFP	Lithium, železo, fosfor	+Levnější oproti NMC +Delší životnost oproti NMC při vhodných podmínkách (stacionární použití) +Prověřená technologie -Plochá vybíjecí křivka	Přes 2000 cyklů	Levnější BESS
LTO	Lithium, titan	+Pojmou vysoké proudy +Bezúdržbové pro odlehlé aplikace -Cena -Nízká hustota energie -Nutnost chlazení	7000 cyklů (i více)	Vysílačky, majáky, vyrovnávací baterie

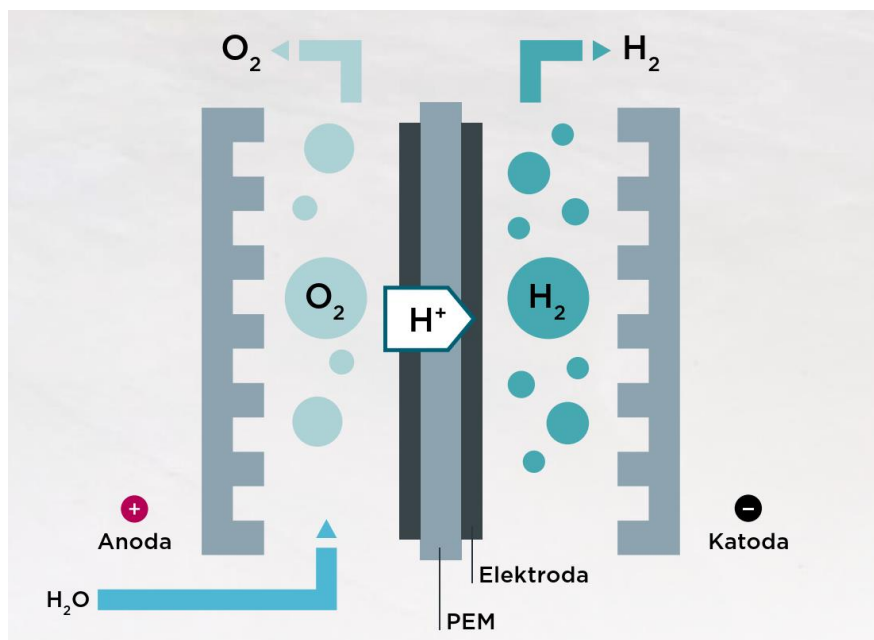
Tab. 2 Technologie baterií a jejich vlastnosti ^[81]

2.4.2 Vodíkové úložiště

Z energetického hlediska lze vodík označit za palivo s vysokou energetickou hustotou, které při spalování neprodukuje žádné škodlivé látky do ovzduší. Většina vyrobeného vodíku v současnosti pochází z fosilních paliv. Pouze velmi nízký podíl se vyrábí pomocí elektrolýzy z vody. Jedním ze způsobů výroby vodíku je PEM (proton exchange membrane) elektrolýza vody, která využívá elektrolyzátoru s protonově vodivou polymerní membránou. Výroba vodíku probíhá podle následující chemické reakce. ^[167]



Dochází zde k rozkladu vody při průchodu stejnosměrného proudu. Vedlejším produktem je kyslík a teplo. Účinnost tohoto způsobu výroby se obvykle pohybuje v rozmezí od 65 % až do 80 % při použití nejnovějších experimentálních technologií, které jsou však zatím uskutečňovány spíše ve výzkumných laboratořích než v průmyslové výrobě. Po extrakci vodíku ho lze využít v palivových článcích ke zpětnému získání energie elektrochemickým procesem sloučením vodíku s kyslíkem za vzniku elektřiny a tepla. Výhodou vodíku je možnost jeho rychlého čerpání a vysoká energetická hustota, ale nevýhodou je, že při jakémkoliv využití vodíku např. pro osobní auta je nutná další komprese. Navíc částice vodíku mají menší velikost a jsou lehčí v porovnání např. s metanem, proto s sebou vodíkové nádrže a uložště přinášejí vyšší nároky na těsnění a použité materiály. [167]



Obr. 2. Elektrolýza [167]

2.5 Vliv fotovoltaiky na životní prostředí

Každý zdroj energie je vhodné pro porovnání dopadu na životní prostředí posoudit metodou tzv. life cycle assessment (LCA – metoda posuzování životního cyklu produktu nebo služby z hlediska jeho působení na životní prostředí).

Fotovoltaika se řadí mezi obnovitelné zdroje energie. Při samotné výrobě elektrické energie tímto způsobem nejsou přímo produkovány žádné škodlivé látky do ovzduší, nevzniká hluk a FV moduly nevyžadují příliš nákladnou údržbu. Negativní externality se ale vyskytují i u OZE. Výroba FV článků má stejně jako každá průmyslová velkovýroba negativní vlivy na životní prostředí. Očekávaná doba životnosti FV modulů je však zhruba 25-30 let a za tuto dobu se emise vzniklé při výrobě vykompenzují při uvažování nahrazení především stávajících fosilních vysokoemisních zdrojů energie jako je např. uhlí pomocí FVE. Dlouhodobý vliv výstavby nového instalovaného výkonu FVE na životní prostředí je tedy spíše pozitivní. Kromě skla, které tvoří zhruba 63 % hmotnosti každého panelu, se při výrobě užívají hliník a některé vzácné či těžké (polo)kovy jako křemík, stříbro, měď nebo olovo. Ačkoliv má samotný FV modul daleko k toxickému nebo jinak nebezpečnému odpadu, přeci jenom může obsahovat nebezpečné látky. FV články v moderních velkovýrobnách už však vznikají v uzavřených prostorách, kde lze lépe zamezit případnému úniku škodlivých látek do okolního prostředí. Zákon nařizuje, aby použité materiály byly lehce a vysoce recyklovatelné. [167][168][169]

KAPITOLA 3: OPATŘENÍ KE SNIŽOVÁNÍ HLUKU Z DOPRAVY

Podíváme-li se na problematiku hluku z historického hlediska, lze říci, že i když lidstvo škodlivý důsledek nárůstu hlavně hustoty dopravy ovlivňoval skoro celou druhou polovinu dvacátého století, první ucelené mapování hluku v Evropě proběhlo až v roce 2007. To prokázalo, že až 40% evropské populace je vystaveno zdraví škodlivým hodnotám hluku. V České republice je nejvíce zasaženo hlavní město, kde je nadlimitním hlukem zasaženo 12,9 % obyvatel – z toho 95 % hluku je tvořeno právě silniční dopravou. Proto se stále více uplatňuje aplikace protihlukového opatření v podobě staveb protihlukových clon.

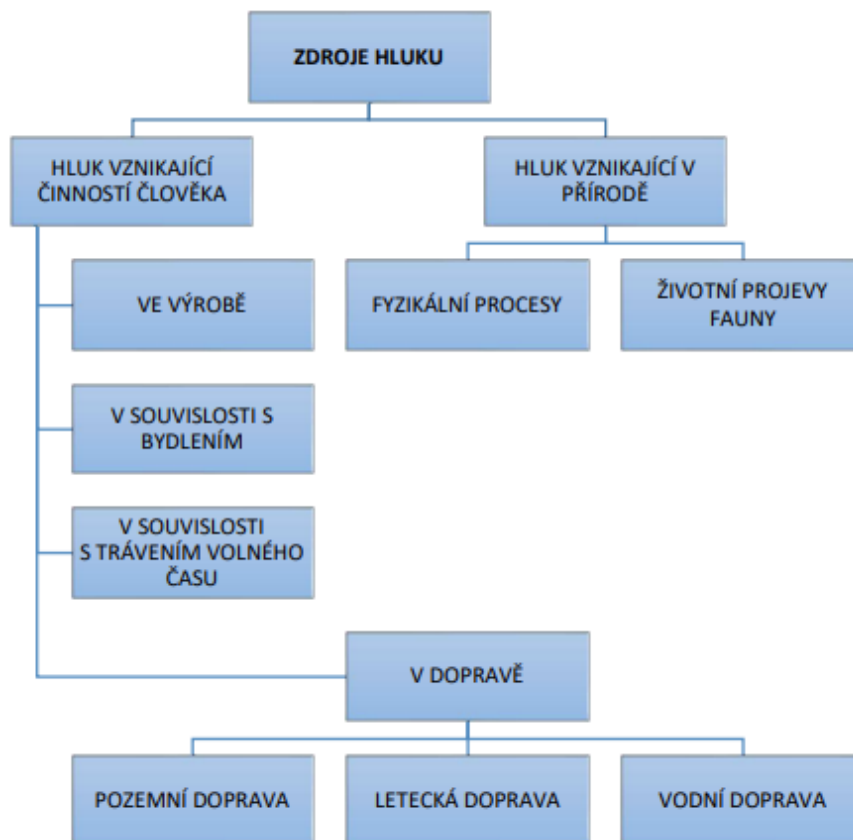
Protihlukové stěny se v USA začaly stavět už v roce 1969 jako reakce na nový zákon o ochraně přírody, hlavně v okolí rezidenčních čtvrtí. Konkrétně se jednalo o kalifornské San Francisco. Zde také vznikaly první matematické metody pro návrh a hodnocení jejich účinnosti. Velký rozvoj zaznamenaly PHS ve světě i v ČR hlavně v 90. letech, kdy doprovázely prakticky všechny silniční a železniční stavby. V posledních letech se však vlivem hospodářského útlumu začalo mimo ekologických vlastností stěn více řešit také jejich ekonomické hledisko.

Hlavním důvodem k tomuto krátkému historickému shrnutí je konstatování rostoucího pozitivního názoru veřejnosti, že protihlukové stěny jsou nezbytnou součástí nejen všech dopravních staveb, hlučných průmyslových provozů či developerských projektů, tedy stávají se přirozenou součástí našeho životního prostředí.

3.1 Zdroje hluku z dopravy

Hluk je definován jako každý zvuk, který může být škodlivý pro zdraví nebo může být jinak nebezpečný. [83]

Hluk nelze přesněji definovat, protože vnímání zvuku, a tedy i hluku, je velmi subjektivní, jelikož vyplývá ze sluchových dispozic každého člověka. Základní rozdělení zdrojů hluku v závislosti na jeho vzniku jsou uvedeny na následujícím obr. 19.



Obr. 19 Rozdělení zdrojů hluku [172]

Zvuk je přirozeným projevem přírodních jevů i života člověka. Sluch jako jeden ze základních smyslů využívá zvuk jako zdroj informací a poplašných signálů. Pokud je ale člověk vystaven nadměrně silnému zvuku, může mít tato skutečnost negativní vliv na jeho fyzický a psychický zdravotní. Doprava je jedním z nejvíce obtěžujících a zároveň nejběžnějších zdrojů hluku. Růst intenzity dopravy a tím i její hlučnosti je problémem zejména na pozemních komunikacích ve velkých městech, v blízkosti hlavních silnic a velkých křižovatek. Šíření hluku v těchto místech je závislé na klimatických podmínkách, okolní zástavbě a druhu povrchu okolního terénu. [172]

3.1.1 Zdroje hluku v silniční dopravě

Pro celkové emise hluku silničních vozidel v současné době platí limit 74 dB pro osobní automobily a 80 dB pro nákladní. Hluk způsobený pohybem vozidel je vyzařován do okolí z více zdrojů. Hlučnost je ovlivněna kategorií a technickým stavem vozidla, technickým stavem vozovky i rychlostí vozidla. Šíření hluku je ovlivněno uspořádáním okolního terénu, popř. zástavby a klimatickými podmínkami. Celková hlučnost vozidla je složena z následujících základních složek. [173]

- Hluk způsobený hnacími agregáty závisí na konstrukčním řešení daného vozidla, uložení a provozním charakteru agregátu, na všech mechanických součástech zajišťujících přenos výkonu z motoru na poháněné nápravy automobilu (motor s pomocnými agregáty, sání, výfuk, převodové ústrojí, chlazení, hluk z drobného pohybu částí karoserie) Převažuje při nižších rychlostech vozidla (do 30 km/h u osobních automobilů, do 50 km/h u nákladních) a závisí i na technickém stavu vozidla. Např. v případě elektromobilu je pak úroveň hluku v těchto rychlostech výrazně nižší díky elektrickému pohonu.
- Hluk způsobený kontaktem pneumatiky s vozovkou vzniká odvalováním pneumatiky po vozovce a je závislý na rychlosti jízdy, stavu vozovky i pneumatiky a šířce použitých pneumatik. Je dominantní při vyšších rychlostech než u hluku způsobeného hnacími agregáty. Závisí nejen na pneumatice ale i na stavu vozovky.
- Aerodynamický hluk vzniká obtékáním vozidla vzduchem při pohybu a roste současně s rychlostí, dominantním se stává až při rychlostech nad 200 km/h.

3.1.2 Zdroje hluku v železniční dopravě

Pohybující se vlaková souprava vysílá do okolí zvukové vlny z více zdrojů, stejně jako doprava automobilová. Celková hlučnost soupravy závisí na jejích konstrukčních vlastnostech a technickém stavu, technickém stavu tratě, konstrukci železničního svršku a rychlosti jízdy. [174]

- Valivý hluk vzniká stykem kola s kolejnicí, v této ploše vznikají vibrace, které se dále od kola i kolejnice šíří jako hluk. Je obvykle dominantní v rychlostech od 60 do 200 km/h.
- O vlivu trakce obecně platí, že hlučnost lokomotiv s elektrickou trakcí je nižší než u motorových. Hluk trakce je dominantní v rychlostech do 60 km/h.
- Aerodynamický hluk vzniká prouděním vzduchu okolo soupravy. Roste s rychlostí jízdy a dominantním bývá v rychlostech, blížících se 300 km/h.

Dále vzniká také lokální dopravní hluk. Jedná se hluk vyvolaný brzděním soupravy, drážním rozhlasem popř. provozem zabezpečovacích zařízení. Na celkovou hlučnost dráhy má samozřejmě vliv také provedení železničního svršku, tedy způsob uchycení kolejnic, dále nerovnosti kolejnic, tzv. vlnovitost⁶ kolejnic a stav štěrkového lože. V ČR je v současné době maximální povolená

⁶ Vlnovitost kolejnice (short pitch corrugation) označuje periodické nerovnosti temene hlavy kolejnice. Vlnová délka je obvykle od 10 mm do 100 mm. [84]

rychlost vlakových souprav 160 km/h, a to jen na vybraných úsecích (koridorech). Tedy mezi nejvýznamnější protihluková opatření v oblasti železniční dopravy patří ta, která zabrání či omezí šíření hluku vycházející ze styku kola soupravy s kolejnicí.

3.2 Útlum hluku a zvuku

Hluk je z fyzikálního hlediska zvuk (akustický signál), tedy mechanické vlnění pružného prostředí, které se šíří od svého zdroje rozkmitáním částic prostředí kolem jejich rovnovážné polohy a které lze popsat fyzikálními veličinami, ať už u jeho zdroje (emise), nebo pokud se šíří prostředím (imise). Zvuk lze tedy charakterizovat velkým množstvím fyzikálních veličin.

Pojem útlum zvuku značí přirozené či umělé snížení hladiny akustického tlaku. V ideálním prostředí se zvuk šíří volně všemi směry bez ztrát a pokles akustických veličin je způsoben jen vlivem zvětšující se vzdálenosti od zdroje. V reálném prostředí dochází ke ztrátám vlivem prostředí. Nejdůležitějšími složkami útlumu jsou: ^{[175][176]}

- útlum vlivem absorpce ve vzduchu
- útlum vlivem mlhy, deště a sněhu
- útlum způsobený gradienty teploty a větru
- útlum vlivem překážky

3.2.1 Útlum vlivem absorpce ve vzduchu

Zvuková vlna prostupující homogenním prostředím ve vzduchu ztrácí svou energii vlivem vedení a vyzařování tepla, viskozity a difúze. Tento jev je nazýván klasickou absorpcí, která je úměrná kvadrátu frekvence zvuku a je nezávislá na vzdušné vlhkosti. Dalším procesem, který odebírá energii, je molekulární absorpce, která souvisí s uvolňováním kyslíku ve vzduchu. Molekulární absorpce závisí na frekvenci zvuku, ale i na jeho vlhkosti. Ve většině případů převyšuje molekulární absorpce absorpci klasickou. ^[175]

3.2.2 Útlum vlivem mlhy, deště a sněhu

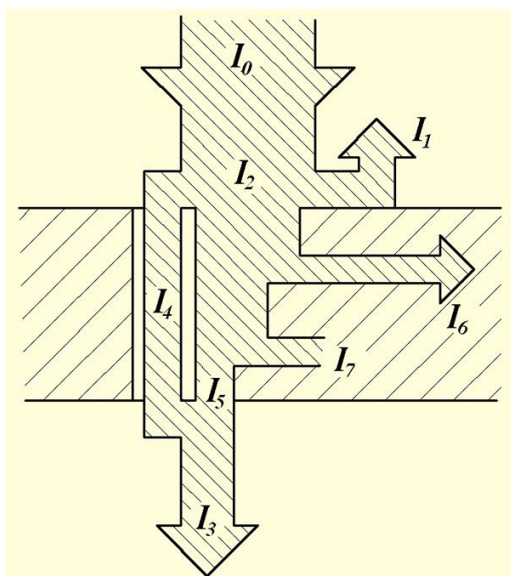
V mlhavých dnech či dnech se slabými sněhovými přeháňkami se „nese“ zvuk dále než za jasných dnů. Tento jev není přisuzován akustickým vlastnostem mlhy, deště nebo sněhu, ale nízkým teplotním a větrným gradientům. Útlum je tedy za těchto podmínek malý. ^[175]

3.2.3 Útlum způsobený gradienty teploty a větru

Ve venkovním prostoru se téměř vždy setkáme s gradienty teplot a větru. Vlivem těchto gradientů dochází ke změně rychlosti zvuku v závislosti na výšce nad terénem a k lomu zvukových vln. Za těchto podmínek může vzniknout tzv. oblast akustického stínu, tedy oblast, kam energie vlny nepronikne. ^[175]

3.2.4 Útlum vlivem překážky

Umístěním stěn, budov a jiných velkých tuhých překážek mezi zdrojem a příjemcem zvuku lze dosáhnout většího poklesu intenzity zvuku. Tento tzv. zvukový stín závisí na rozměru překážky a na vlnové délce šířícího se zvuku. Umístěním překážky ve směru šíření zvukové vlny dochází k odrazu zvuku od překážky nebo k částečnému průchodu zvuku překážkou v závislosti na jejích materiálových charakteristikách. ^[176]



Vysvětlivky k obrázku:

- I1 – intenzita zvuku vlny odražené,
- I2 – intenzita zvuku vlny pohlcené,
- I3 – intenzita zvuku vlny vyzářené za stěnu celkem,
- I4 – intenzita zvuku vlny prošlé za stěnu otvory a póry,
- I5 – intenzita zvuku vlny, kterou stěna vyzáří v důsledku svého ohybového kmitání do druhého poloprostoru,
- I6 – intenzita zvuku vlny, která je vedena ve formě chvění do ostatních částí přiléhajících konstrukcí,
- I7 – intenzita zvuku přeměněná ve stěně na teplo.

Obr. 20 Bilance akustické energie při dopadu zvukové vlny na stěnu [85]

Odraz zvuku od překážky (intenzita odražené vlny) závisí především na pohltivých vlastnostech odrazivé plochy a vlnové délce signálu. Při dopadu zvukové vlny na plochu s ideální odrazivostí dochází k odrazu podobně jako u světelných paprsků, tedy úhel dopadu paprsku se rovná úhlu dopadu. V reálných podmínkách dochází k odrazu zvuku s částečným útlumem a částečným průchodem zvuku překážkou.

Při dopadu zvukové vlny na překážku nedochází pouze k jejímu odrazu, ale i k částečnému útlumu vlny v překážce a částečnému průchodu překážkou. Část energie vlny, která vnikne do překážky, kde dále proniká netěsnostmi a póry může stěnu rozkmitat a tím vzniká nový zdroj vlnění. Energetická bilance je znázorněna na obr. 20.

Na základě energetické bilance dopadu zvukové vlny na překážku lze určit schopnost konstrukce pohlcovat zvuk a zvukovou propustnost materiálu.

3.3 Účinky hluku a jeho vliv na okolí

K vyjádření účinků hluku na člověka se používá hladina hluku vyjádřená v decibelech [dB], korigovaná frekvenčně pomocí pásmového váhového filtru. Filtr je použit z důvodu rozdílné citlivosti lidského ucha na hluk různého kmitočtu. Nejpoužívanějším váhovým filtrem hluku z dopravy je filtr s označením A. V reálném prostředí má většina hluků proměnný charakter, a proto se k vyhodnocení jejich účinků používá průměrná úroveň sumy hladin akustického tlaku, která působila v daném čase. Tato průměrná hladina je označována jako ekvivalentní hladina hluku. Rizika hlukové expozice jsou pak vyjádřena stanovením nejvýše přípustných hladin hluku. Tyto přípustné hladiny jsou obsahem zákona č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví. [83]

Účinky působení nadměrného hluku na člověka lze rozdělit na:

- obtěžující účinek hluku, který nelze snadno kvalifikovat, jeho dopad je různý vzhledem k zdravotním dispozicím, pocitům a dojmům zasažené osoby,
- škodlivý účinek hluku, který je vyvolán nadměrně vysokou hladinou hluku. Tyto účinky již mohou mít vliv na psychiku osob a vyvolat nezvratné změny na sluchovém aparátu člověka.

Škodlivé účinky hluku na člověka dále můžeme dělit na specifické a systémové. Specifické (sluchové) účinky postihují činnost sluchového ústrojí (akutní akustické trauma, explosivní akustické trauma, chronické akustické trauma). Systémové (mimo sluchové) účinky mají vliv na

regulační procesy organismu, a mohou se projevit poruchami kardiovaskulárního systému, metabolismu, spánku i psychické výkonnosti člověka. [173]

3.4 Strategické hlukové mapování a akční plánování

České republice vznikla vstupem do EU povinnost zpracovat do svého právního řádu mnoho různých dokumentů. Některé z nich se týkaly i problematiky hlukové oblasti. Zejména se jednalo o směrnici Evropského parlamentu a Rady 2002/49ES, [94] která základní principy hlukové oblasti vymezuje a určuje. Členskými státy přímo ukládá povinnost hlukové mapování sledovat. Jednotlivé státy proto musí vypracovat strategické hlukové mapy, které mají za úkol zobrazit stávající hlukovou situaci na jejich území pro:

- hlavní pozemní komunikace,
- hlavní železniční tratě,
- hlavní letiště,
- aglomerace.

V návaznosti na tuto směrnici byla vydána vyhláška č. 523/2006 Sb. o hlukovém mapování (zrušena k 20.12.2018, nahrazena vyhláškou č. 315/2018 Sb. [95]), kterou byly stanoveny mezní hodnoty hlukových ukazatelů, jejich výpočet a základní požadavky na obsah hlukového mapování a akčních plánů.

Pro hlukové mapování jsou dle § 2 vyhlášky č. 315/2018 Sb. hlukovými ukazateli a jejich mezními hodnotami: [95]

- hlukový ukazatel den-večer-noc pro celodenní obtěžování hlukem L_{dvn} ,
- hlukový ukazatel den pro obtěžování hlukem během dne L_d ,
- hlukový ukazatel večer pro obtěžování hlukem během večera L_v ,
- hlukový ukazatel noc pro rušení spánku L_n . [95]

Pro hlukové ukazatele pro den-večer-noc L_{dvn} a pro noc L_n jsou stanoveny tyto mezní hodnoty:

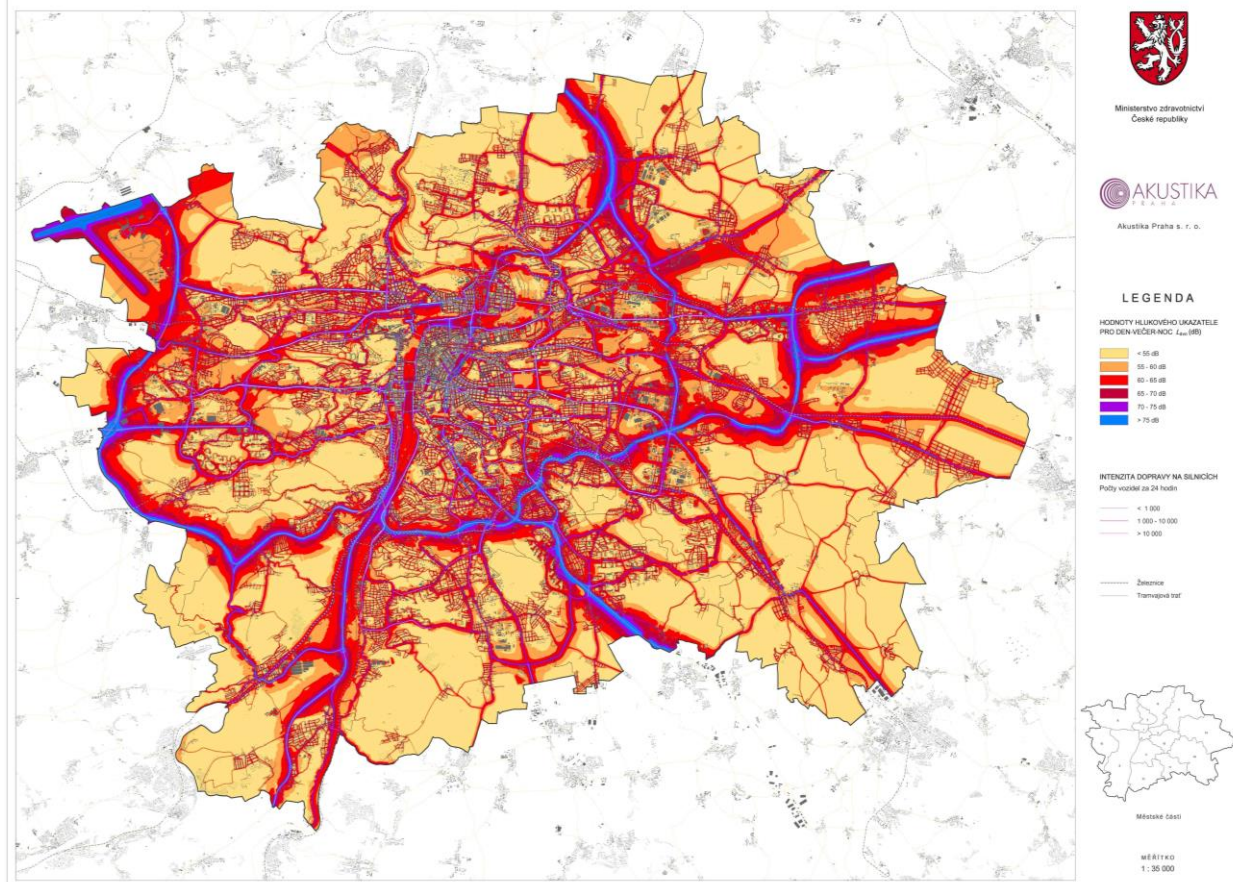
- pro silniční dopravu L_{dvn} se rovná 70 dB a L_n se rovná 60 dB,
- pro železniční dopravu L_{dvn} se rovná 70 dB a L_n se rovná 65 dB,
- pro leteckou dopravu L_{dvn} se rovná 60 dB a L_n se rovná 50 dB,
- pro integrovaná zařízení L_{dvn} se rovná 50 dB a L_n se rovná 40 dB.

Den je pro tento účel definován jako 12 hodin v rozmezí od 6:00 hodin do 18:00 hodin, večer jsou 4 hodiny v rozmezí od 18:00 hodin do 22:00 hodin a noc je 8 hodin v rozmezí od 22:00 hodin do 6:00 hodin. Výsledná zpracovaná strategická hluková mapa je mapou plošného typu, která zobrazuje pomocí hlukových ukazatelů údaje o stávající hlukové situaci v pásmech po 5 dB a má sloužit jako podklad pro strategické rozhodování o řešení hlukové zátěže v daném území. [95]

Výsledná zpracovaná strategická hluková mapa je mapou plošného typu, která zobrazuje pomocí hlukových ukazatelů údaje o stávající hlukové situaci v pásmech po 5 dB a má sloužit jako podklad pro strategické rozhodování o řešení hlukové zátěže v daném území.

V ČR stejně jako v jiných zemích EU byly hlukové mapy zpracovány, jak již bylo zmíněno v úvodu kapitoly, poprvé v roce 2007. Jejich aktualizace probíhá v pravidelných cyklech. Ministerstvo zdravotnictví zahájilo v roce 2019 přípravu dalšího, již 4. kola, strategického hlukového mapování, jehož publikování předpokládá v průběhu roku 2023. [97]

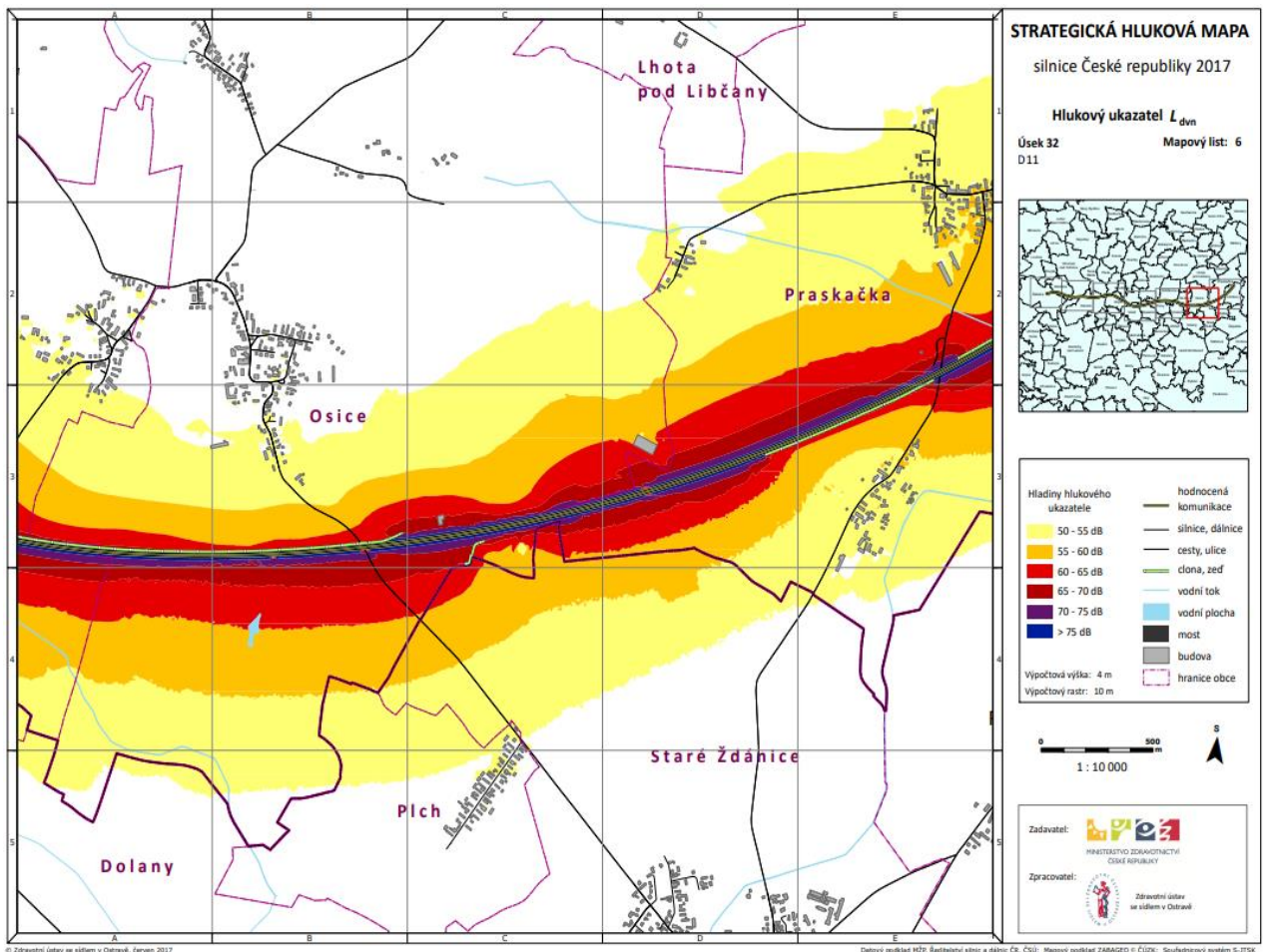
STRATEGICKÁ HLUKOVÁ MAPA AGLOMERACE PRAHA 2007



Obr. 21 Strategická hluková mapa Prahy (hlukový ukazatel L_{den}) [96]

Na základě strategických hlukových map jsou vypracovávány studie, tzv. „akční plány“ pro sledované lokality, které navrhuji řešení hlukové situace v území. Akční plán by měl především vymezovat území, pro které je pořízen, dále by měl popisovat zdroje hluku. Součástí akčního plánu by také měly být všechny platné mezní hodnoty hlukových ukazatelů podle § 2 vyhlášky č. 315/2018 Sb. a souhrny výsledků strategického hlukového mapování. To znamená odhadovaný počet staveb pro bydlení, škol a lůžkových zdravotnických zařízení vystavených hodnotám hlukového ukazatele, uvedeného v příloze č. 2 k této vyhlášce, v oblasti, pro kterou se pořizuje akční plán. [95]

Přílohou č. 4 k této vyhlášce je pak i hodnocení škodlivých účinků hluku na populaci na základě vztahů mezi dávkou a účinkem. Do akčního plánu je třeba zařadit všechny realizované, prováděné nebo dosud schválené programy na snižování hluku s uvedením data zahájení a ukončení jejich realizace. A to včetně vyhlášení tichých oblastí v aglomeraci, odhady snížení počtu osob vystavených hluku v denní a noční době, které tyto programy přinesou. Plán by měl zahrnovat také opatření, která pořizovatelé plánují přijmout nebo realizovat v příštích 5 letech. Mělo by být uvedeno datum předpokládaného zahájení a ukončení, včetně návrhů na vyhlášení tichých oblastí v aglomeraci a opatření k jejich ochraně. V neposlední řadě je velmi důležitý odhad nákladů a hodnocení jejich efektivnosti, hodnocení nákladů a přínosů ochrany před hlukem, zejména s ohledem na počet osob, v jejichž prostředí dojde ke snížení hluku. [95]



Obr. 22 Strategická hluková mapa úseku dálnice D11 u obce Osice (hlukový ukazatel L_{dvn}) s vyznačenými protihlukovými stěnami a jejich patrným vlivem na šíření hluku [98]

3.5 Technologie dopravních protihlukových opatření

Snížení účinků hluku z dopravy lze provést pomocí opatření, které lze dělit na protihluková opatření aktivní a pasivní. Aktivní opatření snižují hlukové emise u zdroje. Mezi tato opatření můžeme zařadit základní skupiny urbanistické, architektonické, dopravně organizační nebo technická opatření přímo na vozidlech.

Pasivní protihluková opatření chrání obyvatelstvo před nadměrnou hlukovou zátěží. Mezi pasivní protihluková opatření se řadí:

- zemní valy,
- protihlukové stěny,
- polovegetační valy/stěny,
- drátokamenné (gabionové) konstrukce,
- překrytí.

Pasivní protihluková opatření v podobě protihlukových stěn (také nazývané clony nebo bariéry) patří mezi nejčastěji používaná protihluková opatření. Umisťují se do prostoru mezi zdrojem a příjemcem hluku. Jejich hlavním účelem není snížit hlukové emise dopravy v místě jejich vzniku, ale zabránit jejich šíření dále zejména do obydlených území a zajistit tak ochranu zdraví obyvatel před účinky hluku. [172]

Kromě protihlukových clon se do pasivních protihlukových opatření řadí i protihlukové úpravy přímo na pozemních objektech, zasažených nadlimitním hlukem z dopravy. Ty mají smysl v případech, kdy již není žádná jiná možnost redukce dopravního hluku a lze je realizovat pomocí:

- dotěsnění otvorů,
- doplnění výplně otvoru další vrstvou,
- speciální typy výplní otvorů,
- průhledné předstěny,
- akustické absorpční obklady. ^[172]

3.5.1 Protihlukové stěny

Jde o jednostranně nebo oboustranně akusticky pohltivé (absorpční) nebo odrazivé panely různých materiálových a konstrukčních provedení zasunuté mezi sloupky, které mohou být kotvené do kalichů, plošných základů, pilot⁷ nebo případně mikropilot. Pro protihlukové stěny (PHS) se převážně používají ocelové nebo betonové sloupky průřezu H (ocelové nosníky HEB, HEA). ^[61] Stěnové dílce mohou být:

- betonové, železobetonové, z předpjatého betonu, z mezerovitého betonu,
- kombinované s kovovým pláštěm z profilovaných plechů,
- celodřevěné,
- dřevěné s pohltivou vložkou,
- dřevocementové,
- zděné z cihel a tvárnic,
- z bezpečnostního skla,
- z akrylátů,
- z polykarbonátů,
- z plastů nebo recyklovaných plastů,
- kombinované s pohltivými povrchy z pryže, epoxidů, polymerních kompozitů, keramické apod. ^[61]

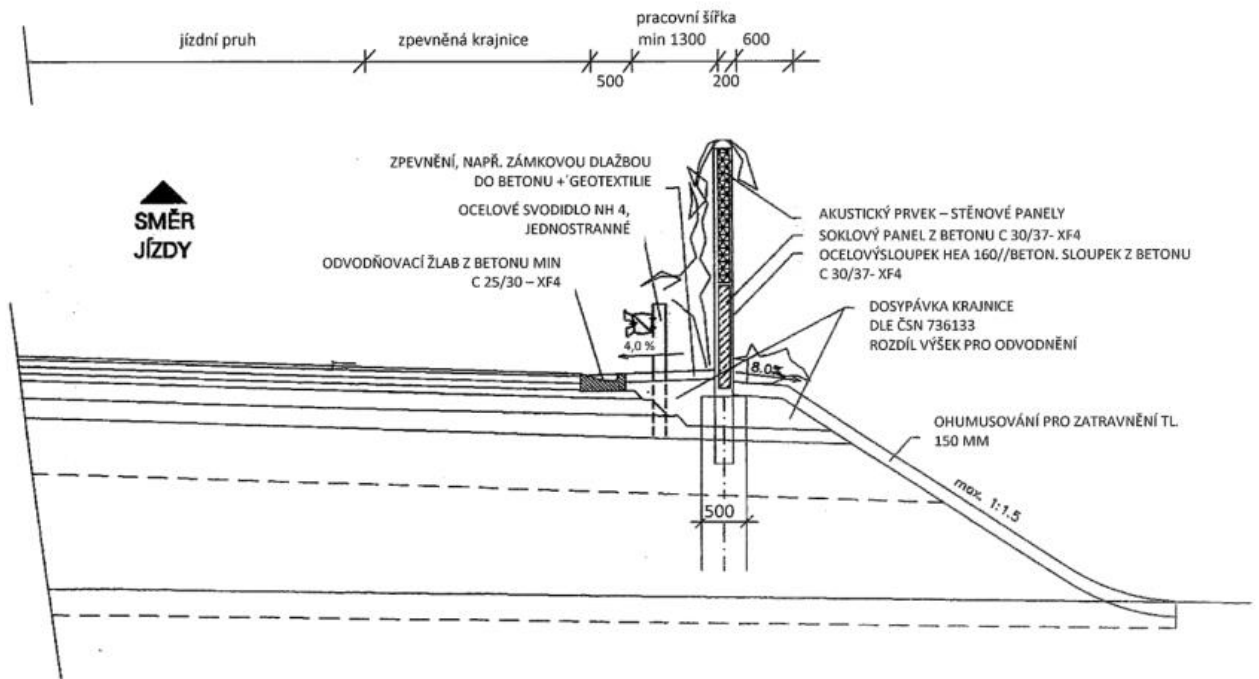
Pro realizaci PHS na mostech se zpravidla používají panely ze skel, akrylátů nebo polykarbonátů apod. s pevným spojením s ocelovými sloupy kotvenými do mostních říms. Jako doplněk, nebo i jako samostatné protihlukové opatření, může být spolu s PHS i zemními valy využita zeleň, tvořena převážně trvale zelenými nebo kombinovanými křovinami nebo dřevinami. K osazení a pěstování dalších rostlin (na rozdíl od zatravnění) se používá ornice nebo půda vlastnostmi blízcí se ornici v mocnosti minimálně 200 mm na podkladě, který umožňuje pohyb vody, vzduchu a živin v půdě. ^[100] V závislosti na velikosti a vzrůstu lze takto použitou vegetaci členit na čtyři základní typy:

- vysoká vegetace (klasické stromy),
- nízká vegetace (keře, stromy nízkého vzrůstu),
- pokrývná (rostliny sloužící ke zpevnění svahů),
- popínavá (rostliny, které potřebují podpůrnou konstrukci). ^[100]

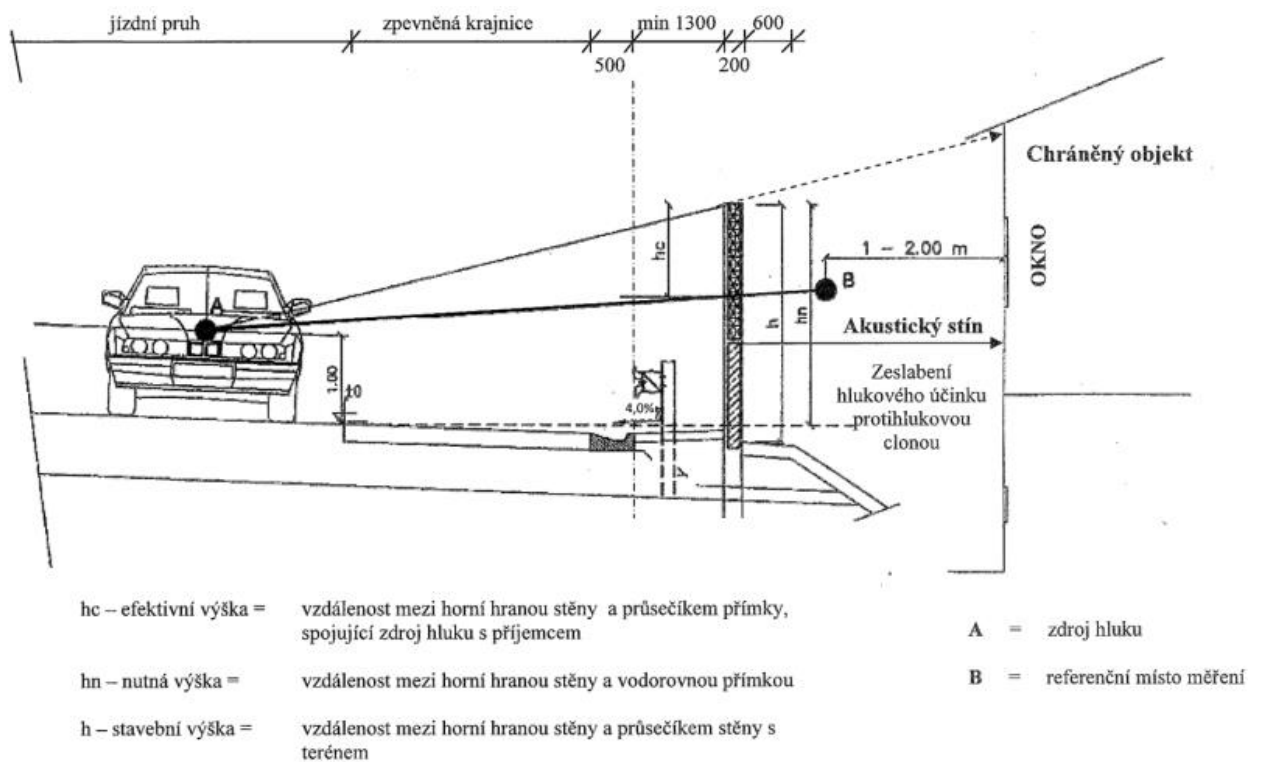
Volba protihlukových opatření v místě nadlimitní hlukové zátěže obyvatelstva je komplexním problémem a skutečný účinek opatření lze zjistit až po jeho realizaci. Obvykle vychází z hlukové studie, zpracované přímo na konkrétní lokalitu, ve které jsou navrženy konkrétní protihlukové úpravy, jejich akustické parametry a umístění, neřeší ale jejich materiálové a jiné charakteristiky. ^[61]

⁷ Piloty jsou štíhlé stavební prvky v základové půdě určené pro přenášení účinku zatížení. ^[61]

Poznámka:
Druh a kvalita betonu v souladu s ČSN 206



Obr. 23 Protihluková stěna – charakteristický příčný řez [61]



Obr. 24 Charakteristické výšky z hlediska akustiky (umístění protihlukové clony – osobní vozidla) [61]

3.5.1.1 Betonové protihlukové stěny

Jedním z významných výrobců betonových protihlukových panelů v ČR je společnost Železniční průmyslová stavební výroba Uherský Ostroh, a.s. (ŽPSV). V nabídce výrobce ŽPSV (již vlastněná německou mateřskou společností) jsou mimo jiné protihlukové panely SILENT, SILENT VV nebo PHS 2. ^[100] Pohltivé panely SILENT tvoří železobetonová nosná deska s pohltivou vrstvou z mezerovitého drobnozrnného betonu. Panely řady SILENT VV jsou sendvičové betonové prefabrikáty. Protihlukové panely PHS 2 jsou železobetonové panely s dodatečně nalepenými pohltivými tvárniciemi z recyklované pryže. Desky z gumového granulátu jsou vyráběny v několika barevných odstínech a jsou plně recyklovatelné. ^[100]



Obr. 25 Betonová protihluková stěna ŽPSV SILENT ^[101]

Hlavním prvkem protihlukových stěn nabízených společností Liadur, s.r.o. jsou dvouvrstvé prefabrikované panely, tvořené betonovou deskou s absorpční vrstvou. Betonová deska tvoří monolitický celek s absorpční vrstvou z lehkého betonu Liapor. Tvarové řešení absorpční vrstvy může být provedeno dle konkrétního návrhu. Pohltivá vrstva může být zabarvena v základních barvách, popřípadě může být opatřena nátěrem nebo nástřikem v celé škále vzorníku barev RAL. Základním nosným prvkem jsou železobetonové nebo ocelové sloupy průřezu H, které mohou být rozmístěny s roztečí do 6 m. Mohou být založeny na patkách (prefabrikovaných i monolitických), vrtaných pilotách, nebo mohou být kotveny do stávajících železobetonových konstrukcí.



Obr. 26 Betonová protihluková stěna Liadur ^[102]

3.5.1.2 Plastové protihlukové stěny

Protihlukové stěny nabízené společností MOSEV plast, s.r.o. tvoří jednostranné či oboustranné akusticky pohltivé nebo odrazivé panely, které jsou usazovány mezi HEB nebo HEA ocelové sloupky v maximální osové vzdálenosti 4 m. Protihlukové panely jsou vyrobeny z materiálu REPLAST (recyklovaný plast). Ten je získáván recyklací převážně komunálního odpadu a svými vlastnosti se blíží vlastnostem PE-HD (high density polyethylene). Tento materiál je dostatečně odolný proti povětrnostním vlivům, je nenasákavý a je odolný proti kyselinám a solím. Výhodou materiálu REPLAST je možnost recyklace po ukončení životnosti. Nevýhodou je, že musí být po každých 100 m plastové protihlukové stěny vkládáno jedno pole o minimální šířce 4 m z nehořlavého materiálu. Nosnými prvky jsou plastové trámy z tohoto materiálu, vyztužené železobetonovým trámkem v něm zalisovaným. Při běžném užívání udává výrobce životnost protihlukového panelu 25 let. V nabídce výrobce je 5 typů protihlukových panelů, které se liší svými akustickými vlastnostmi. Odrazivý protihlukový panel je složen ze dvou nosných plastbetonových trámů a palubek dle skladební výšky panelu z materiálu REPLAST, které tvoří hlavní část odrazivé plochy. Boční strany panelů, které jsou založeny ve sloupcích, je zpevněn trámem opět z materiálu REPLAST.

Dalším odrazivým protihlukovým panelem je typ, kde je výplň z akrylátu (PMMA), polykarbonátu (PC) nebo z tvrzeného/bezpečnostního skla (pro transparentní PHS) o tloušťce 10-20 mm, která je opět orámována trámkou z materiálu REPLAST. [103]



Obr. 27 Transparentní protihluková stěna MOSEV [103]

3.5.1.3 Dřevěné protihlukové stěny

VELOX [104] jsou štěpkocementové desky se zvukově pohltivou povrchovou strukturou. Jsou vyráběny v jedno nebo oboustranně pohltivém provedení. Nosný prvek panelu je dřevěný rám, na

který jsou připevněny pohltivé desky nerezovými hřebíky nebo vruty. Lícová stěna je opláštěná štěpkocementovými deskami, jejichž porézní struktura spolu se vzduchovou mezerou a zadní stěnou pláště zajišťuje zvukovou absorpci. Dřevěné prvky jsou chráněny proti hnilobě, plísním a dřevokazným houbám tlakovou impregnací. Systém obsahuje dřevěný rám s distančními prvky (překrytí HEA ocelových profilů deskami VELOX a vytvoření souvislé stěny bez viditelných sloupků) a je dle výrobce vhodný i pro použití u dálnic, rychlostních komunikací a železničních koridorů. [104]

3.5.1.4 Kovové protihlukové stěny

PHS nabízené společností ROMAN, s.r.o. [105] jsou tvořeny svisle montovanými profilovanými sloupy z HE profilů 2-3 m roztečí a vodorovně montovanými samonosnými panely. Panel se skládá z vnitřní skořepiny z mikro-děrovaného plechu a z vnější skořepiny z plného plechu. Plech je v obou případech hliníkový. Celý panel je sestaven tak, aby vytvářel uvnitř tři samostatné dutiny. Přední dutina odpovídá prostoru mezi děrovanou povrchovou vrstvou a panelem z minerální vlny o vysoké hustotě chráněným textilií ze skleněného vlákna vůči této vrstvě, čímž se zlepšuje jeho akustická účinnost. Panel z minerální vlny je rozdělen na tři segmenty a ve dvou dělicích místech je vložen profil z PVC, který přispívá k zachování stability a zároveň k zamezení průchodu zvukových vln. Zadní dutina vzniká mezi panelem z minerální vlny a plnou kovovou skořepinou, která ještě více přispívá ke zlepšení zvukové izolační účinnosti. V zadní skořepině může být (v případě potřeby ještě vyšší akustické účinnosti) umístěna zátěžová vložka živičného typu. [105]

3.5.1.5 Sklovláknobetonové protihlukové stěny

PHS nabízené společností DAKO BRNO, s.r.o. [106] jsou vyrobeny ze sklovláknobetonu (kompozitní materiál). Panely jsou řešeny jako skořepina, která je po obvodu vyztužena ztužujícím rámečkem lichoběžníkového průřezu. Skořepina je uvnitř plochy vyztužena příčnými žebry, mezi nimi je vložena absorpční výplň, minerální vata kaširovaná skelnou textilií s mikrootvory. Tato skladba je z lícové strany překryta kovovou sítí z pozinkovaného drátu. Nosnými prvky mohou být ocelové profily HEA nebo sloupy z betonu. Montáž panelů se provádí buď zasunutím mezi příruby sloupů HEA nebo upevněním k betonovému sloupu nerezovými kotvami. K dotěsnění se používají pryžové profily. Nosné sloupy jsou obvykle kotveny do pilot a jako soklový prvek se používá železobetonový panel. [106]

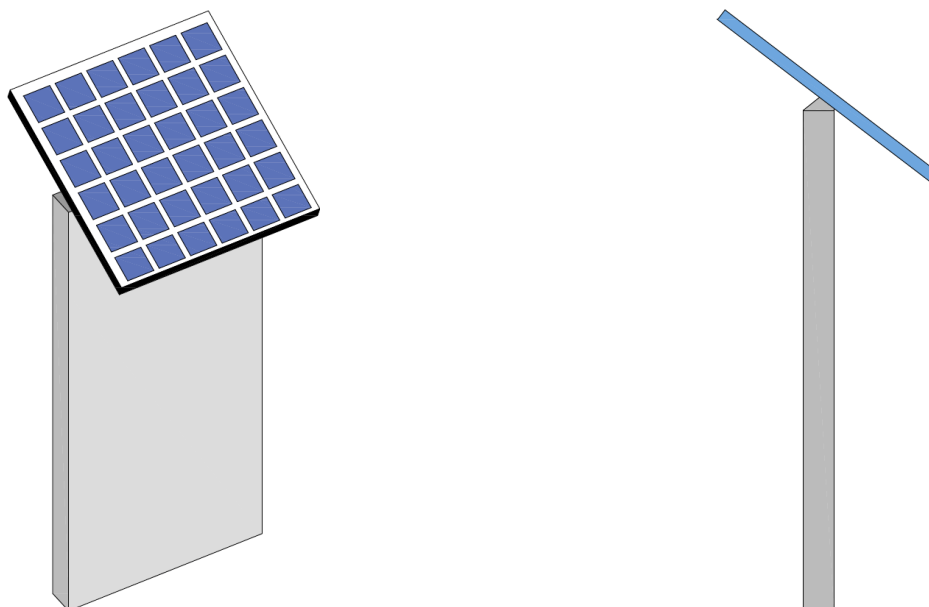
KAPITOLA 4: TECHNOLOGIE FOTOVOLTAICKÝCH PROTIHLUKOVÝCH STĚN

Fotovoltaická protihluková stěna (FVPHS) představuje kombinaci protihlukových stěn se systémy, které využívají FV články k přeměně světelné energie přímo na elektřinu. FVPHS mohou zahrnovat buď dovybavení stávajících protihlukových stěn FV moduly, nebo integraci FV modulů do návrhu nových protihlukových stěn. V obou případech slouží PHS jako nosná konstrukce pro FV moduly. Častějším přístupem k FVPHS v zahraničí jsou do současné doby návrhy pro dodatečnou montáž na stávající protihlukové stěny. [2]

Podmínkou pro osazení protihlukové stěny FV moduly je nenarušení statiky PHS. Dále je důležitým faktorem, jestli lze v místě zapojit FVE do distribuční sítě nebo možnost efektivního využití vyráběné energie ve spotřebičích na místě v kombinaci s cenou osazení FVPHS. Dalším požadavkem je v případě PHS ze zvukově pohltivých materiálů nenarušení akustické funkce (pohltivosti) stěny. Obecně platí, že míra, do jaké FVPHS tlumí hladinu hluku, závisí na poměru skleněného povrchu FV modulů k ostatním materiálům PHS, protože skleněný povrch fotovoltaického modulu je materiálem zvukově odrazivým. V mnoha případech není pohlcování zvuku nutné, aby PHS plnila svou zamýšlenou akustickou funkci. Materiály jako beton, dřevo nebo kov neposkytují zvukovou pohltivost a sklo FV modulů není z akustického hlediska o nic méně vyhovující. [2]

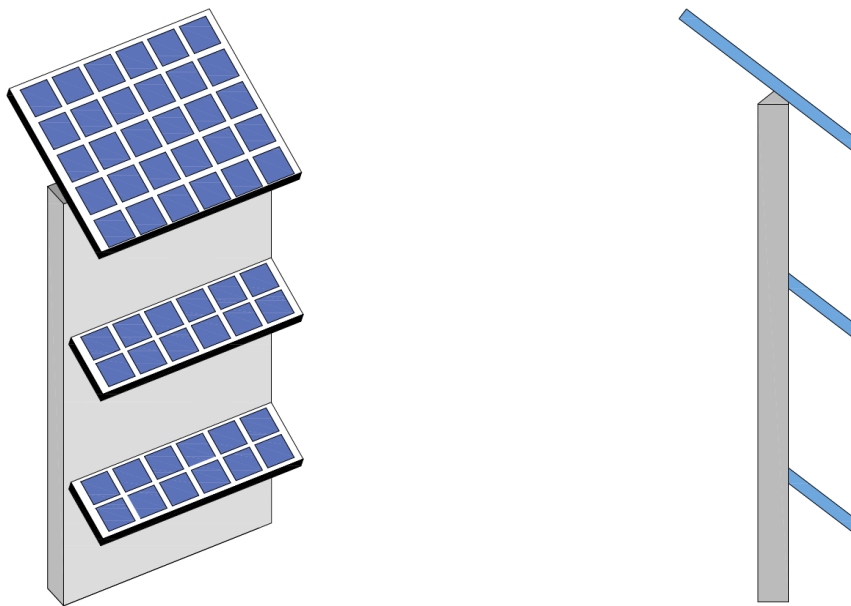
Obrázky v následující podkapitole ukazují možné konfigurace nosné konstrukce FVPHS.

4.1 Typy konfigurace fotovoltaických protihlukových stěn



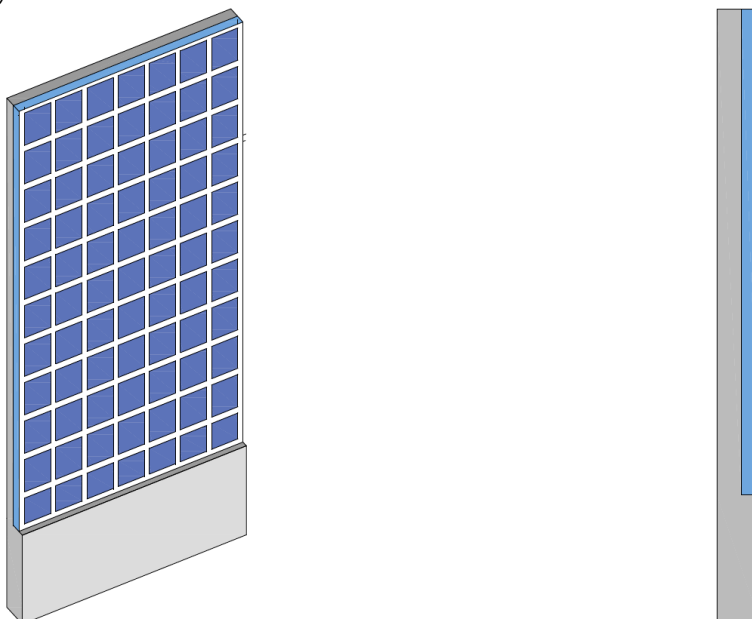
Obr. 28 Vrchní konstrukce (typ 1) [107]

Typ 1 s vrchním umístěním FV modulů nabízí větší plochu FV modulů na metr PHS, zejména pokud jsou konfigurovány v několika řadách, ale lze jej použít pouze v situacích, kdy není pohlcování hluku nutné. Instalace FV modulů na hřbet stěny navíc umožňuje nastavení jejich vhodného sklonu. Výhodou tohoto typu je, že pomocí této lze doplňovat montáž FV modulů na stávající PHS.



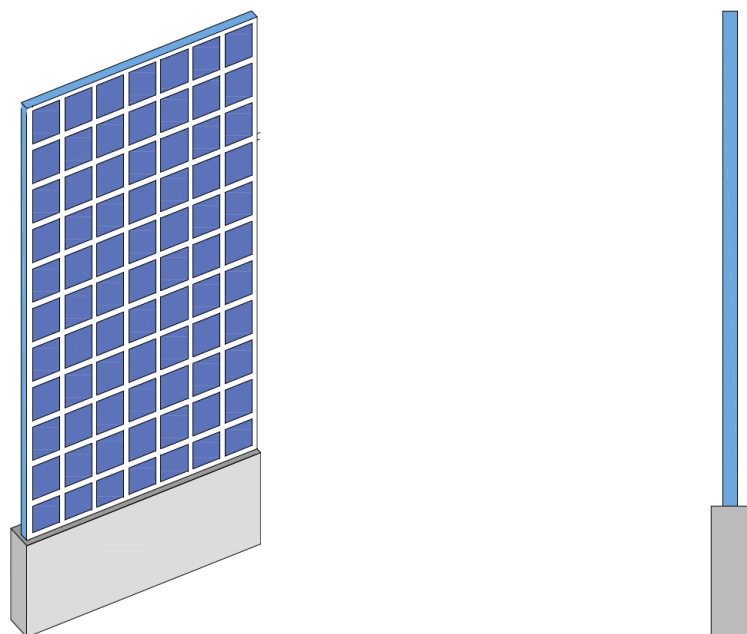
Obr. 29 Řadová konstrukce (typ 2) ^[107]

Typ 2 s řadovým rozmístěním FV modulů do „šindelů“ po celé výšce stěny včetně jejího vrcholu. Tento typ konstrukce umožňuje větší využití plochy stěny, ale také dochází ke zhoršení akustických vlastností PHS a riziku většího zastínění. Vhodný je stejně jako typ 1 pro akusticky odrazivé stěny.



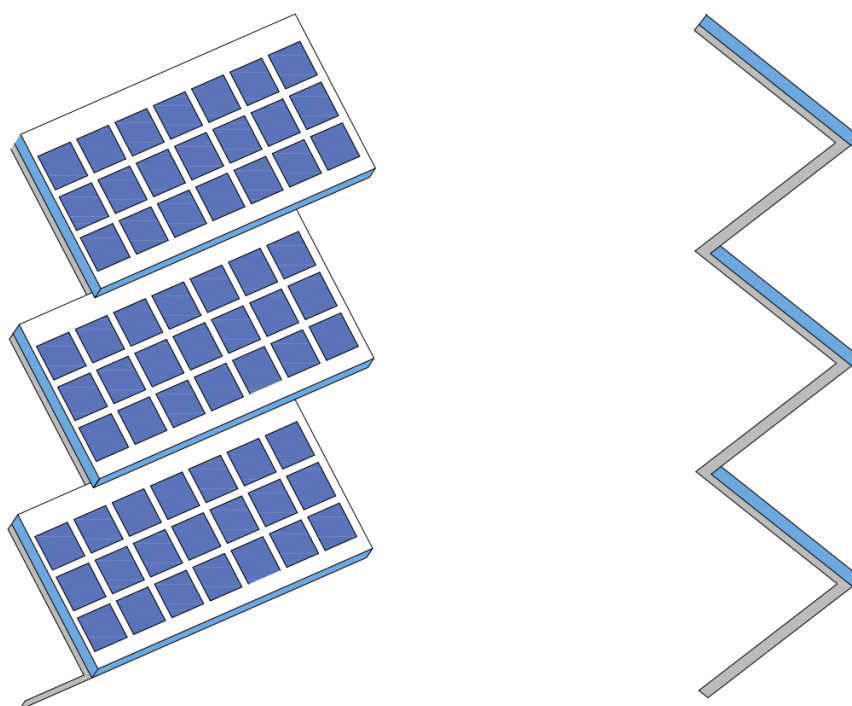
Obr. 30 Vertikální V-Z konstrukce (typ 3) ^[107]

Typ 3 využívá celou plochu stěny, ale neumožňuje nastavit sklon při montáži jako u typu 1 a 2. Pokud se jedná o integraci FV modulů do materiálu stěny, s osazením se musí počítat již při plánování PHS. Tato konstrukce neumožňuje libovolné nastavení sklonu FV modulů. Tento typ FVPHS je vhodný pouze pro stěny ve východo-západním směru, aby FV moduly mohly být orientovány na jih.



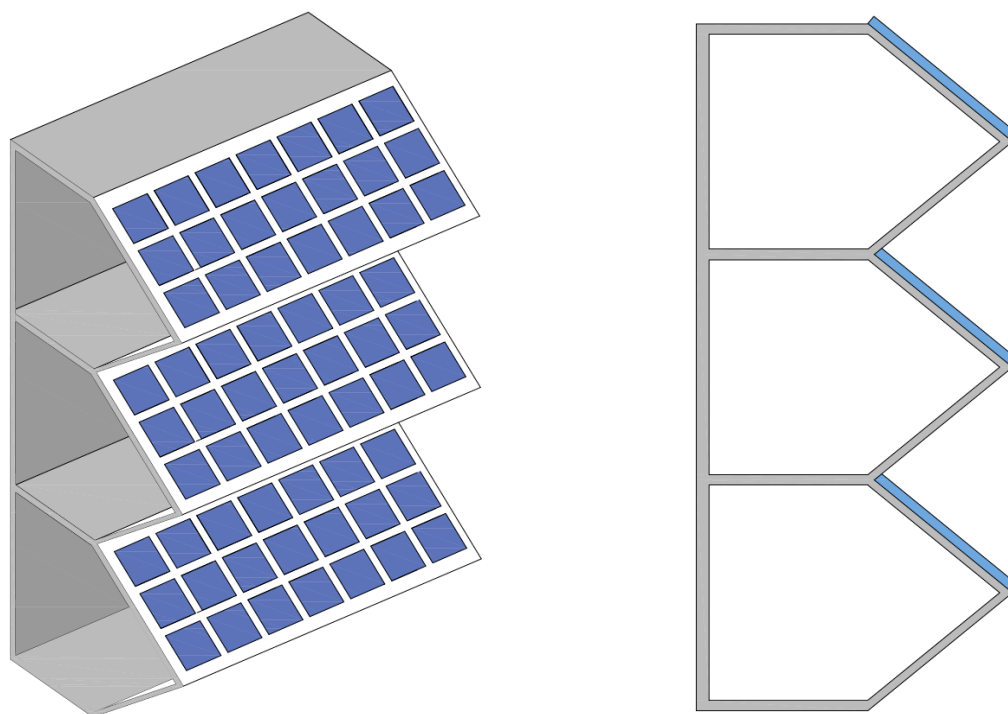
Obr. 31 Vertikální bifaciální S-J konstrukce (typ 4) [107]

Typ 4 počítá s využitím bifaciální (oboustranné) technologie s integrovanými FV moduly do materiálu stěny. Způsob instalace je podobný typu 3, ale FV moduly směřují na obě strany PHS. Tento typ FVPHS je jako jediný vhodný zejména pro stěny v severo-j jižním směru, aby FV moduly mohly být orientovány na východ a západ. To umožní v potřebných případech optimalizaci rozložení výroby energie během dne oproti ostatním typům konstrukce, protože omezí polední špičku výroby energie a naopak posílí výrobu energie ráno a večer (vhodnou orientací při východu a západu slunce). To je však za cenu snížení celkového výnosu energie oproti horizontální konfiguraci. Mezi další výhody patří snížené nároky na čištění vertikálních FV modulů (usazování nečistot a sněhu). Navíc tento typ umožňuje transparentní FVPHS.



Obr. 32 Horizontální klikatá konstrukce (typ 5) [107]

Typ 5 představuje klikatou (zigzag) konstrukci vhodnou pro odrazivé stěny zejména podél zdrojů hluku, kde není nutné směřovat odražený hluk specifickým směrem. Nevýhodou této konfigurace představuje riziko částečného zastínění FV modulů. Může však přinést výhody z hlediska statiky stavební konstrukce.



Obr. 33 Kazetová konstrukce (typ 6) ^[107]

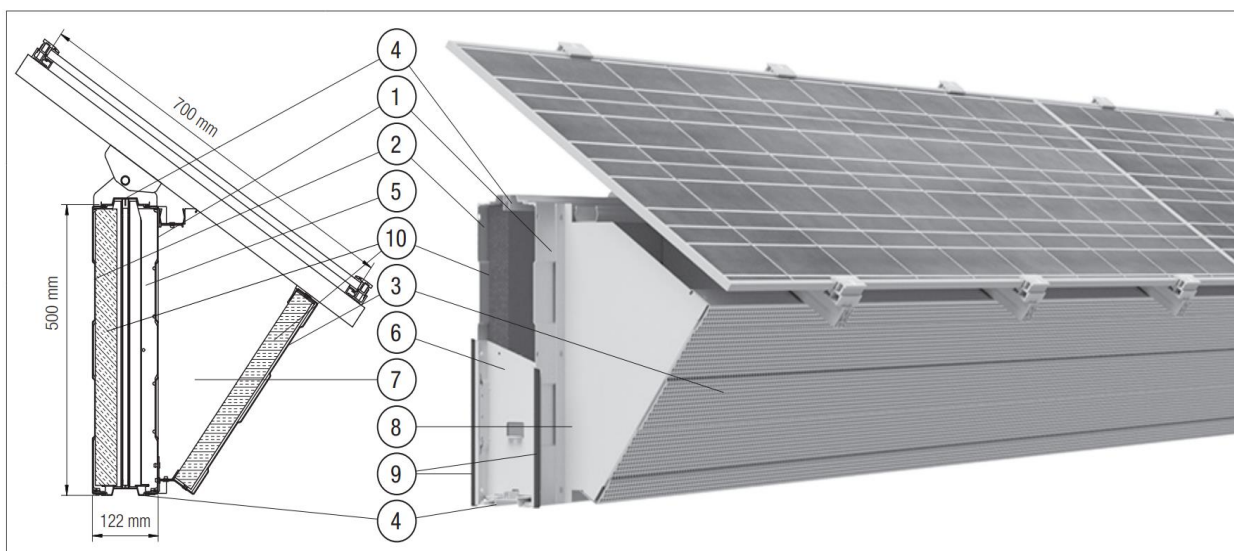
Tam, kde je pohlcování hluku vyžadováno, je třeba použít integrovanou kazetovou konstrukci (typ 6), která kombinuje horizontální klikatou konstrukci (typ 5) s pohltivými materiály protihlukových stěn. Při použití tohoto typu dochází k zachování protihlukových vlastností stěny kombinací odrazu zvuku (od skla FV modulu) a pohlcování zvuku (prostřednictvím absorpčního materiálu v oblastech mimo FV modul). Ale stejně jako v případě horizontální klikaté konstrukce (typ 5) je při kazetové konfiguraci z energetického hlediska nevýhodou, že tvar stěny umožňuje částečné zastínění FV modulů. V takovém případě se vyplatí opatřit FV moduly s rizikem částečného zastínění výkonovými optimizéry, které ochrání string před celkovou ztrátou výkonu z důvodu zastínění jediného FV modulu, jak bylo popsáno v kapitole 2.2.5 Výkonové optimizéry.

Následující podkapitoly přinášejí příklady konkrétních existujících řešení nosné konstrukce a výběru komponentů fotovoltaické protihlukové stěny.

4.2 Fotovoltaická protihluková stěna s kazetovou nosnou konstrukcí Forster FONOCN Silent Solar

Rakouská společnost Forster Metallbau GmbH se zaměřením na kovovýrobu pro dopravní stavby vyrábí hliníkové protihlukové panely FONOCN Silent Solar s nosnou konstrukcí pro fotovoltaiku, díky kterým lze stávající protihlukové stěny dodatečně vybavit FV moduly a nové protihlukové stěny lze od počátku navrhovat jako FVPHS. Mezi výhody patří volně volitelné uspořádání protihlukových panelů, kompatibilita se všemi běžnými konstrukcemi FV modulů, jednoduchá instalace FV modulů a řešení kabeláže pomocí integrovaných kabelových žlabů. ^[108]

Jedná se o FVPHS typu 6 (kazetová konstrukce).



Obr. 34 Hliníkový protihlukový oboustranně vysoce pohlcující panel Forster FONOCN Silent Solar WSB700 s nosnou konstrukcí pro fotovoltaické moduly ^[177]

Vysvětlivky k obrázku:

- 1 (přední stěna) – hliníkový plech, tl. 1,3 mm, neperforovaný,
- 2 (zadní stěna) – hliníkový plech, tl. 1,3 mm, s perforací (průměr otvoru 6 mm, podíl otvorů 30 %),
- 3 (přední panel) – hliníkový plech, tl. 1,3 mm, s perforací (průměr otvoru 6 mm, podíl otvorů 30 %),
- 4 (pásový profil) – extrudovaný hliníkový profil,
- 5 (rám) – hlubokotažený hliníkový plech s úchytem pro upevnění lana při montáži, nýtovaný k zadní stěně a pásovým profilům,
- 6 (boční kryt) – hlubokotažený hliníkový plech,
- 7 (rám předního panelu) – hliníkový plech, přinýtovaný k přední stěně,
- 8 (vnější boční kryt) – hliníkový plech, přinýtovaný k přední stěně,
- 9 (těsnící pásky) – oboustranné kulaté těsnění z pryžové pásky EPDM (etylenpropylen-dien monomer kaučuk) uložené v lisovaném hliníkovém upínacím profilu,
- 10 (absorbér) – pohltivá složka z minerální vlny (objemová hmotnost zhruba 100 kg/m³, tloušťka 40 mm, hydrofobní, strana s otvory laminovaná černým skelným roumem⁸),
- spojovací materiál – nýty s plochou hlavou. ^[177]

Přední a zadní stěna, přední panel, rám i vnější bočního kryt jsou na vnější straně opatřeny práškovou povrchovou úpravou polyesterovým plastem (tloušťka vrstvy 60 μm). Objemová hmotnost je zhruba 38 kg/m². ^[177]

Nosné konstrukce Silent Solar jsou nabízeny ve variantě WSB700 pro FV moduly maximální šířky 700 mm (pro vrchní řadu) a ve variantě WSB400 pro FV moduly maximální šířky 400 mm (pro spodní řady). ^[177] FV moduly se přišroubují k protihlukovému panelu pomocí standardního systému lišt se svorkami (podobně jako např. na taškové střeše rodinného domu). Lišty se

⁸ Skelné rouno je separační vrstva, která se využívá také např. v pláštích plochých střeš, kde je kladen důraz na vyšší požární odolnost. ^[109]

k protihlukovému panelu přišroubují v předem určených upevňovacích bodech. Předmontovaný systém Silent Solar lze pomocí jeřábu zasunout do ocelových podpěr. Dodatečné upevnění prvku v podpěrách není nutné. Kabeláž se provádí dodatečně pomocí kabelových žlabů. V současné době podle konzultovaných informací společnost Forster pracuje na optimalizaci systému montáže FV modulů, protože standardní systém lišt se svorkami je příliš nákladný.

4.2.1 Komponenty fotovoltaického systému s nosnou konstrukcí Forster FONOCON Silent Solar

Podle informací zaslanych společností Forster byly v jejich posledních dvou projektech FVPHS v Rakousku použity FV moduly sklo-sklo (bezrámové) od výrobce ML System. Nevýhodou nosné konstrukce Silent Solar je totiž nutnost použití FV modulů do maximální šířky 700 mm (pro spodní řady dokonce do 400 mm), používají se tedy FV moduly s neobvyklým poměrem stran. Omezení šířky FV modulů ve spodních řadách vyplývá z kazetové konstrukce. FV moduly ve vrchní řadě mohou být širší, protože mohou zasahovat přes vrchol PHS, jak je patrné z Obr. 35.

Následující fotografie ukazují použití nosné konstrukce FONOCON Silent Solar pro realizaci konkrétní FVPHS v Rakousku. Jak je z obrázků patrné, byla zde použita pouze vrchní řada kazetových protihlukových panelů s FV moduly šířky 700 mm od polského výrobce FV modulů ML System, který nabízí zhotovení bezrámových FV modulů s rozměry na míru. ^[110] Dokumentace ke konkrétním použitým FV modulům od společnosti ML System se nachází v příloze B.



Obr. 35 Fotovoltaická protihluková stěna v Rakousku na silničním obchvatu města Wieselburg – kazetová konstrukce (typ 6) Forster FONOCON Silent Solar s FV moduly [autor]



Obr. 36 Fotovoltaická protihluková stěna v Rakousku na silničním obchvatu města Wieselburg – venkovní rozvaděčová skříň se střídačem [autor]

Z obrázků (vytvořených při návštěvě FVPHS v Rakousku za účelem fotografické dokumentace) je rovněž patrné, že za stěnou se nachází venkovní rozvaděčová skříň vybavená aktivním chlazením, ve které je umístěn i fotovoltaický střídač. Alternativou by mohlo být umístění střídače do betonového kiosku (např. betonová armovaná stavebnice) nebo případně připevnění přímo na zadní stranu PHS za předpokladů zastínění fotovoltaickými moduly nebo stěnou, směřování na sever a splnění stupně krytí alespoň IP44. V případě potřeby bateriového úložiště (které zde instalováno není) by dále bylo nutné zajistit klimatizovaný kiosek, protože pro lithiová bateriová úložiště je obvykle rozsah přijatelných teplot zhruba $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$.^[81] Speciální externí bateriová úložiště pro venkovní použití pak lze umístit např. až do $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Na ekonomické efektivnosti se ale projeví vysoká cena takového úložiště.

4.2.2 Možný instalovaný výkon na délku fotovoltaické protihlukové stěny s nosnou konstrukcí Forster FONOCN Silent Solar

V tabulkovém procesoru MS Excel (soubor v příloze) byl stanoven možný instalovaný výkon na metr FVPHS s nosnou konstrukcí od společnosti Forster. Jsou uvažovány 4 varianty konfigurace podle celkové výšky FVPHS s úzkými FV moduly od již uvedeného výrobce ML SYSTEM s rozměry na míru. Protihlukový panel má výšku 0,5 m a mezi protihlukovými panely s nosnou konstrukcí pro FV moduly musí být vždy umístěn jeden protihlukový panel bez nosné konstrukce.

Pro nejnižší konfiguraci FVPHS je uvažována jedna (pouze vrchní) řada FV modulů. V této variantě byl stanoven možný instalovaný výkon FV modulů na délku stěny 0,110 kWp/m.

Další konfigurací je FVPHS s vrchní řadou FV modulů a s jednou spodní řadou modulů. S uvažováním betonového soklu⁹ o výšce 0,5 m nad zem a potřeby 3 řad protihlukových panelů

⁹ Sokl (neboli podnož či podstavec) je pata zdi ve stavebnictví. Má ochrannou a izolační funkci a chrání spodní část stavby, zejména proti průnikům vody, stříkání vody, proti kyselosti půdy či mechanickým tlakům. Jde o nejvíce mechanicky a fyzicky namáhaný bod vnější stěny. V moderním stavebnictví má běžně

z již uvedeného důvodu (každého rovněž o výšce 0,5 m) tato varianta již vyžaduje výšku FVPHS (ocelových nosníků HEB) minimálně 2 m. Možný instalovaný výkon na délku stěny v této variantě činí 0,164 kWp/m.

Pro trojřadou konfiguraci FVPHS (vrchní řada a 2 spodní řady FV modulů) je nutných alespoň 5 řad protihlukových panelů. Výška FVPHS je tedy minimálně 3 m s možným instalovaným výkonem na délku stěny 0,219 kWp/m. Tato konfigurace bude vzhledem k výšce stěny uvažována jako nejčastěji zvolená.

Čtyřřadá konfigurace (vrchní řada a 3 spodní řady FV modulů) již vyžaduje výšku FVPHS 4 m se 7 řadami protihlukových panelů. Možný instalovaný výkon této varianty na délku stěny je 0,274 kWp/m.



Obr. 37 Příklad fotovoltaické protihlukové stěny s trojřadou kazetovou konstrukcí Forster FONOCON Silent Solar na železnici v Rakousku ^[108]

4.2.2.1 Měrné náklady na nosnou konstrukci Forster FONOCON Silent Solar na možný instalovaný výkon

Pro stanovení měrných nákladů na nosnou konstrukci FVPHS od společnosti Forster na možný instalovaný kWp výkonu byla uvažována trojřadá konfigurace podle předchozí podkapitoly.

Podle ceny 679 EUR protihlukového panelu s nosnou konstrukcí pro FV moduly do šířky 700 mm (pro vrchní řadu), ceny 309 EUR protihlukového panelu s nosnou konstrukcí pro FV moduly do šířky 400 mm (pro spodní řady) ^[177] a kurzu v prosinci 2022 (1 EUR = 24,29 CZK) ^[114] byly stanoveny měrné náklady na možný instalovaný výkon 35 994 CZK/kWp.¹⁰ Náklady jsou počítány

hydroizolaci a drenáž starající se o odvod vody. Lze obkládat kamenem, pískovcem, marmolitem, dřevem i nejrůznější dlahou. Pro správnou funkci by měl být ukončen pod úrovní terénu. ^[115]

¹⁰ Upozornění: údaje o cenách mohou být zkráceny z důvodu požadavku zachování obchodních tajemství společností, které poskytly konzultace pro vypracování této diplomové práce. Základní parametry a poměry nákladů, ze kterých vychází posouzení variant, by však měly být zachovány.

podle ceny nákupu protihlukových panelů s nosnou konstrukcí pro FV moduly jako hotového produktu z Rakouska. Jedná se o vysokou (několikanásobnou) částku zejména v porovnání např. s náklady na nosnou konstrukci pro FV moduly na rodinný dům (jak vyplývá i z CAPEX v podkapitole 1.1.2 Vývoj trhu s ostatními komponenty pro fotovoltaické elektrárny). S tímto se však v projektech FVPHS počítá, a proto se typicky jedná o projekty ve velkém měřítku financované z veřejného sektoru zejména za účelem plnění klimatických cílů EU nebo municipalit. Navíc lze v případě rozvoje FVPHS předpokládat standardizaci nosných konstrukcí, která povede k optimalizaci a snížení nákladů.

4.3 Fotovoltaická protihluková stěna s vrchní nosnou konstrukcí KuPr System

Dalším konkrétním řešením FVPHS je systém vyvíjený českou společností KuPr System, ^[112] která rovněž poskytla konzultace pro vypracování této diplomové práce. Společnost je zároveň výhradním dodavatelem nosných konstrukcí Forster FONOCON Silent Solar do ČR (uvedených v předchozí podkapitole).

Výhodou vrchní nosné konstrukce KuPr System oproti řešení např. od společnosti Forster je možnost montáže FV modulů standardních rozměrů (šířky např. 1 metr i více). To umožní vyšší instalovaný výkon na danou délku FVPHS a ušetření nákladů na výrobu úzkých FV modulů s rozměry na míru. Nevýhodou je zatím vyšší cena, protože konstrukce je ve fázi prototypové výroby. Další nevýhodou oproti kazetové konstrukci společnosti Forster je možné zhoršení akustických vlastností PHS (zvukové pohltivosti) po montáži FV modulů se skleněným povrchem (odrazivý materiál).



Obr. 38 Trojrozměrná vizualizace fotovoltaické protihlukové stěny společnosti KuPr System s konfigurací typu 1 (vrchní konstrukce) ^[112]

4.3.1 Možný instalovaný výkon na délku fotovoltaické protihlukové stěny s nosnou konstrukcí KuPr System

Pro FVPHS s nosnou konstrukcí KuPr System jsou rovněž uvažovány FV moduly od výrobce ML System ale v tomto případě o standardních rozměrech 1910x1134x35 mm a výkonu 460 Wp. ^[113] Výsledný možný instalovaný výkon na délku stěny činí 0,230 kWp/m, což je mírně (o několik setin

kWp/m) vyšší hodnota než v případě trojřadé kazetové konfigurace od společnosti Forster (díky možnosti použití FV modulů o standardních rozměrech).

Varianta konfigurace nosné konstrukce FVPHS	Možný instalovaný výkon na délku FVPHS [kWp/m]
Pouze vrchní řada kazetové konstrukce Forster	0,110
Dvojřadá kazetová konstrukce Forster	0,164
Trojřadá kazetová konstrukce Forster	0,219
Vrchní konstrukce KuPr System	0,230
Čtyřadá kazetová konstrukce Forster	0,274

Tab. 3 Porovnání možného instalovaného výkonu FV modulů na délku fotovoltaické protihlukové stěny podle variant konfigurace nosné konstrukce [autor]

4.3.1.1 Měrné náklady na nosnou konstrukci KuPr System na možný instalovaný výkon

Výsledné měrné náklady na nosnou konstrukci FVPHS od společnosti KuPr System na možný instalovaný kWp výkonu jsou 50 334 CZK/kWp. Jedná se o výrazně vyšší částku než v případě nosné konstrukce od společnosti Forster. To je způsobeno tím, že tyto náklady jsou počítány podle prototypové výrobní ceny nosné konstrukce v ČR. Konstrukce od společnosti KuPr System však umožňuje vyšší výkon na stejnou délku stěny (podle předchozí podkapitoly). Lze očekávat, že s dalším vývojem FV modulů budou dostupné moduly o ještě vyšším výkonu se stejnými nebo jen mírně většími rozměry, což dále zvýší možný instalovaný výkon na metr FVPHS a sníží měrné náklady na tuto nosnou konstrukci. Dále toto řešení nabízí menší riziko zastínění FV modulů v průběhu dne (odstraňuje potřebu výkonových optimizérů oproti kazetové víceřadé konfiguraci).

Řešení obou společností však nejsou srovnatelná a mají odlišná využití. Kazetová konfigurace Forster umožňuje instalaci výměnou za původní protihlukové panely PHS nebo se využívá ke stavbě nových PHS. Vrchní konstrukce KuPr System oproti tomu nabízí snazší montáž, protože lze instalovat na stávající protihlukové panely stěny. Nabízí také možnost nastavení potřebného sklonu upevnění FV modulů podle místa instalace. FVPHS společnosti Forster však lépe zachovává akustické vlastnosti (zvukovou pohltivost) stěny. Proto pro stanovení teoretického potenciálu instalovaného výkonu FVPHS dále bude primárně uvažována konfigurace od společnosti Forster.

KAPITOLA 5: TECHNICKÝ POTENCIÁL INSTALOVANÉHO VÝKONU FOTOVOLTAICKÝCH PROTIHLUKOVÝCH STĚN

Ke stanovení potenciálu rozvoje instalací FVPHS lze přistoupit metodikou „zezdola nahoru“ (bottom-up), ke které je potřeba rozsáhlý soubor informací o stavbách, jejich parametrech, struktuře a parametrech spotřeby elektřiny a řadě modifikujících či omezujících faktorů (dopadající záření, nevhodná orientace střech, omezení kapacit sítí, sociodemografické faktory aj.). Rovněž je nutná diskuse, jaké z modifikujících či omezujících faktorů použít. Takový přístup by byl extrémně náročný na objem a kvalitu použitých dat i předpokladů a množství proměnných a použití tohoto přístupu by nedovolilo dospět k závěrům analýzy v potřebném časovém horizontu i v omezeních daných časovým prostorem na tuto analýzu. Z tohoto důvodu byl zvolen postup „shora dolů“ (top-down), který sice neumožňuje tak detailní pohled, avšak je dostatečný pro rámcový odborný odhad potenciálu, který by měl postačovat pro účel daný zadáním této diplomové práce a diskusi o relevantnosti v rámci již zmíněných dílčích cílů NAP a scénářů SEK.

V rámci analýzy nejsou uvažována omezení daná alokací volné kapacity provozovatelů distribučních a přenosových sítí. Následující zjednodušené předpoklady tedy neuvažují případná omezení daná distribučními a přenosovými sítěmi ani případnou eliminaci přetoků do elektrizační soustavy apod. Roli zde může hrát rozvoj také rozvoj „chytrých sítí“, zde je však nutno brát na zřetel prozatím omezený zájem odběratelů o kooperaci s těmito systémy. Tato omezení by se vztahovala pouze na FVPHS, které by neeliminovaly přetoky do elektrizační soustavy, tedy provozovatelů, kteří by uzavřeli s obchodníkem smlouvu o dodávce elektřiny. Provozovatelé, kteří by přebytečnou výrobu omezovali řízením výkonu střídače, resp. využili v rámci bateriových (či jiných) akumulacích systémů by se tato omezení týkat neměla.

Analýza technického potenciálu instalovaného výkonu dále nezohledňuje ekonomické limitace potenciálu FVPHS. Odhad maximálního dostupného technického potenciálu tedy nezahrnuje omezení, která vyplývají z ekonomické rentability či nerentability instalovaných systémů FVPHS pro budoucího provozovatele. Pro naplnění (či částečné naplnění) technického potenciálu FVPHS může Česká republika přijmout např. některý z mechanismů podpory zmíněných v podkapitole 1.4 Legislativní rámec instalace fotovoltaických elektráren do veřejného prostoru v České republice. Např. v případě, že by se Česká republika rozhodla pro využití investiční podpory FVPHS, může být státem stanovena cílová saturace trhu odpovídající určitému instalovanému výkonu FVPHS. Vhodnou roční alokací finančních prostředků určených pro investiční podporu FVPHS může stát přímo kontrolovat roční přírůstky instalovaného výkonu těchto zdrojů.

5.1 Stanovení souhrnné délky protihlukových stěn v jednotlivých státech

Pro účel tohoto výpočtu budou uvažovány pouze stávající protihlukové stěny, avšak lze předpokládat jejich budoucí rozvoj nebo dokonce i stavbu nových PHS, u kterých již bude počítáno s osazením FV moduly nebo přímo s integrovaným FV systémem.

5.1.1 Souhrnná délka protihlukových stěn v České republice

Nejprve je třeba stanovit odhad celkové délky protihlukových stěn v ČR. K tomu byla využita data poskytnutá od ŘSD, které spravuje PHS na dálnicích a silnicích I. třídy v délce přes 480 km. Dále jsou přičteny silnice na území hl. m. Prahy (TSK – Technická správa komunikací hl. m. Prahy, a.s.), které podle veřejně dostupných informací Institutu plánování a rozvoje hl. m. Prahy ve službě Geoportál Praha mají délku 118 km (údaj aktualizován roku 2022).^[116] Poslední kategorii představují PHS na železnici, které podle údajů databáze IODA (Informace pro dopravní analýzy) dosahují délky 238 km (údaj aktualizován roku 2017).^[117] Délka PHS je počítána za každou stranu

tratě zvláště (1 km úsek PHS u tratě, která je chráněná PHS z obou stran, je počítán jako 2 km). Celková délka PHS v ČR, se kterou bude dále počítáno, tedy činí 837 km.

5.1.2 Souhrnná délka protihlukových stěn v Rakousku

V Rakousku délka PHS na silnicích a dálnicích činí podle německojazyčných zdrojů zhruba 1 336 km. ^{[125][126]} Délka PHS na rakouské železnici je 970 km ^[127] se zvláštním důrazem na ekologickou stránku jejich umístění a výstavby. Celkový odhad souhrnné délky PHS tedy je 2 306 km.

5.1.3 Souhrnná délka protihlukových na Slovensku

Podle oficiální databanky Slovenské správy cest činí délka PHS na silnicích a dálnicích 241 km a na železnici 100 km. ^[128] Celkem zde tedy bude počítáno pouze s 341 km PHS.

5.1.4 Souhrnná délka protihlukových v Německu

Délka PHS v Německu činí podle německého Ministerstva dopravy na silnicích a dálnicích zhruba 2600 km a na železnici zhruba 2100 km, ^[129] což dává celkovou délku 4700 km. Jedná se o zemi s největší souhrnnou délkou PHS v Evropě i s nejvíce již instalovanými fotovoltaickými protihlukovými stěnami v Evropě. V některých letech zde však dochází i k úbytku délky PHS (např. roce 2017 bylo 107 km zbouráno).

5.1.5 Souhrnná délka protihlukových v Polsku

PHS v Polsku činí na silnicích a dálnicích zhruba 1700 km a na železnici 600 km. ^[130] V porovnání s ostatními zeměmi zde dochází k nejrychlejšímu nárůstu délky PHS. Stěny se zde často nachází v soukromém vlastnictví a používají se zde ve velké míře tzv. oktagonální pohlcovače hluku. V součtu délka PHS činí 2300 km.

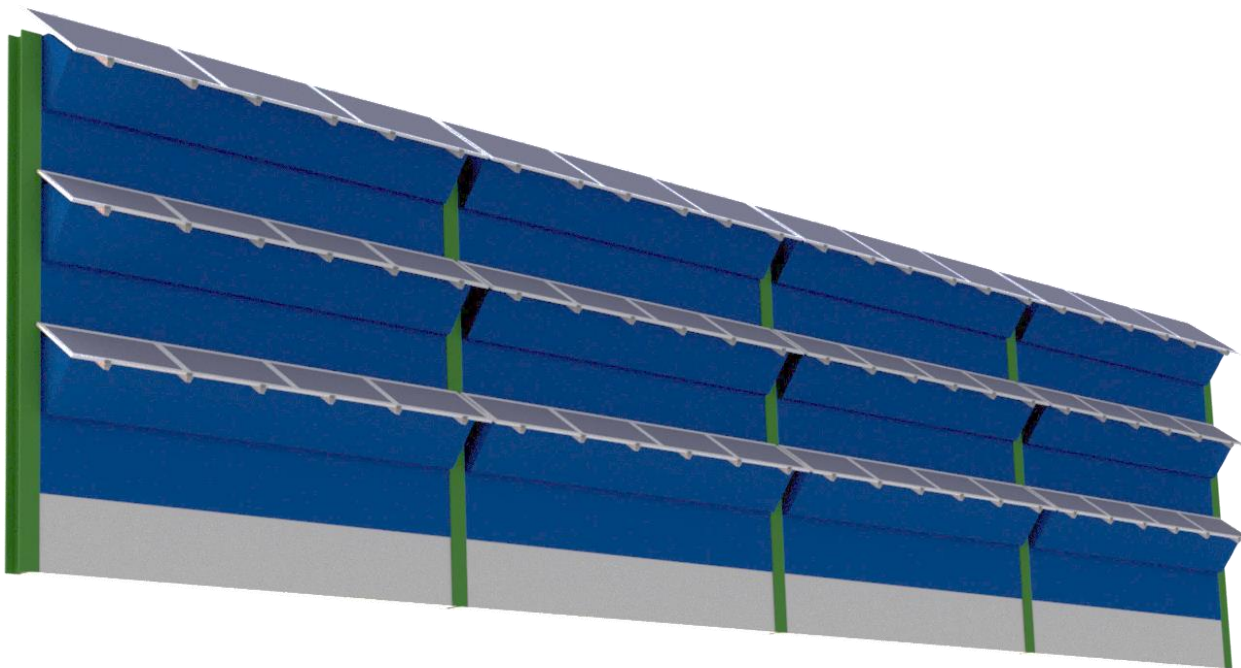
5.1.6 Souhrnná délka protihlukových v Nizozemsku

Délka PHS v Nizozemsku na silnicích a dálnicích je 1500 km a na železnici je 600 km. ^{[3][131]} Jedná se o vysoké hodnoty vzhledem k rozloze státu, což souvisí s vysokou hustotou zalidnění. Nacházejí se zde také pilotní projekty bifaciálních fotovoltaických protihlukových stěn (s technicky využitelným potenciálem zhruba na 300 až 400 km). Celková délka PHS v Nizozemsku činí 2100 km.

5.2 Stanovení technického potenciálu instalovaného výkonu fotovoltaických protihlukových stěn

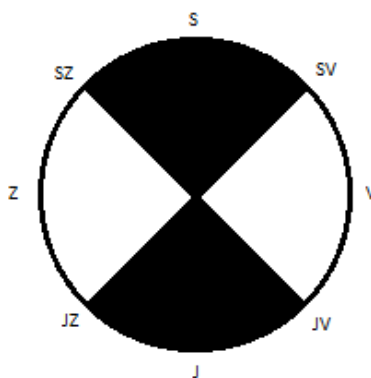
Pro účely stanovení realizovatelného technického potenciálu instalovaného výkonu FVPHS bude uvažována všude instalace s použitím kazetové nosné konstrukce od společnosti Forster, která již byla instalována na mnoha silnicích a železnici v Rakousku. Lze předpokládat, že trojřadá konstrukce bude nejčastěji instalovaná konfigurace z důvodu omezení výškou PHS. Podle podkapitoly 4.2 Fotovoltaická protihluková stěna s kazetovou nosnou konstrukcí Forster FONOCON Silent Solar je potřebná výška stěny v této konfiguraci minimálně 3 m. Např. na území hlavního města je podle vlastní analýzy dat z již zmíněné databáze Institutu plánování a rozvoje hl. m. Prahy průměrná výška PHS 3,42 m (zjištěno aritmetickým průměrem všech zaznamenaných PHS). ^[116]

Následující obrázek představuje trojrozměrnou vizualizaci FVPHS s kazetovou konstrukcí Forster FONOCON Silent Solar s vrchní řadou a dvěma spodními řadami FV modulů. Trojrozměrný model byl vytvořen pomocí software Autodesk Inventor Professional 2023.2 ^[110] se studentskou licenci ČVUT s použitím podkladů od společnosti Forster a společnosti KuPr System.



Obr. 39 Trojrozměrná vizualizace fotovoltaické protihlukové stěny s kazetovou konstrukcí Forster FONOCON Silent Solar pro účel stanovení teoretického potenciálu instalovaného výkonu [autor]

Uvažovaná nosná konstrukce neumožňuje nastavení azimutu FV modulů, musí proto respektovat směr PHS. Z tohoto hlediska je optimální směr PHS východo-západní, který umožní orientaci FV modulů na jih. Za krajně akceptovatelný bude však považován i směr PHS jihovýchod-severozápad nebo jihozápad-severovýchod. Z tohoto důvodu budou z výpočtu vyřazeny PHS ve směru severovýchod, sever až severozápad (a v opačném směru) a bude zaveden předpoklad, že PHS tohoto směru tvoří $\frac{1}{2}$ celkové délky PHS v ČR podle části obsahu kruhu, kterou tvoří obsahy vyloučených kruhových výsečí.



Obr. 40 Ilustrace vyloučených kruhových výsečí (černé) směru protihlukových stěn pro účel stanovení technického potenciálu instalovaného výkonu fotovoltaických protihlukových stěn [autor]

Dále však nelze předpokládat, že všechny vhodně orientované stěny budou pro instalaci FV systému použitelné. Zastínění zejména budovami nebo např. terénní vlnou (natolik závažné, že nelze kompenzovat vybavením FV modulů výkonovými optimizéry) a obecná nevhodnost (dále např. z důvodu nepoužitelného materiálu nebo nedostatečné výšky stěny) bude vyloučena další

korekcí ½. Celkový korekční součinitel činí tedy již ¼. Přítomnost vegetace s rizikem zastínění FV modulů (např. keře v okolí PHS nebo popínavé rostliny na stěnách) nebude považována za překážku, protože lze bez větších nákladů odstranit.

5.2.1 Potenciál výkonu v České republice

Výsledná využitelná délka protihlukových stěn pro projekty FVPHS v ČR po uvedené korekci součinitelem ¼ činí 209 km. Výsledný technický potenciál instalovaného výkonu FVPHS v ČR s uvažováním trojřadé konfigurace FV modulů s výkonem 0,219 kWp/m popsané v podkapitole 4.2.2 (Možný instalovaný výkon na délku fotovoltaické protihlukové stěny s nosnou konstrukcí Forster FONOCON Silent Solar) tedy činí 45,83 MWp. Při uvažování ročního výnosu elektrické energie z FV systémů 950 kWh/kWp v podnebných podmínkách ČR lze stanovit odhad vyrobené elektřiny ze všech potenciálně instalovaných FVPHS v ČR zhruba 43,5 GWh za rok.

V porovnání např. s potenciálem instalovaného výkonu FVE na BD a RD v ČR stanoveným ve studii (ENACO, 2015) ^[58] na 4 521 MWp se tedy jedná o poměrně malý podíl. Procentuální příspěvek při uvažování přičtení potenciálu instalovaného výkonu FVPHS k FVE na RD a BD činí pouze 1,014 %.

I pouze v Praze a jejím blízkém okolí existuje relativně rozsáhlý potenciál pro výrobu elektřiny ze Slunce. Podle studie zpracované společností EkoWATT ^[118] lze technicky využít v Praze a jejím blízkém okolí potenciál o minimálně 472 MWp instalovaného výkonu FVE při výrobě sluneční elektřiny 481 GWh/rok. V tomto případě procentuální příspěvek přičtením potenciálu instalovaného výkonu FVPHS činí 9,709 %, což již je nezanedbatelný podíl.

Tab. 4 zobrazuje porovnání výsledků stanovení technického potenciálu instalovaného výkonu pro kazetovou trojřadou nosnou konstrukci Forster FONOCON Silent Solar (konfigurace FVPHS typu 6) a vrchní nosnou konstrukci KuPr System (konfigurace FVPHS typu 1).

Česká republika se sice nemůže klimatickými podmínkami rovnat např. státům jižní Evropy, které disponují až dvojnásobným počtem hodin slunečního svitu. Přesto i zde lze vyrábět relativně vysoké množství elektřiny ze Slunce, protože FVE jsou velmi flexibilní z hlediska umístění, což dokazují právě i projekty FVPHS.

5.2.1.1 Potenciálně ušetřené emise CO₂ využitím elektřiny vyrobené z fotovoltaických protihlukových stěn

Dále bylo určeno množství ušetřených emisí CO₂ využitím elektřiny vyrobené z FVPHS. Jednak byla tato kalkulace provedena porovnáním s elektrárnou Pruněřov s uvažovanou účinností 42 %, která využívá jako palivo hnědé uhlí z Mostecké pánve s výhřevností 17,18 MJ/kg. ^[119] Pro hnědé uhlí byl stanoven podle MPO všeobecný emisní faktor CO₂ 0,36 t/MWh výhřevnosti paliva jako pomůcka pro orientační výpočet úspor emisí oxidu uhličitého dosažených změnou druhu paliva nebo sníženou spotřebou paliva. ^[120] Při uvažované výrobě 43,5 GWh z FVPHS za rok v případě konstrukce Forster by potřebné spálené palivo pro vyrobení stejného množství elektřiny v hnědouhelné elektrárně činilo zhruba 21,7 tis. t. Výsledné potenciálně ušetřené emise činí 37,3 tis. t za rok (váží tedy skoro dvakrát více než spálené palivo, protože CO₂ vzniká při hoření sloučením uhlíku z paliva a kyslíku ze vzduchu). Počet nově zasazených stromů pro roční absorbování stejného množství CO₂ by se rovnal 223 tis. (s uvažováním průměrné absorpce stromu 167 kg CO₂ ročně). ^[121]

Parametr	Kazetová trojřadá nosná konstrukce Forster FONOCON Silent Solar (konfigurace FVPHS typu 6)	Vrchní nosná konstrukce KuPr System (konfigurace FVPHS typu 1)
Potenciál instalovaného výkonu v ČR [MWp]	45,83	48,10
Odhad výroby elektrické energie daných FV systémů za rok [MWh]	43 534,8	45 696,4
Procentuální příspěvek při uvažování přičtení potenciálu instalovaného výkonu FVPHS k FVE na RD a BD v ČR [%]	1,014 %	1,064 %
Procentuální příspěvek při uvažování přičtení potenciálu instalovaného výkonu FVPHS k FVE na RD a BD v Praze a jejím blízkém okolí [%]	9,709 %	10,191 %
Ušetřené emise CO ₂ provozem daných FV systémů za rok v porovnání s hnědouhelnou elektrárnou – Pruněrov (EPRU) [t]	37 315,5	39 168,4
Ušetřené emise CO ₂ provozem daných FV systémů za rok v porovnání s emisním faktorem pro elektřinu podle národního energetického mixu ČR [t]	20 287,2	21 294,5
Počet nově zasazených stromů pro absorbování stejného množství CO ₂ (při porovnání s uhelnou elektrárnou)	121 480	127 512
Ušetřené náklady na emisní povolenky (při porovnání s emisním faktorem podle národního energetického mixu) [CZK]	44 965 849	47 198 546

Tab. 4 Technický potenciál instalovaného výkonu a ušetřených emisí CO₂ fotovoltaické protihlukové stěny [autor]

Za férovější porovnání by mohlo být považováno porovnání s emisním faktorem CO₂ pro elektřinu podle národního energetického mixu ČR na MWh celkové elektřiny podle výpočtu MPO, který činí 0,466 t/MWh. [122] V takovém případě by ušetřené emise s konstrukcí Forster dosahovaly 20,3 tis. t CO₂. Při ušetření tohoto množství emisí, ceně emisní povolenky EU ETS 91,25 EUR/t [123] a kurzu EUR/CZK 24,29 [114] činí ušetřené náklady na emisní povolenky 45 mil. CZK.

Při uvažování průměrné roční spotřeby elektřiny domácnosti v ČR 3,5 MWh může činit potenciální počet zásobovaných domácností elektřinou vyrobenou z FVPHS až 12 439 při využití plného potenciálu instalované výkonu FVPHS s nosnou konstrukcí Forster v ČR (ovšem se zanedbáním intermitentního charakteru výroby elektřiny z FVE) .

5.2.1.2 Pilotní projekt fotovoltaické protihlukové stěny Osice

V současné době ŘSD uvažuje o pilotním projektu FVPHS na odpočívce dálnice D11 v obci Osice. Jedná se o čtyři pole (čtyři ocelové nosníky HEB) na okraji stávající PHS s dřevěnými panely, které mohou být nahrazeny protihlukovými panely s nosnou konstrukcí pro FV moduly.



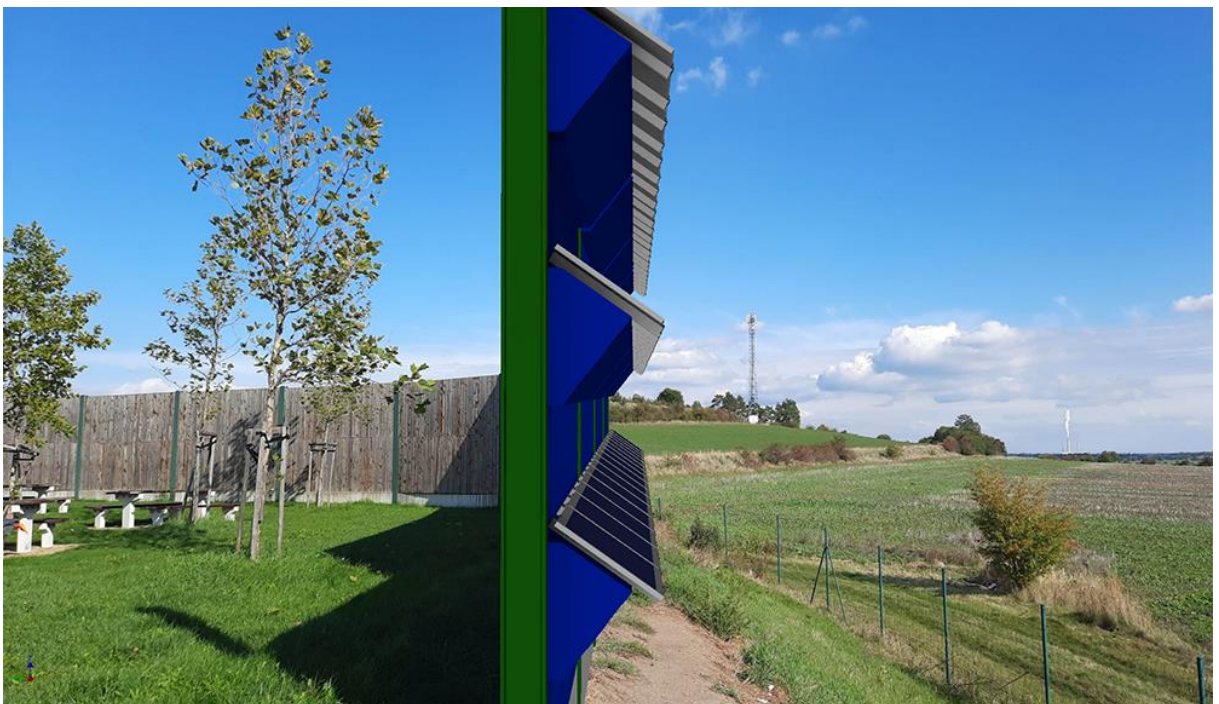
Obr. 41 Satelitní snímek odpočívky na dálnici D11 v obci Osice s vyznačenými protihlukovými stěnami (černé) a se zvýrazněnou částí stěny a prostorem vyhrazeným pro pilotní projekt FVPHS [zdroj: ŘSD]

Následující vizualizace (Obr. 42, Obr. 43) byly vytvořeny pomocí open-source software GIMP ^[124] z fotografií pořízených při návštěvě místa určeného pro pilotní projekt fotomontáží v kombinaci s již dříve uvedenými trojrozměrnými modely kazetových protihlukových panelů Forster s nosnou konstrukcí pro FV moduly vytvořenými pomocí software Autodesk Inventor (další informace v podkapitole 4.2 Fotovoltaická protihluková stěna s kazetovou nosnou konstrukcí Forster FONOCN Silent Solar a samotný trojrozměrný model Obr. 39).

Pro model ekonomické efektivity v této diplomové práci však bude uvažován jiný (větší) projekt z důvodu malého rozsahu a specifik vyplývajících z pilotního projektu, který na 16 m (4 pole PHS po 4 m) umožňuje s uvažovanou trojřadou kazetovou nosnou konstrukcí od společnosti Forster umístit pouze 3,8 kWp výkonu FV modulů. Realizace tohoto pilotního projektu FVPHS v ČR však může být důležitým prvním vzorem pro technické řešení a následné širší využití FVPHS.



Obr. 42 Trojrozměrná vizualizace (fotomontáž) návrhu pilotního projektu FVPHS na odpočívce dálnice D11 v obci Osice s protihlukovými panely Forster FONOCON Silent Solar (přední pohled) [autor]



Obr. 43 Trojrozměrná vizualizace (fotomontáž) návrhu pilotního projektu FVPHS na odpočívce dálnice D11 v obci Osice s protihlukovými panely Forster FONOCON Silent Solar (boční pohled) [autor]

5.2.2 Potenciál výkonu v ostatních zkoumaných evropských státech

Následující tabulka obsahuje přehled výsledků stanovení technického potenciálu instalovaného výkonu FVPHS v ostatních vybraných zkoumaných státech (pro porovnání včetně již uvedených výsledků pro ČR).

Stát	Výsledná využitelná délka protihlukových stěn (po korekci součinitelem ¼) [km]	Výsledný technický potenciál instalovaného výkonu FVPHS v ČR (kazetová trojřadá nosná konstrukce Forster FONOCON Silent Solar, konfigurace FVPHS typu 6) [MWp]	Výsledný technický potenciál instalovaného výkonu FVPHS v ČR (vrchní nosná konstrukce KuPr System, konfigurace FVPHS typu 1) [MWp]
Rakousko [125][126]	577	126,32	132,60
Slovensko [128]	341	18,68	19,61
Německo [129]	1 175	257,47	270,25
Polsko [130]	575	125,99	132,25
Nizozemsko [3][131]	525	115,04	120,75
Česká republika [116][117]	209	45,83	48,10

Tab. 5 Přehled stanoveného technického potenciálu instalovaného výkonu fotovoltaických protihlukových stěn ve všech zkoumaných státech [autor]

KAPITOLA 6: HODNOCENÍ EKONOMICKÉ EFEKTIVNOSTI PROJEKTU FOTOVOLTAICKÉ PROTIHLUKOVÉ STĚNY

Pro model ekonomické efektivity FVPHS byla zvolena protihluková stěna na dálnici D5 u obce Svojkovice (okres Rokycany). Celková délka PHS je zobrazena na Obr. 44 a činí zhruba 300 m. Z toho 248 m bylo identifikováno jako vhodné pro montáž FVPHS, protože část délky PHS zabírá dálniční most přes podjezd, který je pro montáž FVPHS nevhodný. Přestože délka jednotlivých polí (roztečí mezi nosnými profily HEB) je ve skutečnosti proměnlivá a byla by tedy nutná výroba některých protihlukových panelů s nosnou konstrukcí v délce na míru, zavedením zjednodušujícího předpokladu bude uvažována konstantní délka polí 4 m. Počet uvažovaných polí PHS tedy činí 62.



Obr. 44 Satelitní snímek s vyznačenou délkou protihlukové stěny na dálnici D5 u obce Svojkovice uvažované pro ekonomický model projektu FVPHS ^[132]



Obr. 45 Pohled z dálnice D5 u obce Svojkovice na protihlukovou stěnu uvažovanou pro ekonomický model projektu FVPHS ^[132]

S využitím služby Street View ve webové aplikaci Google Maps ^[132] byly i pro tento projekt FVPHS vytvořeny vizualizace opět fotomontáží v kombinaci s trojrozměrnými modely kazetových protihlukových panelů Forster. Jak je z obrázku patrné, stávající vegetace (ve vizualizaci retušovaná) by zastíňovala FV moduly. To však nebude považováno za překážku, protože může být v případě realizace bez větších nákladů odstraněna.



Obr. 46 Trojrozměrná vizualizace (fotomontáž) uvažovaného projektu FVPHS pro ekonomický model na dálnici D5 u obce Svojkovice s protihlukovými panely Forster FONOCON Silent Solar (pohled ze strany mimo dálnici) [autor] s využitím Google Street View ^[132]

6.1 Investice do fotovoltaické protihlukové stěny

Z důvodu významného růstu cen FV modulů v roce 2022 zejména od dodavatelů z Asie (zejména z Číny), spojeného také se zdražením dopravy z této oblasti (jak bylo diskutováno v 1. kapitole), byly pro ekonomický model vybrány FV moduly od polského výrobce ML System, které již byly představeny v podkapitole 4.2.

Pro variantu A (FVPHS s kazetovou trojřadou nosnou konstrukcí) se jedná o FV moduly sklo-sko^[111] s rozměry na míru (bezrámové) s výkonem 219 Wp pro vrchní řadu s uvažovanou cenou 10 107 CZK/ks. Dále se jedná o moduly s výkonem 110 Wp pro spodní řady (z rovněž již diskutovaných důvodů omezení šířky FV modulů v podkapitole 4.2.) s uvažovanou cenou 5 158 CZK/ks. Jak je patrné, s výrobou modulů s rozměry na míru je spojena i vyšší cena na Wp výkonu.

Varianta B (FVPHS s vrchní nosnou konstrukcí) počítá s FV moduly se standardními rozměry ML Half Cut^[113] s výkonem 460 Wp s uvažovanou cenou 9 946 CZK/ks v modelu.

Důležité rozhodnutí při návrhu výkonnějších FV systémů představuje výběr mezi tzv. decentralizovaným systémem (s větším počtem méně výkonných střídačů) a centralizovaným systémem (s jedním výkonnějším střídačem). Významným faktorem při tomto výběru je, jak odlehlá nebo nedostupná je lokalita, ve které má být FV systém realizován. V některých lokalitách nemusí být snadný přístup pro servis a dopravu centrálních střídačů, ale kvalifikovaný správce elektrárny na místě může být schopen vypnout nefunkční decentralizované střídače a vyměnit je za náhradní jednotky připravené na místě. Poruchové střídače pak mohou být odeslány k opravě nebo výměně. V případě tohoto projektu je však dostupnost velmi dobrá i pro těžkou stavební techniku, proto bude zvolen centralizovaný systém, který umožňuje vyšší spolehlivost a levnější údržbu.^[134]

Uvažovanými měniči pro tento projekt jsou Fronius Tauro 50-3-D^[135] nebo GoodWe 50K-MT.^[136] Oba střídače umožňují ve variantě instalovaného výkonu A i B připojení dostatečného výkonu FV modulů (až 75 kWp a 65 kWp) s maximálním vstupní stejnosměrným napětím 1000 V na MPPT regulátor (MPPT regulace již byla popsána v teoretické podkapitole 2.3.1). FV modul ve variantě B má napětí v bodě maximálního výkonu $V_{MPP} = 31,3$ V, což v počtu 124 modulů činí 3881,2 V. Po rozdělení na čtyři MPPT regulátory, kterými disponuje měnič GoodWe, tedy vstupní stejnosměrné napětí splňuje omezení do 1000 V na jeden MPPT regulátor. Naopak střídač Fronius disponuje pouze třemi MPPT regulátory, proto není vhodný pro tento projekt. Měnič GoodWe je tedy vyhovující i pro variantu B s vyšším instalovaným výkonem, proto bude v modelu za cenu 249 000 CZK uvažován pro obě varianty FVPHS. Při použití tohoto měniče mohou být FV moduly dále rozděleny až do 10 stringů pro další snížení stejnosměrného napětí na jednotlivých sériových větvích, které je vždy žádoucí co nejnižší z důvodu bezpečnosti nebo např. rizika požáru a následného obtížného rozpojení v případě nepoužití výkonových optimizérů (které již byly popsány v teoretické podkapitole 2.2.5).

Vybavení výkonovými optimizéry za cenu 540 CZK/ks je uvažováno pouze na spodní řadu FV modulů u varianty A z důvodu největšího rizika zastínění těchto modulů (s uvážením ekonomické efektivnosti pořízení optimizérů).

V modelu je na základě informací potvrzených od ŘSD uvažována dotace z Modernizačního fondu (který již byl zmiňován v kapitole 1) v hodnotě 50 % počáteční investice do výstavby FVPHS. Program Modernizačního fondu č. 2 Nové obnovitelné zdroje v energetice (RES+) je přímo pro instalaci FVE do veřejného prostoru určen, i když nejsou mezi příklady podporovaných opatření PHS explicitně zmíněny.^{[9][10]} Lze však uvažovat podporu projektu FVPHS v rámci výzvy RES+ č. 1/2022 - Fotovoltaické elektrárny do 1 MWp nebo v rámci výzvy RES+ č. 3/2022 - Komunální FVE pro malé obce.^{[11][12]}

Celková investice do systému FVPHS po odečtení dotace činí včetně rozvaděčů, ochran, kabeláže, dopravy, montáže, revize apod. ve variantě A činí 3 347 863 CZK a ve variantě B 3 442 308 CZK. I přes o několik kWp vyšší instalovaný výkon je cena varianty B pouze mírně vyšší,

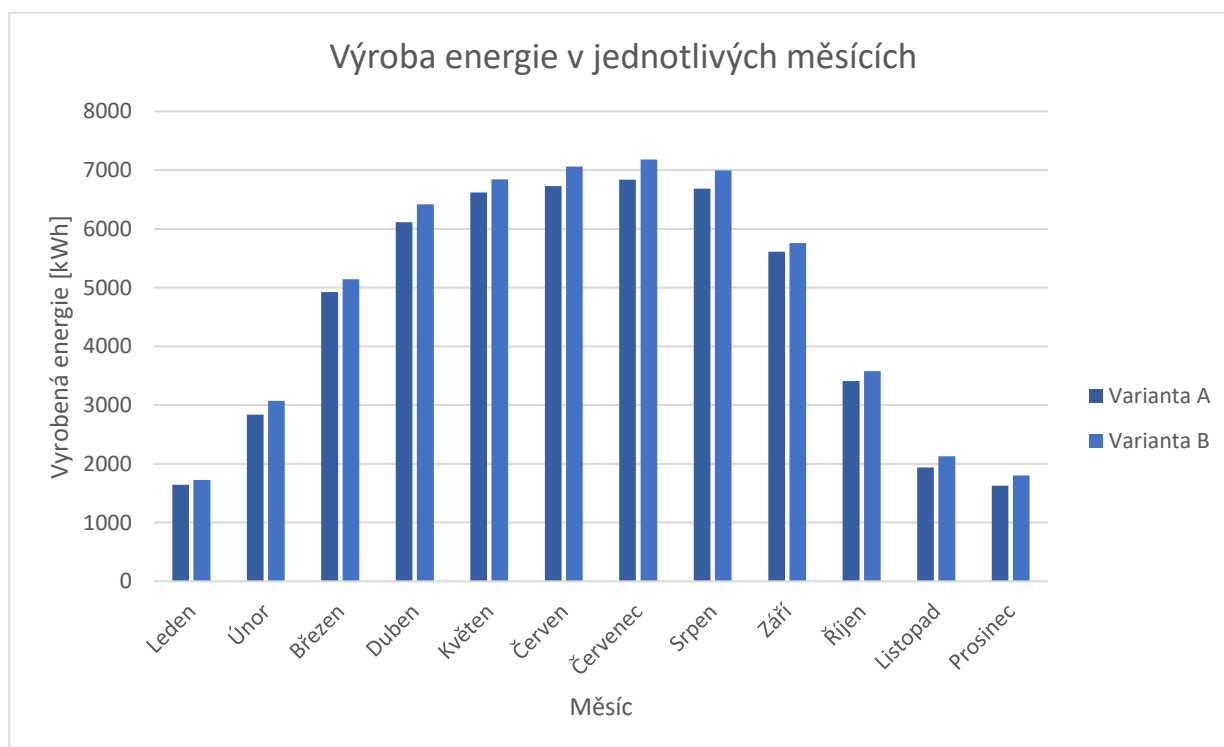
což je umožněno použitím FV modulů o standardních rozměrech oproti variantě A, která vyžaduje užší moduly s rozměry na míru.

Měrná investice do celého systému FVPHS na kWp výkonu tedy činí zhruba 60 000 CZK/kWp. V porovnání s běžnými CAPEX pro utility-scale systémy pro rok 2022 (diskutovanými v 1. kapitole) se jedná téměř o trojnásobnou hodnotu. To je způsobeno specifiky instalace FVE na protihlukovou stěnu oproti např. instalaci do volného prostoru na polích.

I když se jedná o instalaci nad 50 kWp, která i podle novely energetického zákona ze září 2022 [14] stále vyžaduje např. územní povolení, stavební povolení, ohlášení stavby, licenci ERÚ nebo měsíční vykazování výkonu, lze očekávat další zjednodušování legislativních podmínek výstavby FVE (jak již bylo diskutováno rovněž v kapitole 1). Proto je možné, že se i pro tento projekt v případě realizace v budoucnu podle plánů legislativní zátěž zjednoduší. [13]

6.1.1 Model výroby elektrické energie

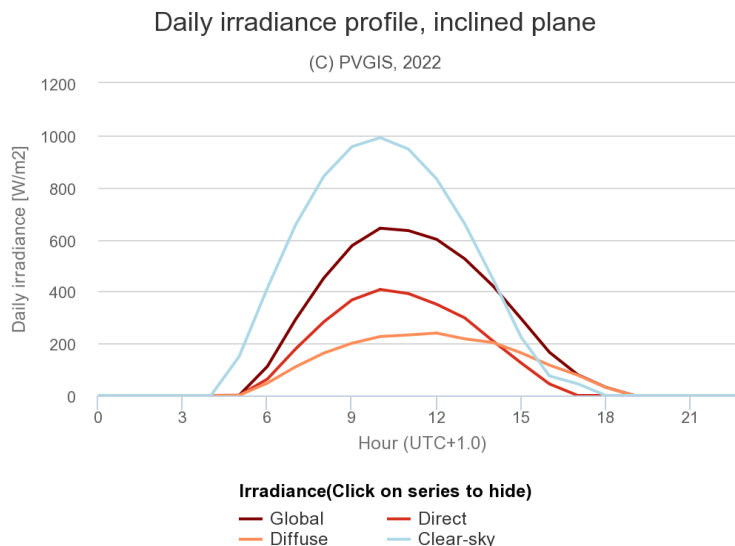
Vyrobená elektřina oběma variantami FVPHS v jednotlivých měsících byla určena pomocí webové aplikace PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System – Fotovoltaický geografický informační systém). [133] Pomocí aplikace byl také určen optimální sklon FV modulů 35° pro maximalizaci výroby energie, se kterým bylo dále počítáno, protože obě varianty nosné konstrukce tento úhel umožňují. Dále jsou standardně uvažovány ztráty systému 14 % a azimut vzhledem k jihu -41° (jihovýchodní orientace FV modulů) určený směrem protihlukové stěny. Nejedná se o optimální azimut (který by činil zhruba -3°). I když se touto orientací oproti optimálnímu azimutu sníží celková roční výroba elektřiny, posílí se však alespoň ranní výroba, což se může ukázat jako výhodné pro některé varianty využití energie. Kompletní výstupní protokol z PVGIS je uveden v příloze.



Obr. 47 Graf predikce elektrické energie vyrobené fotovoltaickou protihlukovou stěnou s danými parametry ve zkoumané lokalitě v jednotlivých měsících [autor] s využitím dat z PVGIS [133]

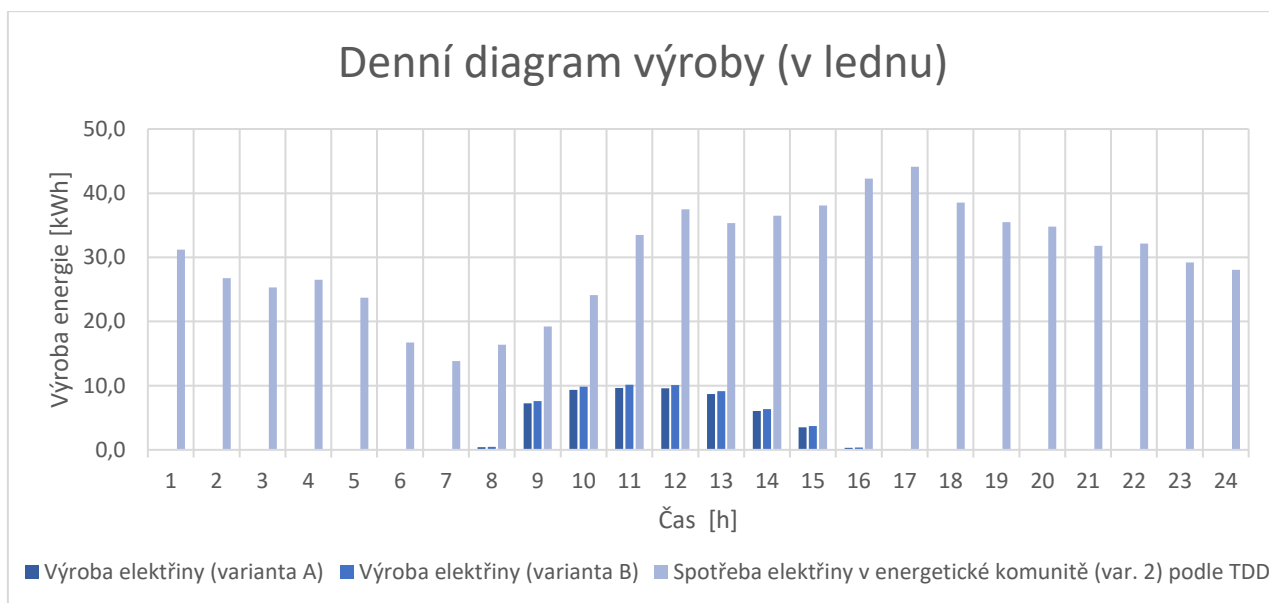
Předpokládaná roční vyrobená energie pro variantu A (FVPHS s kazetovou trojřadou nosnou konstrukcí a výkonem 54,34 kWp) činí 54 980,6 kWh a pro variantu B (FVE s vrchní nosnou

konstrukcí a výkonem 57,04 kWp) činí 57 702,8 kWh. Teoretický optimální výkon podle varianty využití energie bez respektování omezení maximálního instalovaného výkonu podle délky protihlukové stěny bude stanoven v dalších podkapitolách. Pro posouzení ekonomické efektivity bude však uvažován právě uvedený maximální možný instalovaný výkon. V následujících letech lze očekávat, že se výkon FV modulů dostupných na trhu dále zvýší při zachování stejných rozměrů, což by umožnilo instalaci FVPHS o vyšším výkonu na danou délku.

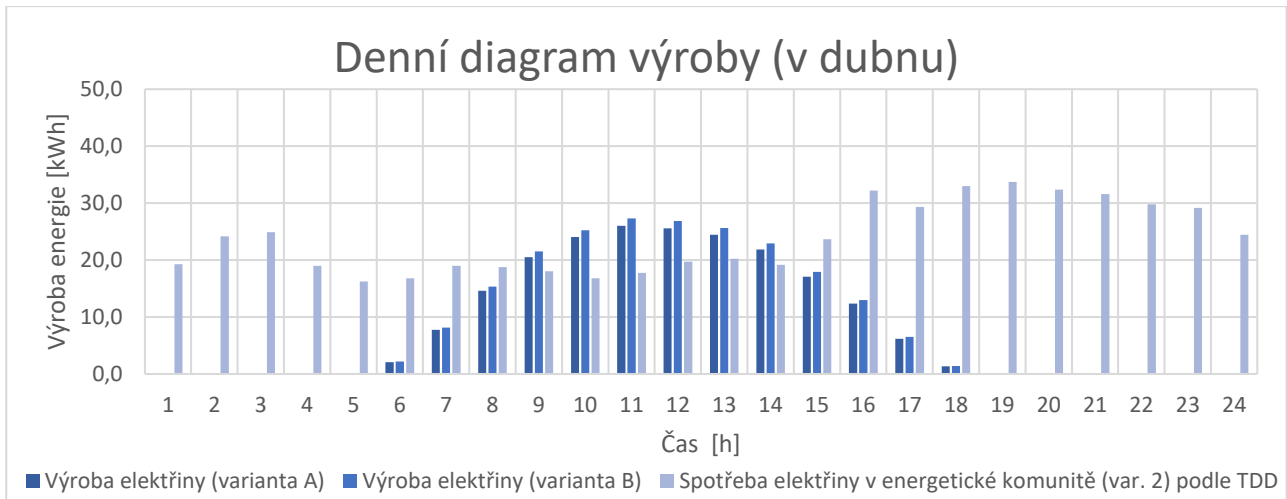


Obr. 48 Denní profil předpokládaného slunečního záření ve zkoumané lokalitě v dubnu [133]

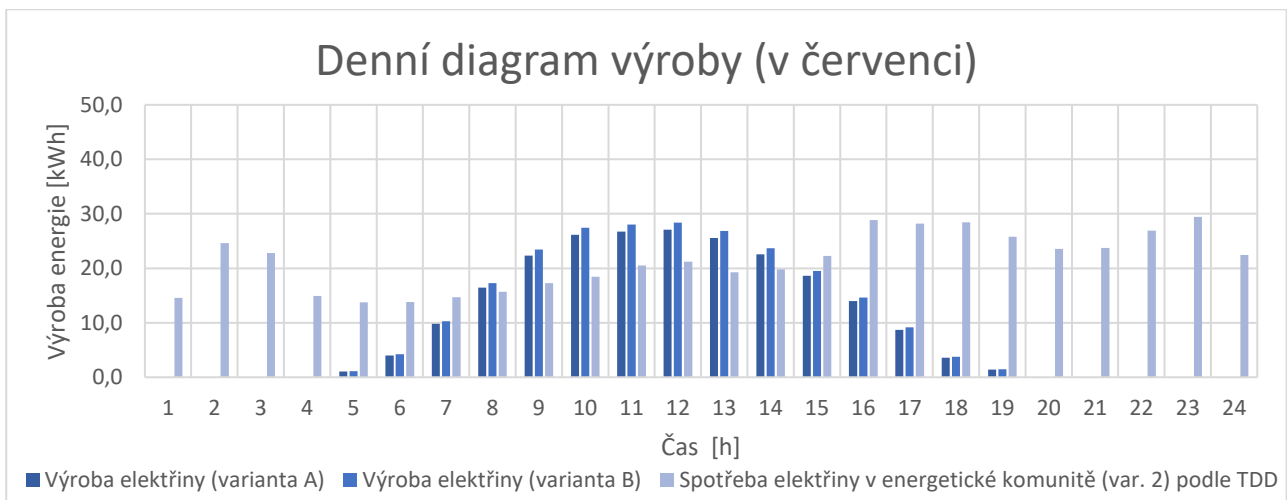
Dále byly vytvořeny denní diagramy výroby pro jednotlivá roční období (Obr. 49 až Obr. 52) pomocí profilů denního slunečního záření opět z PVGIS [133] (Obr. 48). Použita je vždy hodnota globálního (celkového) záření, která je součtem přímého a difúzního záření. V modelu výroby elektřiny pomocí PVGIS je uvažován i vliv atmosférické teploty na účinnost FV modulů (již zmíněn v 2. kapitole), čímž se v průměrném roce zvyšuje jarní výroba elektřiny z důvodu vysokého počtu slunečných dnů, ale nižší teploty oproti letní výrobě.



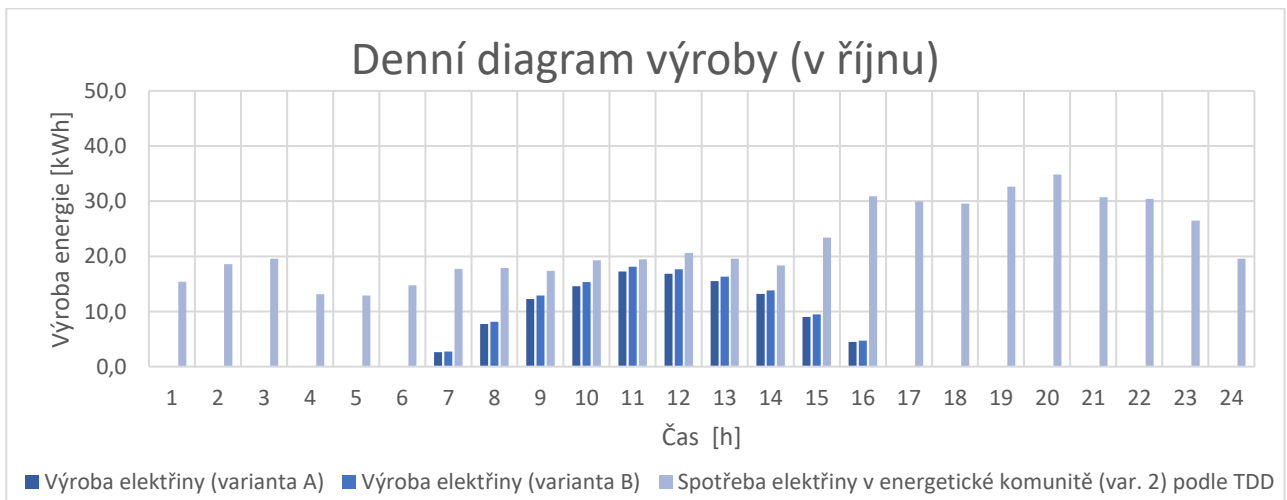
Obr. 49 Denní diagram předpokládané výroby a spotřeby energie ve zkoumané lokalitě v lednu [autor] s využitím dat PVGIS [133] a TDD [137]



Obr. 50 Denní diagram předpokládané výroby a spotřeby energie ve zkoumané lokalitě v dubnu [autor] s využitím dat PVGIS^[133] a TDD^[137]



Obr. 51 Denní diagram předpokládané výroby a spotřeby energie ve zkoumané lokalitě v červenci [autor] s využitím dat PVGIS^[133] a TDD^[137]



Obr. 52 Denní diagram předpokládané výroby a spotřeby energie ve zkoumané lokalitě v říjnu [autor] s využitím dat PVGIS^[133] a TDD^[137]

V diagramech je zároveň zobrazena i spotřeba energetické komunity podle typových diagramů dodávek (TDD), které budou vysvětleny v následujících podkapitolách. Je zde patrné, že výroba elektřiny z FVPHS po většinu roku nepokryje denní spotřebu energetické komunity ani v jedné variantě FVPHS, jak bude blíže popsáno v příslušné podkapitole (podkapitola 6.2.4.2 Varianta využití energie č. 2 – energetická komunita).

6.1.1.1 Ušetřené emise CO₂ využitím elektřiny vyrobené z fotovoltaické protihlukové stěny Svojkovice

Stejnou metodou, která již byla popsána v kapitole o potenciálu instalovaného výkonu v zemích EU (podkapitola 5.2.1.1 Potenciálně ušetřené emise CO₂ využitím elektřiny vyrobené z fotovoltaických protihlukových stěn), bylo určeno i množství ušetřených emisí CO₂ využitím elektřiny vyrobené v konkrétním projektu FVPHS Svojkovice. Při uvažované výrobě 54,98 MWh z FVPHS za rok v případě varianty nosné konstrukce A by potřebné spálené palivo pro vyrobení stejného množství elektřiny v hnědohelné elektrárně činilo zhruba 27,4 t. Výsledné potenciálně ušetřené emise činí 47,1 t za rok. Počet nově zasazených stromů pro roční absorbování stejného množství CO₂ by se rovnal 282.

Při porovnání s emisním faktorem CO₂ pro elektřinu podle národního energetického mixu ČR na MWh celkové elektřiny by ušetřené emise s konstrukcí ve variantě A dosahovaly 25,6 t CO₂. Při ušetření tohoto množství emisí činí roční ušetřené náklady na emisní povolenky 56 788 CZK.

6.2 Model ekonomické efektivity

Následující podkapitoly popisují vstupy, předpoklady a mechanismy zavedené v ekonomickém modelu.

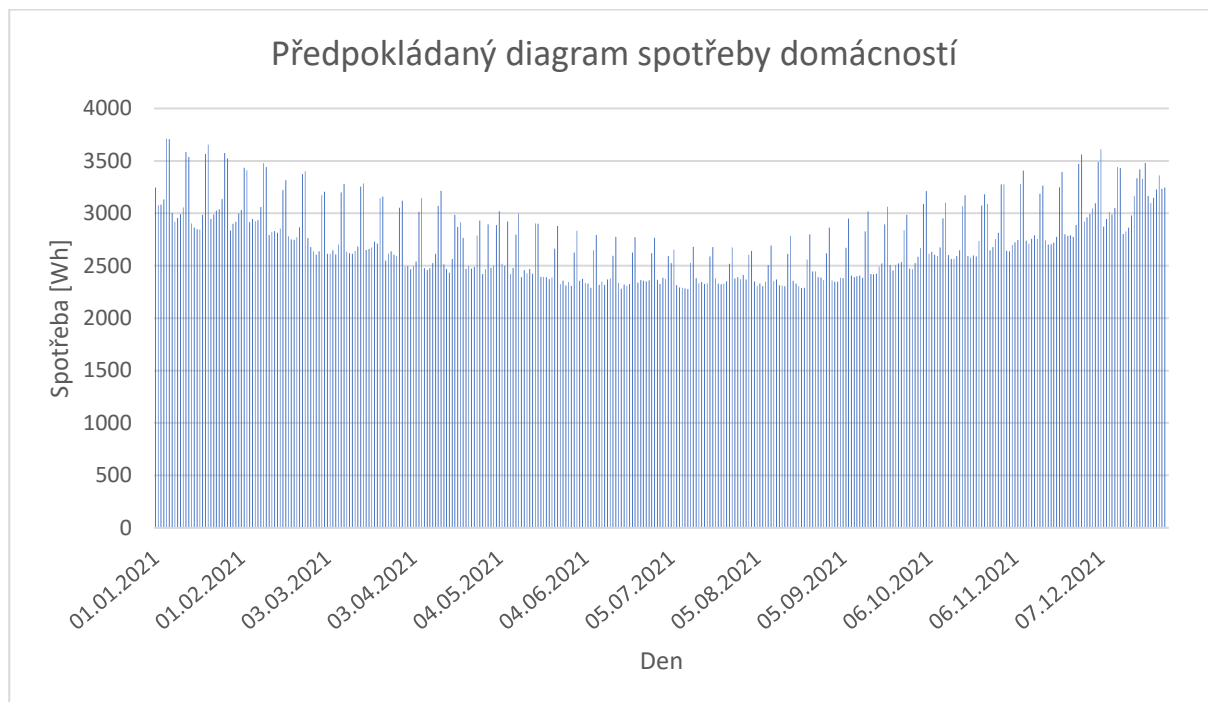
6.2.1 Typové diagramy dodávky

Pro modelování spotřeby elektrické energie budou v ekonomickém modelu použity typové diagramy dodávky (TDD). Rozdělují spotřebu elektřiny v příslušném odběrném místě do jednotlivých hodin. Průběhy vyjadřují odběr elektrické energie podle určité třídy odběratelů a stanovuje se pomocí nich velikost hodinového odběru zákazníků. Existuje 8 tříd, které jsou přiřazeny tarifům podle platné tarifní struktury. Hodnoty jsou tvořeny na ose x časovou veličinou, na ose y jsou bezrozměrné a pohybují se v rozmezí 0 až 1. Typové diagramy dodávky vznikají na základě skutečně prováděných měření u velkého množství zákazníků. Celkový součet relativních hodnot průměrných hodinových odběrů vyjadřuje dobu využití maxima. Přepočtené TDD vznikají z normalizovaného TDD pomocí skutečné teploty v daném roce a regresních koeficientů. Podle následujícího vztahu byla přepočítána celková roční spotřeba každého OM na jednotlivé hodiny přes relativní hodnoty průměrných hodinových odběrů v roce, vztažené k hodnotě ročního maxima průměrných hodinových odběrů, určeného z měření vzorků TDD.

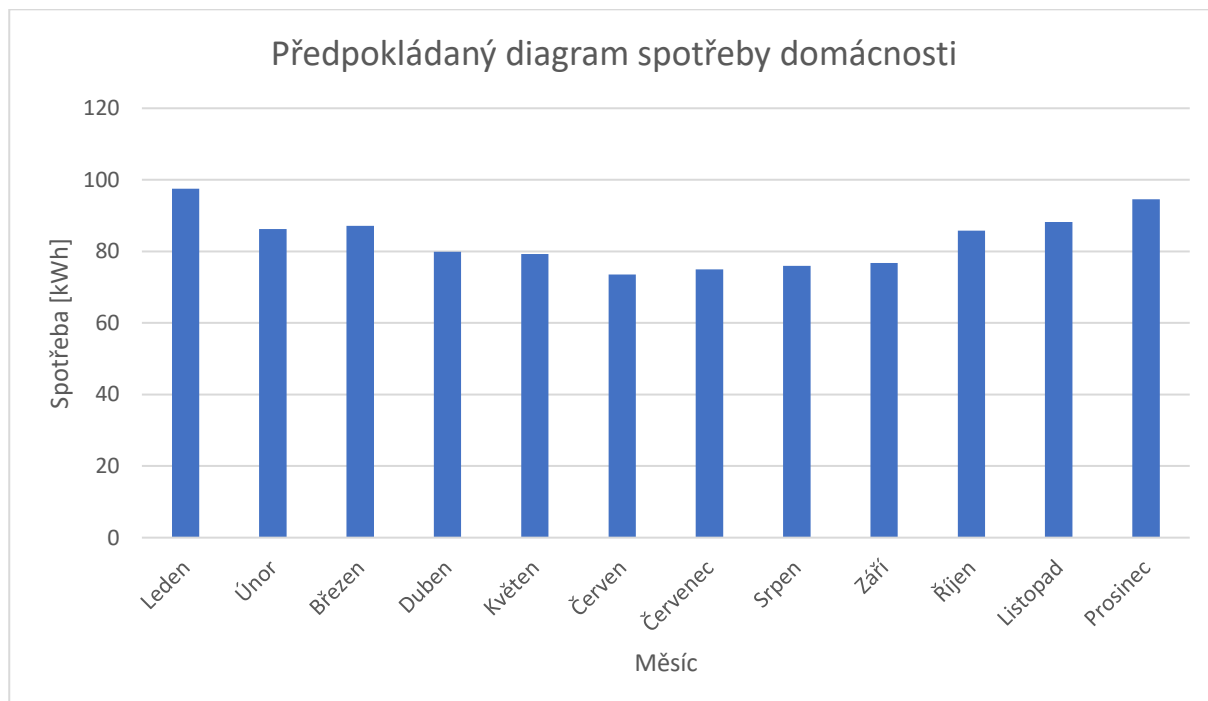
$$O_h = O_R * \frac{r_h}{\sum_{h=1}^{8760} r_h} \quad (6-1)$$

, kde O_h je hodnota odběru pro hodinu h ,
 O_R je roční spotřeba zákazníka a
 r_h je relativní hodnota průměrného hodinového odběru pro hodinu h . [140]

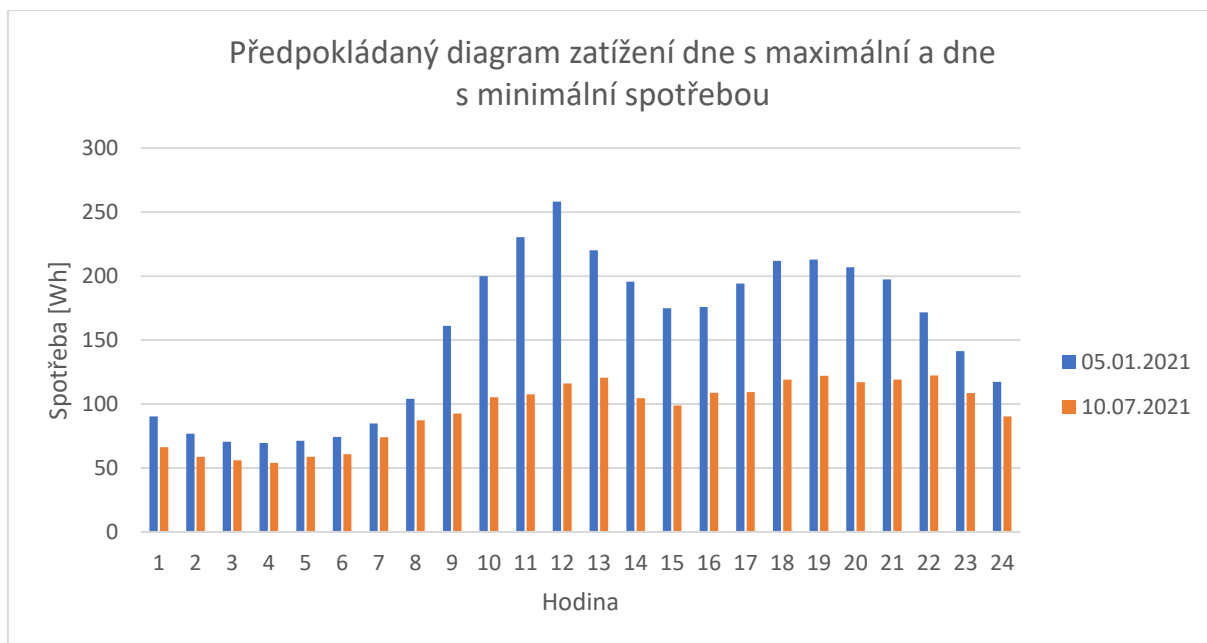
Následující grafy ukazují předpokládanou spotřebu jednoho z odběrných míst v EK podle přepočtených TDD4 za rok 2021.



Obr. 53 Předpokládaný diagram spotřeby OM s distribuční sazbou elektřiny D01d podle TDD4 za rok 2021 – hodnoty denně [autor] s využitím dat TDD ^[137]



Obr. 54 Předpokládaný diagram spotřeby OM s distribuční sazbou elektřiny D01d podle TDD4 za rok – hodnoty měsíčně [autor] s využitím dat TDD ^[137]



Obr. 55 Předpokládaný diagram zatížení dne s maximální a dne s minimální spotřebou OM s distribuční sazbou elektřiny D01d podle TDD4 za rok 2021 [autor] s využitím dat TDD ^[137]

Z Obr. 53 je patrné, že v použité třídě TDD4 je spotřeba vyšší vždy o víkendech. Projevuje se zde fakt, že lidé během týdne tráví více času v zaměstnání nebo ve škole a o víkendu jsou naopak delší dobu doma. Navíc obyvatelé třeba více používají pračku, připravují doma jídlo apod.

V Obr. 54 lze pozorovat nárůst spotřeby v zimních měsících oproti letním, přestože tato sazba není určena pro domácnosti s elektrickým vytápěním ani s elektrickým ohřevem vody. Projevují se zde kratší zimní dny, a proto je delší dobu využíváno elektrické osvětlení. Navíc lidé tráví více času doma. Pokud by více domácností používalo v létě klimatizaci, mohl by se tento trend obrátit a spotřeba v létě by mohl výrazně narůst oproti spotřebě v zimě. V ČR však v současné době většina domácností zatím klimatizaci nepoužívá.

Obr. 55 zobrazuje spotřebu v jednotlivých hodinách zároveň v průběhu dne s maximální spotřebou a v průběhu dne s minimální spotřebou. V grafu lze vidět, že je celkový odběr v červencovém dni výrazně nižší, ale zároveň v lednovém dni se v průběhu dne objevují mnohem výraznější špičky, zatímco v nočních hodinách není spotřeba mezi oběma dny tolik odlišná. Výrazné špičky v lednovém dni lze přisuzovat tomu, že členové domácnosti jsou doma a jsou naplno využívány spotřebiče v domácnosti. To znamená, že energii spotřebovává nejvíce přes poledne a poté opět k večeru např. elektrický sporák, pečící trouba, pračka, TV, počítače atd. Navíc již mnohem dříve než v létě je odpoledne po setmění zapnuto elektrické osvětlení. Naopak v červencovém dni lze předpokládat, že členové domácnosti jsou většinu dne v práci a poté tráví čas mimo domov dlouho do pozdního večera. V nočních hodinách není spotřeba mezi oběma dny tolik odlišná, protože jsou v provozu převážně zařízení s minimálním odběrem (např. ve stand-by režimu). Topení by se v této třídě TDD4 nemělo příliš projevovat (i když např. i plynový kotel má nezanedbatelnou spotřebu elektřiny zejména pro řídicí jednotku a čerpadla).

6.2.2 Stanovení diskontní míry

Stanovení diskontu bylo provedeno pomocí modelu oceňování kapitálových aktiv (CAPM – capital asset pricing model) podle následujícího vztahu.

$$E(r_i) = r_f + [E(r_m) - r_f] * \beta_i \quad (6-2)$$

, kde $E(r_i)$ je očekávaná výnosová míra,
 r_f je bezriziková výnosová míra,
 $E(r_m)$ je očekávaná výnosová míra trhu,
 $[E(r_m) - r_f]$ je tržní riziková prémie (MRP – market risk premium) a
 β_i je beta koeficient trhu. ^[155]

Do tohoto modelu vstupuje bezrizikový výnos, který byl stanoven podle výnosu státních pokladničních poukázek. Bezrizikový výnos se aktuálně kvůli inflaci pohybuje velmi vysoko, ^[156] proto bude uvažována hodnota ze začátku roku 2022. ^[157]

Dalším vstupem je tržní riziková prémie (MRP) pro Českou republiku, jejíž hodnota byla převzata z materiálů na webu profesora A. Damodarana ^[158] s poslední aktualizací v červenci 2022.

Dále je třeba znát beta koeficient pro průmysl OZE (Green & Renewable Energy) v Evropě rovněž z tohoto zdroje. Pomocí beta koeficientu se měří systematické riziko daného aktiva. To znamená, že dané aktivum je β_i -krát rizikovější než tržní průměr. Beta koeficient lze přepočítat na zadlužení podle podílu cizího kapitálu a daňové sazby. V tomto případě se však bude počítat s financováním 100 % z vlastního kapitálu, a tedy s nezadluženým beta koeficientem, protože předpokládaným investorem pro tento projekt je např. ŘSD nebo SŽ, které jsou státními organizacemi. V rámci některých variant uvažovaného projektu FVPHS, které budou popsány v dalších podkapitolách, by přicházelo v úvahu i tzv. financování energeticky úsporných opatření z budoucích úspor (EPC – energy performance contracting). Jedná se o komplexní službu, která v sobě zahrnuje návrh úsporných opatření, přípravu, realizaci a zajištění financování projektu vedoucího k úsporám energie. Metoda funguje na splátkovém principu, zákazník tedy k její realizaci nepotřebuje žádné vlastní finanční zdroje. Klient realizaci postupně poskytovateli splácí z výsledných a smluvně garantovaných úspor. Veškerá rizika projektu nese poskytovatel a v případě, že úspor není dosaženo podle předem stanoveného modelu, nese poskytovatel i finanční dopady tohoto neúspěchu.

Výsledný reálný diskont odpovídá očekávané výnosové míře vlastního kapitálu podle CAPM, která činí 6,04 %. Dále je tato hodnota podle následujícího vztahu použita ke stanovení nominálního diskontu, který zahrnuje působení inflace na hotovostní toky.

$$r_n = (1 + r_r) * (1 + \alpha) - 1 \quad (6-3)$$

, kde r_n je nominální diskont,
 r_r je reálný diskont,
 α je meziroční míra inflace. ^[161]

Stejně jako v případě bezrizikového výnosu nebude uvažována aktuální meziroční míra inflace (16,2 %). ^[159] Bude uvažována počáteční hodnota meziroční míry inflace podle dat ČSÚ z roku 2021 (3,2 %). ^[159] ČNB dlouhodobě pracuje na snížení inflace na cíl 2 %, ^[160] proto je v modelu zaveden předpoklad, že inflace bude od začátku projektu klesat každý rok o 0,1 % postupně až na hodnotu 2 %, na které zůstane do konce doby životnosti projektu. Výsledná nominální diskontní míra na počátku projektu tedy činí 9,43 %.

Následně by ještě mohla být počítána vážená průměrná cena kapitálu (WACC – weighted average cost of capital), která je ale v tomto případě shodná s již stanoveným diskontem podle CAPM, protože je uvažováno 100 % financování z vlastního kapitálu. Vstupem WACC je cena

vlastního kapitálu podle CAPM a cena cizího kapitálu, která se zpravidla rovná úrokové míře využitého úvěru. Výsledný WACC je pak vážen pomocí podílů vlastního a cizího kapitálu a do výpočtu vstupuje také daňový štít.

6.2.3 Kritéria hodnocení ekonomické efektivity

V ekonomickém modelu je pro každou variantu sestavena výsledovka z celkových výnosů tvořených využitím nebo prodejem vyrobené elektřiny z FVPHS a z celkových nákladů tvořených zejména počáteční investicí do výstavby, reinvesticí a pravidelnou údržbou. Výsledkem je zisk před odečtením úroků, daní a odpisů (EBITDA – earnings before interest, taxes, depreciation, and amortization) v jednotlivých letech doby životnosti projektu. Od toho jsou dále odečteny odpisy, čímž vzniká daňový základ neboli zisk před odečtením daní (EBT – earnings before taxes), který se v tomto případě rovná i zisku před odečtením daní a úroků (EBIT – earnings before interest and taxes) kvůli absenci úroků z cizího kapitálu z důvodu 100 % financování z vlastního kapitálu. Z EBT je pomocí sazby daně z příjmu pro právnické osoby 19 % vypočtena výše daně v jednotlivých letech. ^[162] Pro variantu 2 (využití vyrobené elektřiny v energetické komunitě) je elektřina využita k ušetření spotřeby energie domácností. Energetická komunita nemá za cíl generovat zisk, pouze ušetřit. S ušetřením nákladů na elektřinu je sice v modelu počítáno jako s výnosy, ale neplatí se zde daň z příjmu, protože se ve skutečnosti nejedná o výnosy (proto v této variantě nejsou uvažovány ani odpisy).

Odpisy jsou v modelu uvažovány zrychlené (u všech odpisovaných položek, které zrychlené odpisování dovolují), protože v případě tohoto projektu zrychlené odpisování umožňuje dosažení lepší ekonomické efektivity. Pro variantu 6B (využití vyrobené elektřiny v dobíjecí stanici pro elektromobily) je v modelu pro porovnání uvedeno i rovnoměrné odpisování všech položek, které toto umožňují (technologická část FVE musí být odpisována rovnoměrně). Výnosy u všech variant projektu jsou sice rovnoměrně rozloženy do všech let doby životnosti, ale vlivem diskontování peněžních toků je návratnost tvořena zejména v počátečních letech, proto jsou zrychlené odpisy výhodnější.

V modelu je zaveden zjednodušující předpoklad a je uvažováno, že vždy 80 % investice do FVE představuje technologická část (moduly, střídač apod.), která je zařazena do odpisové skupiny 3 (s dobou odpisování 10 let vždy rovnoměrně). Další 20 % připadá na stavební část FVE (nosná konstrukce), která patří do odpisové skupiny 5 (doba odpisování 30 let). Dobíjecí stanice pro elektromobily spadá do skupiny 3 (10 let) a bateriové úložiště do skupiny 2 (5 let). ^[162]

Daňový základ je díky výši odpisů v některých letech záporný, čímž vzniká daňová ztráta. Takto vzniklá daňová ztráta by pro další zvýšení ekonomické efektivity (daňovou optimalizací) mohla být uplatněna do pěti let od jejího vzniku.

Odečtením daně od EBT vzniká čistý zisk (EAT – earnings after taxes), který ale není vhodný pro stanovení ekonomické efektivity, protože není očištěný od nepeněžních odpisů.

6.2.3.1 Čistá současná hodnota

Peněžní toky (CF – cash flow) v jednotlivých letech se stanoví odečtením daní od EBITDA. Z CF jsou následně pomocí diskontní míry z předchozích podkapitol stanoveny diskontované peněžní toky (DCF – discounted cash flow).

Prvním výstupem celého modelu je čistá současná hodnota jednotlivých variant projektu (NPV – net present value), která se rovná kumulovanému diskontovanému peněžnímu toku (CDCF – cumulative discounted cash flow) za celou dobu životnosti projektu podle následujícího vztahu.

$$NPV_{T_z} = \sum_{t=0}^{T_z} CF_t (1+r)^{-t} \quad (6-4)$$

, kde NPV_{T_z} je čistá současná hodnota za dobu životnosti projektu T_z ,
 CF_t je peněžní tok v roce t ,
 r je diskontní míra.

Dále bude pro vybrané varianty projektu stanovena minimální cena energie (ušetřené nebo prodávané podle dané varianty projektu), která zaručuje očekávaný výnos vloženého kapitálu podle diskontní míry. Pokud např. investor do úsporného opatření platí za energii nižší cenu než podle následujícího vztahu, nedává investice do úsporného opatření z ekonomického hlediska smysl.

$$NPV_{T_z} = \sum_{t=0}^{T_z} CF_t^{cmin} (1+r)^{-t} = 0 \quad (6-5)$$

6.2.3.2 Vnitřní výnosová míra

Dalším kritériem je vnitřní výnosová míra (IRR – internal rate of return), která bude porovnávána s diskontní mírou. Umožňuje lepší srovnání projektů různého rozsahu. Jedná se však o kritérium relativní a matematicky nejednoznačné. Může také nastat situace, že jeho hodnotu není vůbec možné určit. IRR projektu je rovno takové diskontní míře, při které je čistá současná hodnota projektu rovna nule podle následujícího vztahu.

$$NPV_{T_z} = \sum_{t=0}^{T_z} CF_t (1+IRR)^{-t} = \sum_{t=1}^{T_z} CF_t (1+IRR)^{-t} - IN = 0 \quad (6-6)$$

, kde IRR je vnitřní výnosová míra projektu,
 IN jsou investiční výdaje projektu,
 NPV_{T_z} je čistá současná hodnota za dobu životnosti projektu T_z ,
 CF_t je peněžní tok v roce t ,
 r je diskontní míra.

6.2.3.3 Doba návratnosti

Prostá doba návratnosti (doba splacení investice) je nejznámějším kritériem hodnocení ekonomické efektivity. Dále bude v ekonomickém modelu určována i diskontovaná doba návratnosti, která stejně jako NPV respektuje časovou hodnotu peněz. Vypočítá se jako počet let od začátku doby hodnocení z podmínky nulového NPV podle následujícího vztahu.

$$NPV_{T_{sd}} = \sum_{t=0}^{T_{sd}} CF_t (1+r)^{-t} = \sum_{t=1}^{T_{sd}} CF_t (1+r)^{-t} - IN = 0 \quad (6-7)$$

, kde T_{sd} je diskontovaná doba návratnosti projektu,
 IN jsou investiční výdaje projektu,
 NPV_{T_z} je čistá současná hodnota za diskontované doby návratnosti projektu T_{sd} ,
 CF_t je peněžní tok v roce t ,
 r je diskontní míra.

Pro výpočet prosté i diskontované doby návratnosti pro všechny varianty projektu byl v ekonomickém modelu v příloze v MS Excel naprogramován vlastní algoritmus s pohyblivou sumou a automatickým zobrazením roku a příslušného kvartálu daného roku dosažení doby návratnosti. Zavedeným předpokladem v modelu pro výpočet dob návratnosti je rovnoměrné rozložení peněžního toku v daném roce (z důvodu pouze ročního rozlišení výsledných peněžních toků v modelu ekonomické efektivity). Ve skutečnosti však lze předpokládat, že výnosy budou více kumulovány v letních měsících, kdy je vyráběno více energie z FVE. Tím tedy může být zavedena mírná deformace (zkrácení) doby návratnosti některých variant oproti realitě (maximálně o jeden kvartál daného roku).

6.2.4 Varianty využití vyrobené elektřiny z fotovoltaické protihlukové stěny

Následující podkapitoly vysvětlují vstupy a předpoklady jednotlivých variant využití energie. Všechny varianty jsou uvažovány jako on-grid (resp. hybridní) instalace.

6.2.4.1 Varianta využití energie č. 1 – prodej elektřiny na vnitrodenním trhu

V této variantě je uvažována simulace výroby a využití energie v průběhu roku s hodinovým rozlišením.

Nebude zde uvažována akumulace energie, i když by i v této variantě využití energie teoreticky mohlo úložiště vylepšit rentabilitu, protože v době vhodných podmínek (jasná denní obloha) pro výrobu energie z FVE způsobí merit order effect (již diskutovaný v kapitole 1.3.5.2) snížení ceny elektřiny na vnitrodenním trhu s elektřinou. Proto je většinou výhodnější prodávání energie v jakékoli jiné hodiny (ovšem s nutností akumulace).

Cena elektřiny by mohla být predikována podle cen futures¹¹ (termínovaných kontraktů) z Evropské energetické burzy (EEX – European Energy Exchange) na rok 2024 (začátek provozu FVPHS), které jsou ale v současné situaci na trhu velmi vysoké. Alternativně by mohl být uvažován tzv. dlouhodobá smlouva o dodávce obnovitelné energie za pevnou či indexovanou cenu (PPA – power purchase agreement), které jsou stále častěji využívány pro obchod s elektřinou z OZE. Cena je obvykle srovnatelná s cenou na trhu, protože v opačném případě by jedna ze smluvních stran raději využila obchodování přímo na trhu. S garancí původu elektřiny s OZE (zelený certifikát) je pak ale možné dosáhnout vyšší prodejní ceny elektřiny.

S přihlédnutím k současné energetické krizi lze předpokládat, že nejspíše cena elektřiny opět klesne alespoň k hodnotám na úrovni roku 2021. Cena tedy v modelu bude predikována podle cen vnitrodenního (spotového) trhu podle dat OTE z roku 2021. ^[138] Samozřejmě je provedena korekce v hodinách, kdy byla cena elektřiny záporná, kterých není zanedbatelné množství. V takových hodinách není uvažován prodej (cena je upravena na nulovou).

6.2.4.2 Varianta využití energie č. 2 – energetická komunita

Ve 2. variantě využití elektřiny je uvažován v obci Svojkovice vznik energetické komunity (EK), jejíž problematice se již teoreticky věnovala podkapitola 1.4.1.

V obci Svojkovice žilo podle veřejně dostupných dat Českého statistického úřadu (ČSÚ) 443 obyvatel k datu 31. 12. 2021. ^[139] Při uvažování průměrně 4 obyvatel v jedné domácnosti v obci Svojkovice lze tedy uvažovat 110 odběrných míst (OM) v rodinných domech, které se nacházejí v blízkosti FVPHS a mohou využívat vyrobenou elektřinu. Je však nutné zdůraznit, že se jedná o nejvíce náročnou variantu využití energie z hlediska předpokladů pro realizaci, mezi které patří zejména předpoklad existence vyhovující distribuční sítě v obci pro tok energie z FVPHS, budoucí

¹¹ Futures kontrakt je dohoda dvou stran, že kupující strana ke konkrétnímu datu v budoucnu nakoupí předem smlouvené množství zboží od prodávající strany, přičemž cena se stanoví v okamžiku uzavření dohody.

(již schválená) úprava legislativy umožňující samotnou existenci EK, spolupráce obyvatel na vytvoření EK a kooperace distributora elektrické energie (v této lokalitě ČEZ Distribuce, a.s.) především na umožnění paralelního připojení výroby k distribuční soustavě a její využívání pro tok energie v rámci EK (viz již zmíněná Pravidla provozování distribuční soustavy^[76] a Připojovací podmínky nn^[77] ČEZ Distribuce).

Modelování spotřeby energie je opět provedeno po jednotlivých hodinách v roce (8760 údajů) pomocí dat TDD (podle popisu v kapitole 6.2.1 Typové diagramy dodávky) za rok 2021, protože pro celý tento rok jsou již v době tvorby diplomové práce dostupná kompletní data přepočtených TDD z webu Operátora trhu s elektřinou (OTE).^[137] V rámci celkem 110 domácností EK je uvažován počet 25 OM s distribuční sazbou elektřiny D01d (třída TDD4), 60 OM s distribuční sazbou D02d (třída TDD5) a 25 OM s distribuční sazbou D25d (třída TDD4). Dochází zde tedy k aproximaci časového rozložení spotřeby odběrných míst pomocí TDD, které se nevyhnutelně liší od skutečné spotřeby (to představuje další předpoklad a omezení ekonomického modelu). Vzhledem k tomu, že průběhy TDD jsou vytvořeny na základě měření u velkého množství odběratelů, jedná se pouze o přibližné modelování a přiblížení skutečné průměrné hodinové spotřebě, které nebude přesně odpovídat každé domácnosti. V tomto případě se však jedná o tak vysoký počet OM, že již použití metody TDD z hlediska statistiky lze považovat za spolehlivé a časové rozložení souhrnné spotřeby OM se bude skutečně alespoň blížit hodnotám TDD. Typové diagramy dodávky jsou však šikovným nástrojem, který nabízí náhradní postup pro stanovení velikosti hodinového odběru skupiny oprávněných zákazníků s měřením typu C. To znamená, že nahrazují průběhové měření u této skupiny zákazníků. Alternativu by představovalo měření spotřeby v každém OM a odesílání dat každou hodinu pomocí pokročilého systému tzv. inteligentních elektroměrů – Advanced Metering Management (AMM), jehož nasazení je ovšem spojeno s výraznými náklady. Do budoucna lze očekávat, že bude využití TDD postupně nahrazováno těmito pokročilými systémy měření.

Mimo domácností by se v těsné blízkosti projektu FVPHS Svojkovice mohlo nabízet v rámci energetické komunity také možnost využití elektřiny v mobiliáři parkoviště a areálu Střediska správy a údržby dálnice (SSÚD) ŘSD a Dálničního oddělení Policie České republiky (PČR), jak lze vidět v pravé horní části satelitního snímku na obr. 44. V příloze v MS Excel je pomocí příslušné třídy TDD modelována i spotřeba veřejného osvětlení v obci Svojkovice a v areálu SSÚD a PČR. Výhodou je, že oproti domácnostem lze spotřebu predikovat přesně pomocí TDD. V této variantě ekonomického modelu však bude počítáno pouze s využitím energie v popsanych domácnostech. Hlavní nevýhodou navíc je, že spotřeba veřejného osvětlení se nebude nikdy vhodně překrývat s výrobou z FVE ve stejné lokalitě, což by vynucovalo vysoké náklady na akumulaci energie. Proto by se takový projekt nejspíš ani neprojevil jako rentabilní.

Další problém této varianty představuje metoda rozúčtování ekonomického užítku z vyrobené energie v rámci EK. V modelu je uvažována tzv. statická metoda rozúčtování použitá pro stanovení celkového NPV projektu, která ale neřeší, jak se spravedlivě rozdělí užitek z FVE mezi jednotlivá OM v případě, že by se obyvatelé podíleli na investici do FVPHS. Řešením by byla tzv. dynamická metoda rozúčtování např. s iteračním algoritmem. Její návrh však již nebyl předmětem této diplomové práce.

Bateriové úložiště může zvyšovat rentabilitu zejména pro FVE např. na rodinném domě bez integrace do energetické komunity. V případě EK je však skutečná spotřeba (nehledě na TDD) jednotlivých odběrných míst v čase natolik odlišná, že se do určité míry špičky a poklesy ve spotřebě vykompenzují ve srovnání s jedinou domácností v jednom rodinném domě. Akumulace energie proto (a vzhledem ke stále velmi vysokým nákladům) do tohoto projektu není zahrnuta. Investice do akumulace je dále předpokládána jako nerentabilní, protože 93 % (resp. 92 % v další variantě konstrukce) vyrobené energie z FVPHS je podle vytvořeného modelu využito v rámci energetické komunity (při uvažování spotřeby podle TDD). Pouze jednotky procent vyrobené elektřiny jsou tedy prodávány jako přebytky. Důvodem je celkem nízký instalovaný výkon FVE

v poměru k souhrnné spotřebě OM v EK (jak je patrné i z Obr. 49 až Obr. 52 v kapitole 6.1.1 Model výroby elektrické energie). To vychází z omezení délky využitelné protihlukové stěny ve zvolené lokalitě. Scénáře s teoretickým optimálním instalovaným výkonem FVE bez ohledu na omezení délky stěny budou určeny podkapitole 6.2.7 (Výsledky modelu ekonomické efektivity).

Nákupní cena ušetřené elektřiny použitá v modelu je uvedena v následující tabulce a odpovídá aktuálnímu ceníku ČEZ Prodej, a.s. podle příslušných distribučních sazeb ^[141] a s respektováním pásem platnosti vysokého tarifu (VT) a nízkého tarifu (NT). ^[143] Ceny dále respektují cenový strop podle nařízení vlády. Prodejní cena přebytků elektřiny byla stanovena podle výkupního ceníku společnosti Nano Energies a.s. ^[142]

Nákupní cena elektřiny (sazba D01d) [CZK/kWh]	8,47
Nákupní cena elektřiny (sazba D02d) [CZK /kWh]	8,17
Nákupní cena elektřiny (sazba D25d – VT) [CZK /kWh]	8,36
Nákupní cena elektřiny (sazba D25d – NT) [CZK /kWh]	6,44
Prodejní cena přebytků elektřiny [CZK /kWh]	1,5

Tab. 6 Nákupní a prodejní cena elektřiny pro variantu 2 v příslušných distribučních sazbách podle platného ceníku ČEZ Prodej, a.s. ^[141] a Nano Energies, a.s. ^[142]

6.2.4.3 Varianta využití energie č. 3 - dobíjecí stanice pro elektromobily (s bateriovým úložištěm)

Podle „Analýzy potenciálu, scénářů a návrh využití decentralizovaných obnovitelných zdrojů pro rozšíření sítě nabíjecích a plnicích stanic“ zpracované Komorou OZE s podporou Technologické agentury ČR je třeba hledat cesty, jak ve vazbě na rychlodobíječky vzhledem k nemalému potenciálu „podpořit instalaci FVE na čerpací stanice pohonných hmot, a to včetně baterií“ (kapitola 3.3.1 Čerpací stanice pohonných hmot). ^[163]

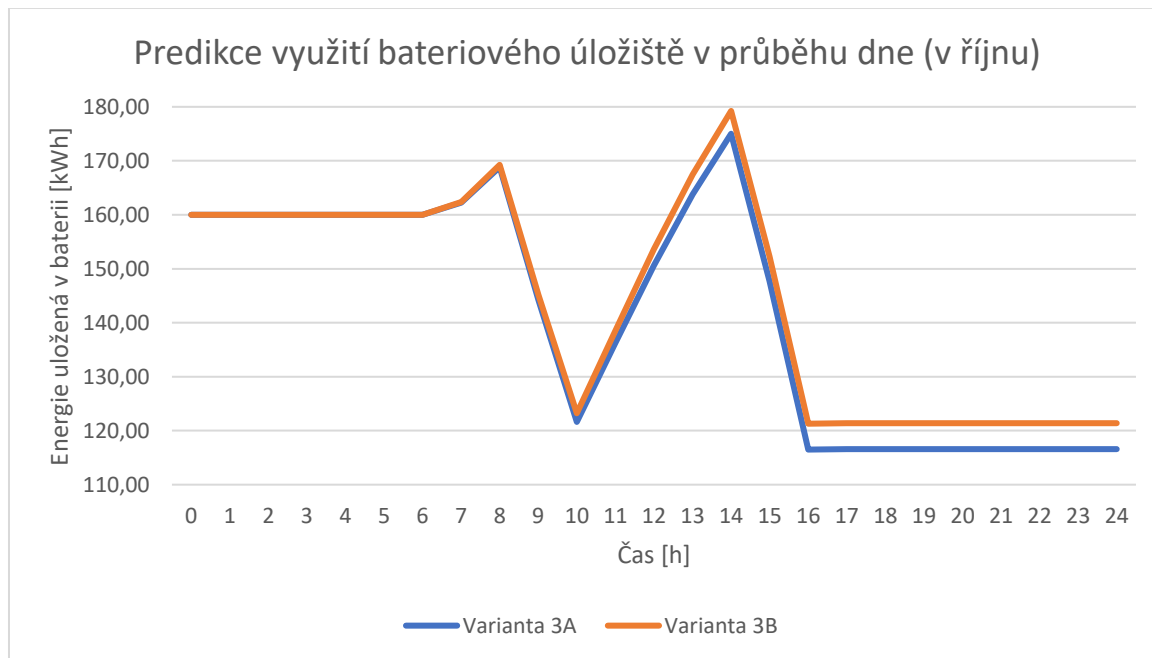
Tato varianta využití energie v návaznosti na právě uvedenou analýzu zahrnuje investici navíc do dobíjecích stanic pro elektromobily DC 50 kW od české společnosti Olife Energy a do bateriového úložiště LiFePO4 200 kWh. Investice po uvažované dotaci opět 50 % z Modernizačního fondu činí včetně elektroinstalace, dopravy, montáže a uvedení do provozu celkem 1 751 422 CZK. ^{[144][146]}

Model je v tomto případě sestaven měsíčně a denní využití baterie pro optimalizaci velikosti úložiště je vyšetřeno modelováním pro každé roční období. S použitím baterií není uvažována možnost sezónní akumulace, proto musí být vyrobená energie využita v daném měsíci a přebytky prodány do sítě opět za cenu jako ve variantě 2. Pokud elektřina vyrobená v daném měsíci nestačí na uspokojení zákazníků, musí být energie naopak dokupována. Nákupní cena je uvažována podle aktuálního ceníku s příslušnou sazbou D27d (pro nabíjení elektromobilů) 8,36 CZK/kWh. ^[141]

Bateriové úložiště je na začátku uvažovaného dne nabitá na 80 %, přijdou 2 zákazníci, z nichž každý během 2 hodin dobije 70 kWh a v tomto dni není dokupována energie ze sítě). Bateriové úložiště je dimenzováno na 200 kWh, aby i v lednu v takovém dni uložená energie vystačila s předpokladem omezení 80 % tzv. hloubky vybití (DoD – depth of discharge) Li-Ion baterií.

Baterie zároveň obvykle představují největší překážku v době životnosti projektu. Výrobci obvykle garantují výdrž baterie zhruba na 6000 (nyní již někdy i více) nabíjecích cyklů. Z hlediska opotřebení baterie je šetrnější, pokud je baterie méně vybitá a DoD je udržována na hodnotě nižší než 80 %. Proto je vhodné maximální uložitelnou energii v bateriích mírně naddimenzovat. Měníče v kombinaci s bateriemi od stejné společnosti často disponují technologií aktivního balancéru bateriových článků (BMS – battery management system), která spočívá ve vyvažování využití bateriových článků. Každý jednotlivý článek lithiové baterie má svou vlastní malou

"nabíječku", která hlídá napětí svého článku a stará se o to, aby napětí na každém jednotlivém článku v průběhu nabíjení nepřekročilo mezní hodnotu a při vybíjení zase nepokleslo pod kritickou hodnotu a nedošlo tak ke zničení článku. Protože i když při výrobě baterie jsou použity články z jedné výrobní série, tyto nikdy nejsou zcela stejné, v průběhu nabíjení jsou některé nabitě dříve a je vhodné nepřetěžovat z výroby slabší články.



Obr. 56. Ukázka predikce využití bateriového úložiště v projektu s dobíjecími stanicemi pro elektromobily v průběhu dne v říjnu [autor]

Uvažovaná účinnost dobíjecí stanice v modelu je 80 %^[147] a tzv. round-trip účinnost (poměr získané elektřiny z FV systému k elektřině dodané při nabíjení) Li-Ion bateriového úložiště činí 85 %.

Cena dobíjení je stanovena podle ceníku E.ON, který účtuje u svých dobíjecích stanic 50 kW s registrací 11,9 CZK/kWh.^[145]

Modelování využití dobíjecí stanice (počtu zákazníků a dobité energie) představuje velmi obtížnou predikci. Např. scénáře rozvoje elektromobility, se kterými počítá Pražská energetika, a.s. (PRE) podle již zmíněného NAP SG počítají v roce 2043 (uvažovaný konec doby životnosti projektu v modelu) s možným počtem elektromobilů v Praze mezi desítkami tisíc (nízký scénář) až stovkami tisíc (vysoký scénář).^[164] S přihlédnutím k probíhající energetické krizi a nárůstu ceny elektřiny (a s tím související stagnace až pokles popularity elektromobility) bude však v modelu uvažováno spíše pesimistické využití dobíjecích stanic (60 zákazníků za měsíc, z nichž každý dobije při jedné návštěvě 70 kWh) po celou dobu životnosti projektu.

6.2.4.4 Varianta využití energie č. 4 - dobíjecí stanice pro elektromobily (s vodíkovým úložištěm)

Další modifikaci varianty s dobíjecími stanicemi představuje doplnění o vodíkové úložiště (namísto bateriového úložiště). Vodíkové úložiště pro přímé nabíjení vodíkových vozidel by nejspíše nabízelo vyšší energetickou účinnost, ale elektromobilita je v současnosti nastavena na konvenčnější technologie (využití LiFePO₄ baterií apod.). Proto jsou vozidla s vodíkovým pohonem zatím rozšířena jen ve velmi malém množství. Ekonomicky se tak nevyplácí přímo

vodíková čerpací stanice, ale pouze ukládání elektrické energie do vodíkového úložiště (tzv. zelený vodík) i přes uvažovanou round-trip účinnost pouhých 60 %. [150]

Investice do dobíjecích stanic s vodíkovým úložištěm 68 m³ (61,68 kg) uvažovaná v modelu opět po dotaci činí včetně elektroinstalace, dopravy, montáže a uvedení do provozu v přepočtu 1 855 952 CZK. [148]

6.2.4.5 Varianta využití energie č. 5 - dobíjecí stanice pro elektromobily (s vodíkovým úložištěm a s využitím odpadního tepla elektrolyzáru)

Ve variantě 5 je uvažováno vodíkové úložiště stejně jako v předchozí variantě ale navíc s využitím odpadního tepla PEM (proton exchange membrane – protonově vodivá polymerní membrána) elektrolyzáru, čímž dojde alespoň do nějaké míry k vyrovnání vysokých ztrát způsobených nízkou účinností vodíkového úložiště. Tzv. mikrokogenerací neboli kombinovanou výrobou elektřiny a tepla (KVET) lze zvýšit účinnost ukládání energie do zeleného vodíku podle švédské studie [151] v ideálním případě až na 94,7 %.

V modelu se počítá s energetickou hustotou vodíku v úložišti 10 MJ/kg. [149] Úložiště má tedy kapacitu 171,17 kWh s PEM elektrolyzárem o výkonu 0,3 MW. Využitelné odpadní teplo z elektrolyzáru za rok tedy činí 21,9 GJ.

Samozřejmě musí být v modelu zvážena i cena vyvedení tepla a napojení na soustavu zásobování tepelnou energií (SZTE) okresu Rokycany. Držitelé licence na výrobu nebo na rozvod tepelné energie v této SZTE jsou ČEZ Energo, s.r.o. a Energie AG Teplo Rokycany s.r.o. [152] Regulovaná cena tepla v této lokalitě podle dat ERÚ činí 811,80 CZK/GJ [153] a uvažované ztráty tepla při rozvodech jsou 8,5 %.

6.2.4.6 Varianta využití energie č. 6 - dobíjecí stanice pro elektromobily (s virtuálními bateriemi)

Poslední varianta počítá s využitím tzv. virtuální baterie (produkt Elektřina pro soláry od ČEZ Prodej, a.s.), což je služba, kterou nabízí dodavatelé elektřiny. Umožňuje ušetření obchodní části ceny elektřiny (cena silové elektřiny) za odebranou elektřinu ze sítě v objemu dříve odeslaných přebytků do sítě. Výhodou tedy je, že tato varianta nabízí oproti všem předchozím variantám i sezónní „akumulaci“.

Otázkou však samozřejmě je, zda a za jakých podmínek bude možné virtuální baterii nasmlouvat s dodavatelem elektřiny u FVE o takovém instalovaném výkonu, jaký je uvažován v tomto projektu. To souvisí se systémovými vlivy intermitentních zdrojů energie (jak již bylo diskutováno v 1. kapitole) a prozatím nutností existence flexibilních (většinou fosilních) zdrojů v pohotovosti paralelně s OZE.

Uvažovaná obchodní (a tedy ušetřená pomocí virtuální baterie) část ceny elektřiny v modelu je podle ceníku ČEZ Prodej 6,05 CZK/kWh. [165]

Pro přehlednost byla vytvořena následující tabulka, která obsahuje všechny popsány varianty využití elektřiny vyrobené z FVPHS. Každá z variant uvedených v tabulce navíc existuje ve verzích A a B podle použité nosné konstrukce FVPHS.

Varianta 1	Prodej vyrobené elektřiny z FVPHS na vnitrodenním trhu
Varianta 2	Využití vyrobené elektřiny z FVPHS v rámci energetické komunity v obci Svojkovice (bez akumulace)
Varianta 3	Využití vyrobené elektřiny z FVPHS v dobíjecích stanicích pro elektromobily v areálu SSÚD ŘSD a Dálničního oddělení PČR v obci Svojkovice (s bateriovým úložištěm)
Varianta 4	Využití vyrobené elektřiny z FVPHS v dobíjecích stanicích pro elektromobily v areálu SSÚD ŘSD a Dálničního oddělení PČR v obci Svojkovice (s vodíkovým úložištěm)
Varianta 5	Využití vyrobené elektřiny z FVPHS v dobíjecích stanicích pro elektromobily v areálu SSÚD ŘSD a Dálničního oddělení PČR v obci Svojkovice (s vodíkovým úložištěm a s využitím odpadního tepla elektrolyzéry)
Varianta 6	Využití vyrobené elektřiny z FVPHS v dobíjecích stanicích pro elektromobily v areálu SSÚD ŘSD a Dálničního oddělení PČR v obci Svojkovice (s virtuální baterií – produkt Elektřina pro soláry od ČEZ Prodej, a.s.)

Tab. 7 Shrnutí všech zkoumaných variant využití energie pro snazší orientaci

6.2.5 Stanovení doby životnosti projektu

Doba životnosti (T_z) projektu pro všechny varianty byla zvolena na 20 let, protože po této době provozu lze očekávat, že v případě pokračování provozu budou muset nastat významné investice do servisování nebo obměny komponent a nebylo by tak možné spolehlivě sledovat další vývoj hotovostních toků s přijatelnou přesností. V modelu se neuvažují události po skončení životnosti projektu. Předpokládá se, že náklady na případnou demolici budou srovnatelné s příjmy z prodeje zbylých komponent (např. samotné FV moduly by měly mít dobu životnosti alespoň 25 let) a materiálu, proto se do celkové hodnoty náklady na demolici ani příjmy po skončení doby životnosti nezapočítávají.

V modelu je uvažována montáž FVPHS během roku 2023 a začátek provozu v roce 2024.

6.2.6 Další předpoklady modelu

Reinvestice do vodíkového úložiště je v modelu uvažována po 10 letech provozu. ^[154] Stejně tak střídač a v příslušné variantě i bateriové úložiště budou nahrazeny novými jednotkami po 10 letech.

Degradace výkonu FV modulů je počítána podle dat od výrobce 0,6 % za rok. To by činilo za 25 let pokles výkonu o 16,13 %, zatímco výrobce garantuje pokles výkonu za 25 let max. o 17 %. ^{[111][113]} Za zvolenou dobu životnosti projektu (20 let) pak činí pokles výkonu 12,71 %.

Významnou výhodou FVE (i OZE obecně) je, že vyžaduje jen velmi nízké náklady na údržbu a prakticky nulové variabilní náklady. Jedná se zejména o nulové palivové náklady apod., ale i velmi nízké personální náklady. V modelu je pro všechny varianty zjednodušeně uvažována pravidelná údržba v ceně 10 000 CZK ročně, která může zahrnovat čištění modulů, nastavení parametrů měniče, pravidelné revizní kontroly v intervalu 4 roky apod.

6.2.7 Výsledky modelu ekonomické efektivity

Výsledky ukazatelů ekonomické efektivity (stanovené podle podkapitoly 6.2.3 Kritéria hodnocení ekonomické efektivity) pro všechny zkoumané varianty projektu FVPHS jsou uvedeny v následující tabulce.

	NPV [CZK]	IRR [%]	Doba návratnosti prostá [rok a kvartál]	Doba návratnosti diskontovaná [rok a kvartál]
Varianta 1A	-2 298 040 CZK	-3,67 %	Více než 20 let	Více než 20 let
Varianta 1B	-2 332 067 CZK	-3,45 %	Více než 20 let	Více než 20 let
Varianta 2A	996 325 CZK	12,10 %	7 Q3	12 Q4
Varianta 2B	1 070 558 CZK	12,25 %	7 Q2	12 Q3
Varianta 3A	-1 519 523 CZK	3,81 %	14 Q4	Více než 20 let
Varianta 3B	-1 583 835 CZK	3,48 %	15 Q2	Více než 20 let
Varianta 4A	-2 659 137 CZK	-0,11 %	Více než 20 let	Více než 20 let
Varianta 4B	-2 617 750 CZK	0,24 %	19 Q3	Více než 20 let
Varianta 5A	-2 596 863 CZK	0,26 %	19 Q3	Více než 20 let
Varianta 5B	-2 587 569 CZK	0,44 %	19 Q2	Více než 20 let
Varianta 6A	310 494 CZK	9,39 %	8 Q1	17 Q3
Varianta 6B	260 219 CZK	9,22 %	8 Q1	17 Q4

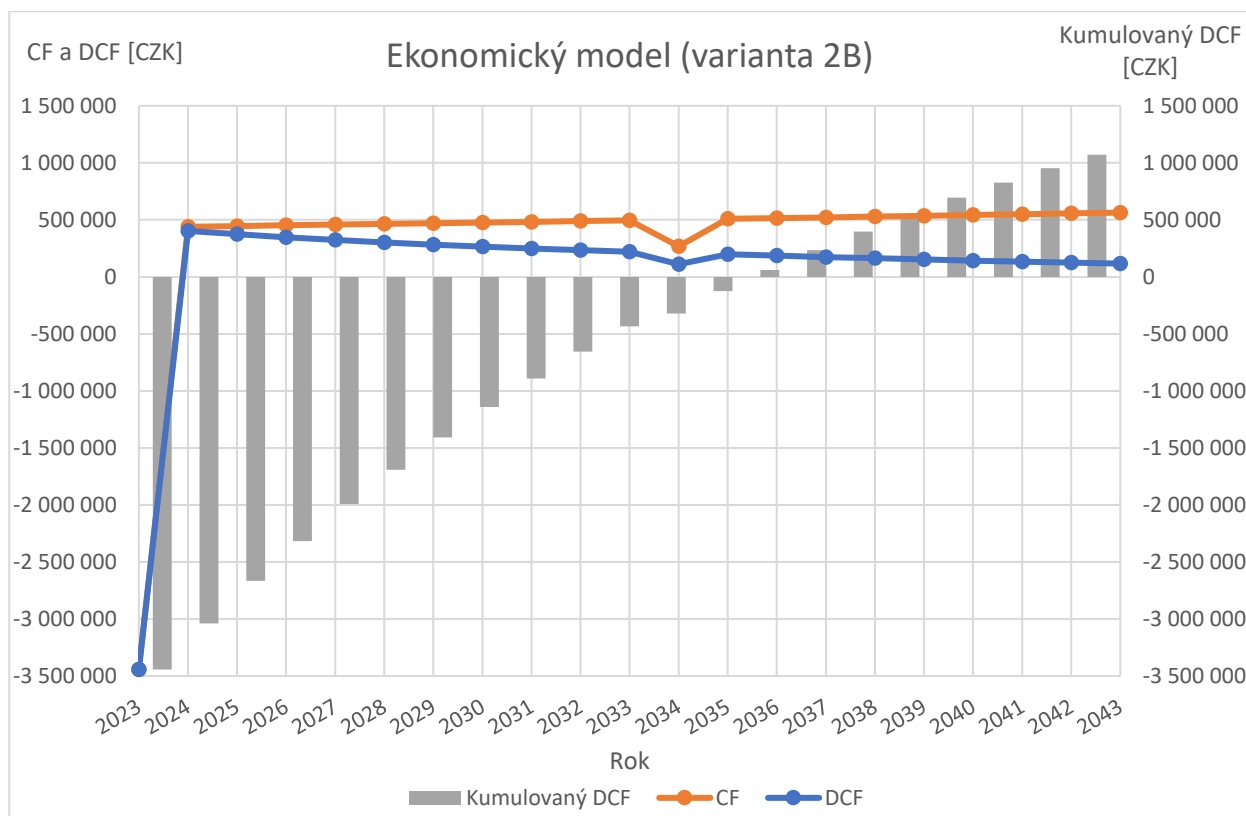
Tab. 8 Výsledky modelu ekonomické efektivity pro jednotlivé varianty [autor]

Jak je z tabulky patrné, varianta 2 (využití vyrobené elektřiny z FVPHS v rámci energetické komunity) vychází podle všech ukazatelů ekonomické efektivity nejlépe. NPV je kladné a nejvyšší, IRR je vyšší než diskont (9,43 %) a rovněž nejvyšší ze všech variant, prostá i diskontovaná doba návratnosti vycházejí nejkratší. Ekonomická rentabilita zde vychází vysoká i proto, že orientace směřování FV modulů činí -41° (silně na jihovýchod), což způsobuje posílení výroby energie v ranní špičce spotřeby EK. Pokud by byly uvažovány ceny podle nezastropovaných ceníků, vycházela by rentabilita ještě lepší.

Varianty č. 3, č. 4 a č. 5 (s využitím vyrobené elektřiny v dobíjecí stanici pro elektromobily) nejsou rentabilní v žádné zkoumané konfiguraci. S dobíjecí stanicí má pouze varianta 6 (s virtuální baterií) kladné NPV a diskontovanou dobu návratnosti kratší než doba životnosti projektu. Je to hlavně díky možnosti odebrání energie bez platby za obchodní část silové elektřiny v rámci virtuální baterie, což umožňuje vysokou marži na následném prodeji energie v dobíjecí stanici. Varianty s vodíkovým úložištěm (č. 4, č. 5) vychází nejhůře zejména kvůli nízké round-trip účinnosti cyklu oproti bateriovému úložišti (č. 3). Varianta 5 s využitím odpadního tepla elektrolyzéry má mírně vyšší (ale stále záporné) NPV než varianta 4 bez vyvedení odpadního tepla. Varianta 1 (prodej elektřiny na vnitrodenním trhu) je rovněž nerentabilní i přes poměrně vysoké uvažované prodejní ceny.

Z hlediska konfigurace samotné FVPHS varianta 2B vychází mírně lépe než varianta 2A. Je zde sice dražší nosná konstrukce, která ale umožňuje vyšší výkon a použití levnějších FV modulů (o standardních rozměrech). Naopak varianta 6B vychází méně rentabilní než varianta 6A, protože vyšší instalovaný výkon zde nemá takový přínos.

Ze všech zkoumaných variant tedy lze nejvíce variantu 2B doporučit k realizaci. Je však nutné zdůraznit, že rentabilita této varianty byla počítána jako souhrnný ekonomický užitek všech domácností (OM) v EK. Oproti tomu rentabilitu ostatních variant lze chápat jako ekonomický užitek jedné společnosti (případně státní organizace), která provede projekt v dané variantě.



Obr. 57 Graf peněžních toků, diskontovaných peněžních toků a kumulovaných diskontovaných peněžních toků v jednotlivých letech doby životnosti varianty projektu 2B (využití vyrobené elektřiny z FVPHS v rámci energetické komunity) [autor]

Výsledkem tedy je, že doba návratnosti většiny zkoumaných variant je příliš dlouhá a pouze ve variantách s využitím elektřiny v energetické komunitě nebo v dobíjecí stanici pro elektromobily s virtuální baterií lze dosáhnout uspokojivé rentability. Je však třeba zdůraznit, že bez uvažované dotační podpory by žádná ze zkoumaných variant nevyšla jako rentabilní. CAPEX fotovoltaických protihlukových stěn jsou výrazně vyšší než u běžných FVE, jak již bylo diskutováno v předchozích podkapitolách. To potvrzuje i manažerské shrnutí Ministerstva dopravy s názvem „Kritická analýza nových materiálů a nových tvarů vhodných pro protihlukové stěny a návrhy na jejich použití v železniční a silniční dopravě“, [166] podle kterého fotovoltaické stěny sice produkují elektrickou energii, ale jejich návratnost je dosažena až ke konci životnosti jednotlivých komponent, a to bez započítání servisních prohlídek. Mimo ekonomické rentability by však motivací mohly být i již diskutované cíle klimatické politiky, jak např. podíl OZE v energetickém mixu nebo ušetřené emise vytlačením spotřeby z vysokoemisních zdrojů.

Nakonec by nejlepším řešením mohla být kombinace zkoumaných variant (možnost využití vyrobené elektřiny více způsoby v rámci dané instalace), což by s sebou ale neslo významné organizační výzvy spojením již diskutovaných předpokladů fungování jednotlivých (už tak organizačně náročných) variant. Jedná se však o jednu z možností pro budoucí zkoumání.

6.2.7.1 Vyšetření a optimalizace parametrů modelu pomocí doplňku Solver

Vybrané parametry modelu ekonomické efektivity byly v příloze v MS Excel vyšetřeny pomocí doplňku Solver (Řešitel) gradientní metodou a uloženy jako scénáře.¹²

Vyšetření optimálního instalovaného špičkového výkonu pro maximalizaci výsledného NPV dané varianty bylo provedeno pro variantu 2B a 6B. Tyto scénáře se nachází na listu s názvem „Instalovaný výkon systému FVPHS“. Optimální instalovaný výkon varianty 2B činí 84,18 kWp s počtem FV modulů 183 a výsledným NPV této varianty 1 346 719 CZK. Optimální výkon je tedy vyšší, než umožňuje protihluková stěna ve vybrané lokalitě, protože v modelu byl již uvažován maximální možný instalovaný výkon. To je způsobeno velikostí souhrnné spotřeby energetické komunity.

Optimální instalovaný výkon varianty 6B činí 55,03 kWp s počtem FV modulů 120 a výsledným NPV této varianty 360 807 CZK. Optimální výkon je tedy nižší, než jaký byl uvažován modelem z důvodu již diskutované poměrně pesimistické predikce využití dobíjecích stanic zákazníky.

Dále byly vyšetřeny scénáře pro nulové NPV těchto variant neboli stanovení minimální ceny energie pro dosažení rentability (podle vztahu č. 6-5 v podkapitole 6.2.3.1 Čistá současná hodnota). Pro dosažení nulového NPV varianty 2B vycházejí nákupní ceny elektřiny 7,85 CZK/kWh pro distribuční sazbu D01d; 5,80 pro distribuční sazbu D02d; 6,57 pro distribuční sazbu D25d ve vysokém tarifu a 6,38 pro distribuční sazbu D25d v nízkém tarifu. Jedná se o ceny, které lze reálně očekávat i nadále v roce 2023, proto tento výsledek nepoukazuje na ohrožení rentability této varianty projektu. Tento scénář se nachází na listu s názvem „Model využití energie (var. 2)“.

Pro dosažení nulového NPV varianty 2B vychází cena dobíjení elektromobilu 11,29 CZK/kWh pro DC 50 kW dobíjecí stanici. Jedná se pouze o několik desítek haléřů nižší cenu, než jaká byl v modelu uvažována, což odpovídá poměrně nízké dosažené hodnotě NPV v modelu. Proto by mohl pokles ceny dobíjení reálně ohrozit rentabilitu této varianty projektu. Zvláště s přihlédnutím k již diskutované stagnaci (až poklesu) popularity elektromobility v současné energetické krizi. Tento scénář se nachází na listu s názvem „Model využití energie (var. 6)“.

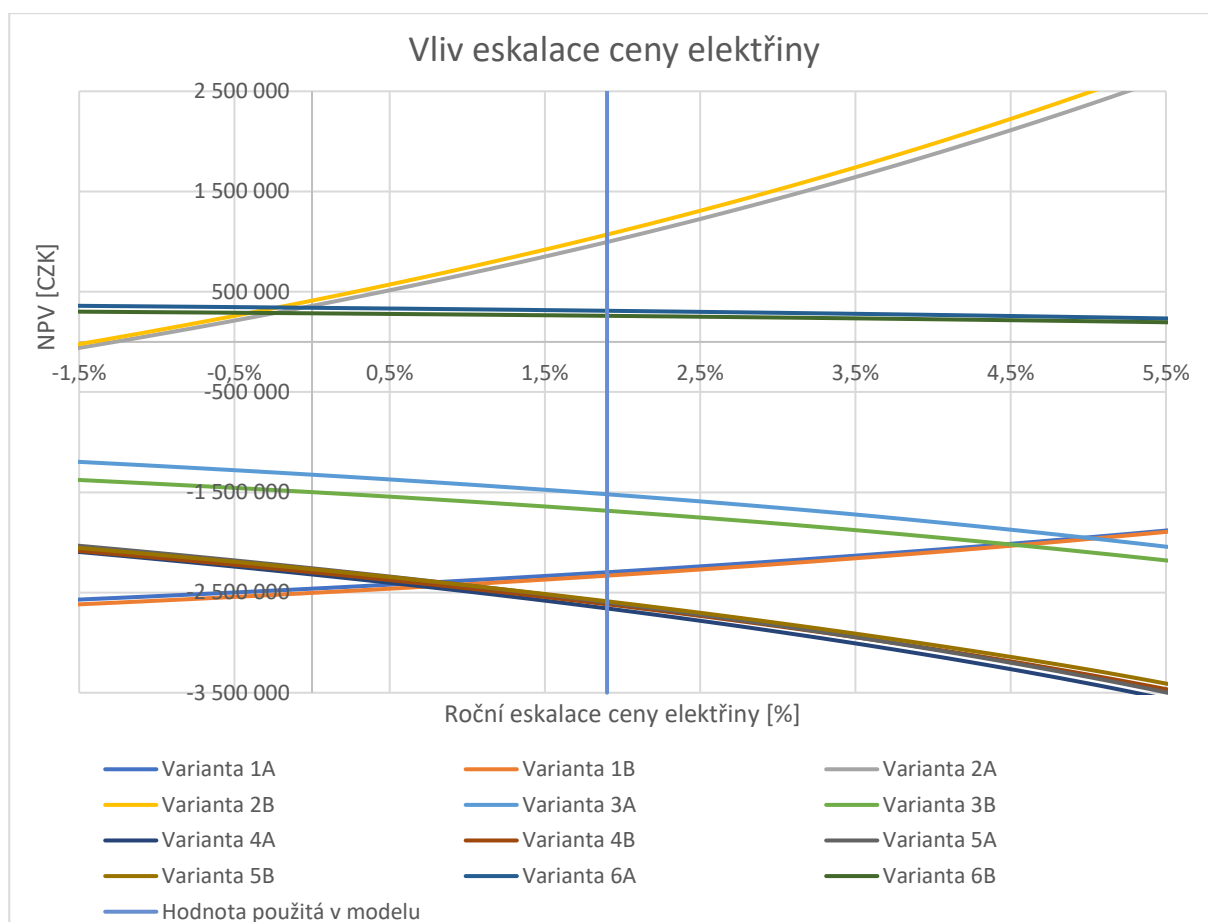
Stanovené minimální ceny energie lze také pro příslušné varianty projektu chápat jako dlouhodobé měrné náklady na výrobu energie (LCOE – levelized cost of energy), které již byly diskutovány v první teoretické kapitole.

6.2.7.2 Citlivostní analýza

Tato podkapitola obsahuje okomentovanou citlivostní analýzu, pomocí které byla prozkoumána závislost změny ekonomické efektivity (výsledného NPV) variant projektu na změně vybraných vstupních parametrů ekonomického modelu. Vzhledem k nejistotě predikce řady položek, které vstupují do výpočtu, může i malá změna způsobovat výraznou změnu NPV a případně obrátit rozhodnutí o realizaci projektu. Byly identifikovány nejdůležitější parametry, pro které jsou v následujících grafech zobrazeny jednodimenzionální citlivostní analýzy vždy pro několik zkoumaných variant zároveň.

Prvním parametrem zvoleným pro citlivostní analýzu je eskalace ceny elektřiny (nákupní ceny elektřiny nebo velkoobchodní ceny elektřiny podle příslušné varianty) zobrazená pro všechny zkoumané varianty. V modelu se uvažuje hodnota tohoto vstupu 1,9 %, což je v grafech také vždy zobrazeno svislou čarou.

¹² Zobrazení scénáře v příloze v MS Excel je dostupné vždy na listu s příslušným zkoumaným parametrem pod volbou Data – Prognóza – Citlivostní analýza – Správce scénářů.



Obr. 58. Graf citlivostní analýzy vlivu eskalace ceny elektřiny (ceny pro konečné spotřebitele i velkoobchodní ceny) na NPV všech variant projektu [autor]

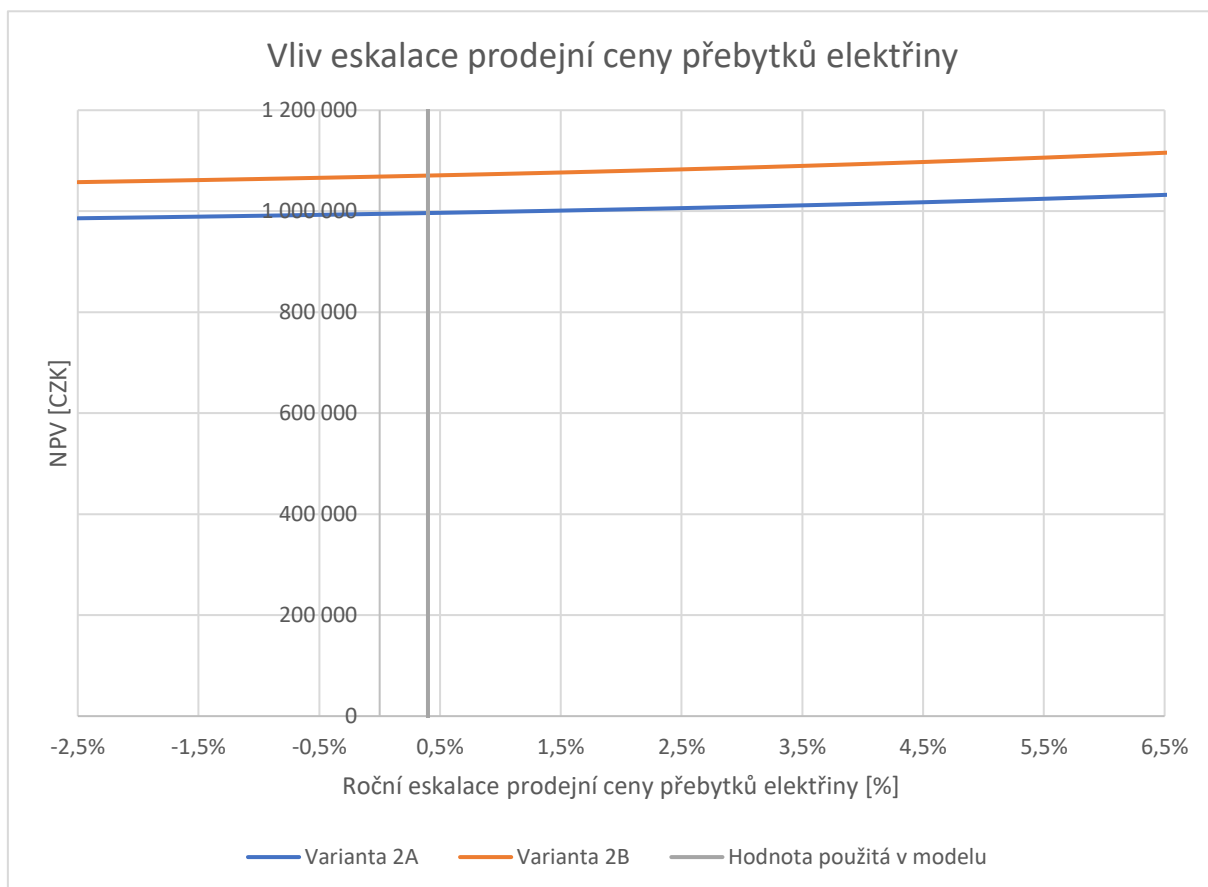
Jak je z uvedeného obr. patrné, pro varianty 2A a 2B (využití vyrobené elektřiny v energetické komunitě) by projekt byl vyhodnocen jako nerentabilní až od klesání nákupní ceny elektřiny zhruba o 1 % ročně. Až po překročení této hranice by NPV dosahovalo záporných hodnot. Tato eskalace tedy pro varianty 2A a 2B za daných ostatních vstupních dat není nutnou podmínkou pro dosažení rentability.

Varianty 6A a 6B jsou jen velmi málo citlivé na změnu eskalace nákupní ceny elektřiny, protože využitím virtuální baterie jsou náklady na nákup energie výrazně sníženy. NPV těchto variant s růstem hodnoty eskalace ceny elektřiny pouze mírně klesá a i při eskalaci přes 5 % zůstává v kladných hodnotách.

Všechny ostatní varianty zůstávají nerentabilní v celém zkoumaném rozsahu (-1,5 % až 5,5 %) eskalace ceny elektřiny. NPV variant 1A a 1B mírně stoupá k nulové hodnotě a NPV variant 3A, 3B, 4A, 4B, 5A a 5B s rostoucí eskalací ještě více klesá.

Lze ovšem očekávat, že eskalace ceny elektřiny může dosahovat i výrazně více, než v modelu uvažovaných 1,9 % vzhledem ke strmému růstu velkoobchodních cen elektrické energie, rostoucím cenám emisních povolenek, uzavírání některých zdrojů energie na fosilní paliva a nutnosti masivních investic do přenosových a distribučních soustav v souvislosti s decentralizací energetiky a výrobou z OZE, jako je např. právě projekt zkoumaný v této diplomové práci.

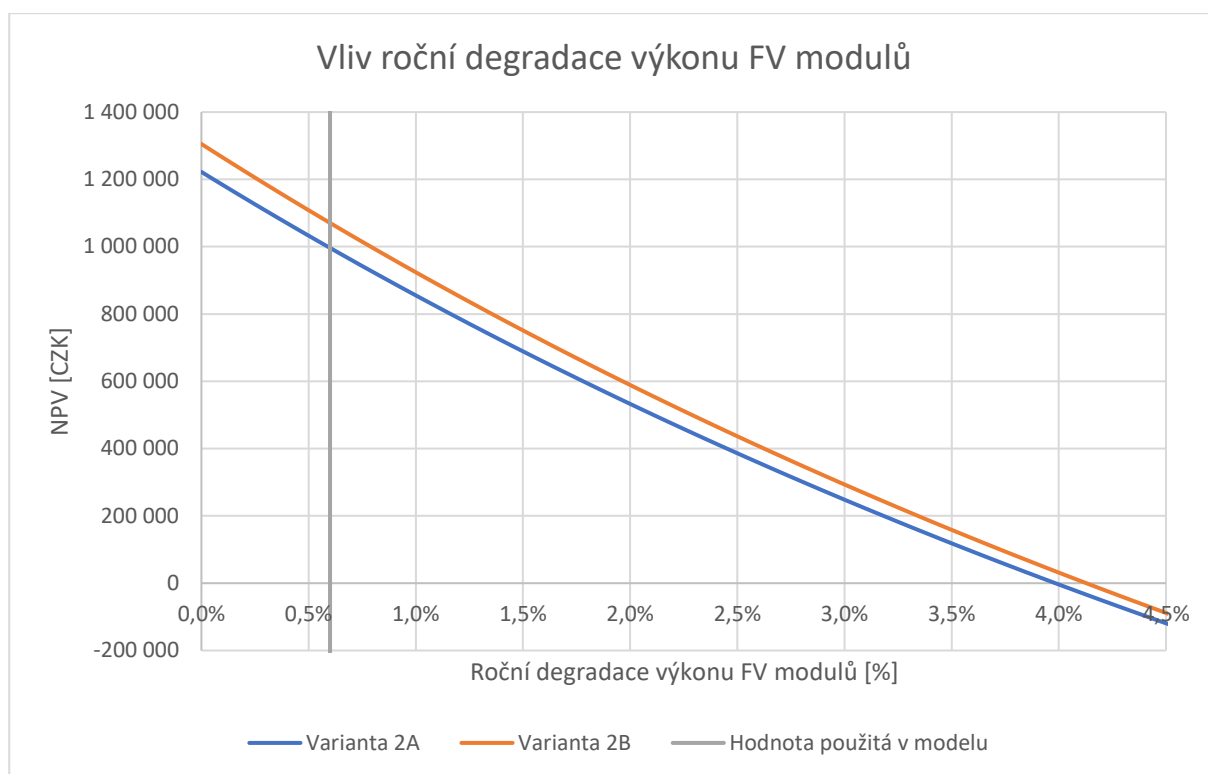
Další vstupní parametr, který byl zkoumán pomocí citlivostní analýzy na následujícím obr., představuje eskalace prodejní ceny přebytků elektrické energie. V modelu bylo počítáno s hodnotou 0,4 %.



Obr. 59. Graf citlivostní analýzy vlivu eskalace prodejní ceny přebytků elektřiny na NPV variant projektu 2A a 2B (využití vyrobené elektřiny z FVPHS v rámci energetické komunity) [autor]

Z tohoto obr. je zřejmé, že eskalace prodejní ceny přebytků elektřiny pro obě zkoumané varianty při jakékoli reálně očekávatelné kladné i záporné hodnotě tohoto vstupního parametru neohrozí rentabilitu projektu. Tato citlivostní analýza je provedena jen na variantách 2A a 2B, ale má i u všech ostatních variant, kde se tento parametr objevuje, takto malý význam. Na většinu variant prodejní cena elektřiny nemá téměř žádný vliv, protože skoro žádná energie na prodej nezbývá. Eskalace byla nastavena nízko, protože se zvyšujícím se počtem decentralizovaných zdrojů energie a s tím související zátěží na distribuční soustavu lze očekávat, že obchodníci (příp. vertikálně integrovaní dodavatelé elektřiny) budou přebytky energie vykupovat spíše s menším zájmem.

Další citlivostní analýza byla provedena na vliv degradace solárních panelů na výsledné NPV. V modelu se počítá s degradací 0,6 % ročně, což odpovídá garantovanému výkonu od výrobce.



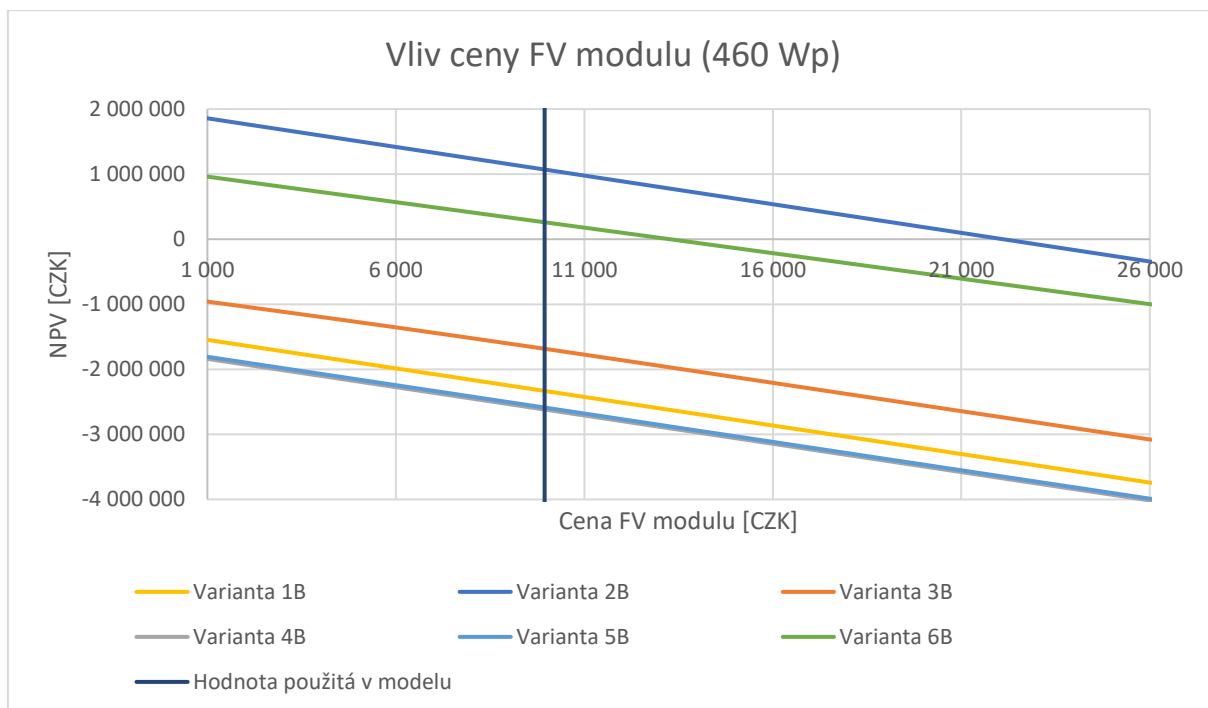
Obr. 60. Graf citlivostní analýzy vlivu roční degradace výkonu FV modulů na NPV variant projektu 2A a 2B (využití vyrobené elektřiny z FVPHS v rámci energetické komunity) [autor]

Degradace se poměrně výrazně projeví na rentabilitě investice. Pro varianty 2A a 2B se ale rozhodnutí o realizaci investice obrací až zhruba nad degradací 4 % ročně, což je však hodnota, která by již značila poruchový stav a vyžadovala diagnostiku nebo reklamaci FV modulů. Pro degradaci záleží také na prostředí, ve kterém jsou FV moduly nainstalovány a pro optimální výkon je doporučeno jejich pravidelné čištění, které představuje jednoduchou údržbu.

Dalším vstupním parametrem pro citlivostní analýzu je cena FV modulů. Citlivostní analýza je provedena pouze na panelu o výkonu 460 Wp. Je však třeba zdůraznit, že cena modulů je v modelu zadávána v měně PLN, proto do počítané ceny v CZK vstupuje ještě údaj o kurzu PLN/CZK, který lze v modelu také měnit. V modelu je stanovena cena 1 909 PLN za modul s výkonem 460 Wp od výrobce ML System. To odpovídá při uvažovaném kurzu PLN/CZK 5,21 zhruba 9 946 CZK. Graf této citlivostní analýzy byl vytvořen pro všechny varianty využívající tento typ FV modulu (1B, 2B, 3B, 4B, 5B a 6B).

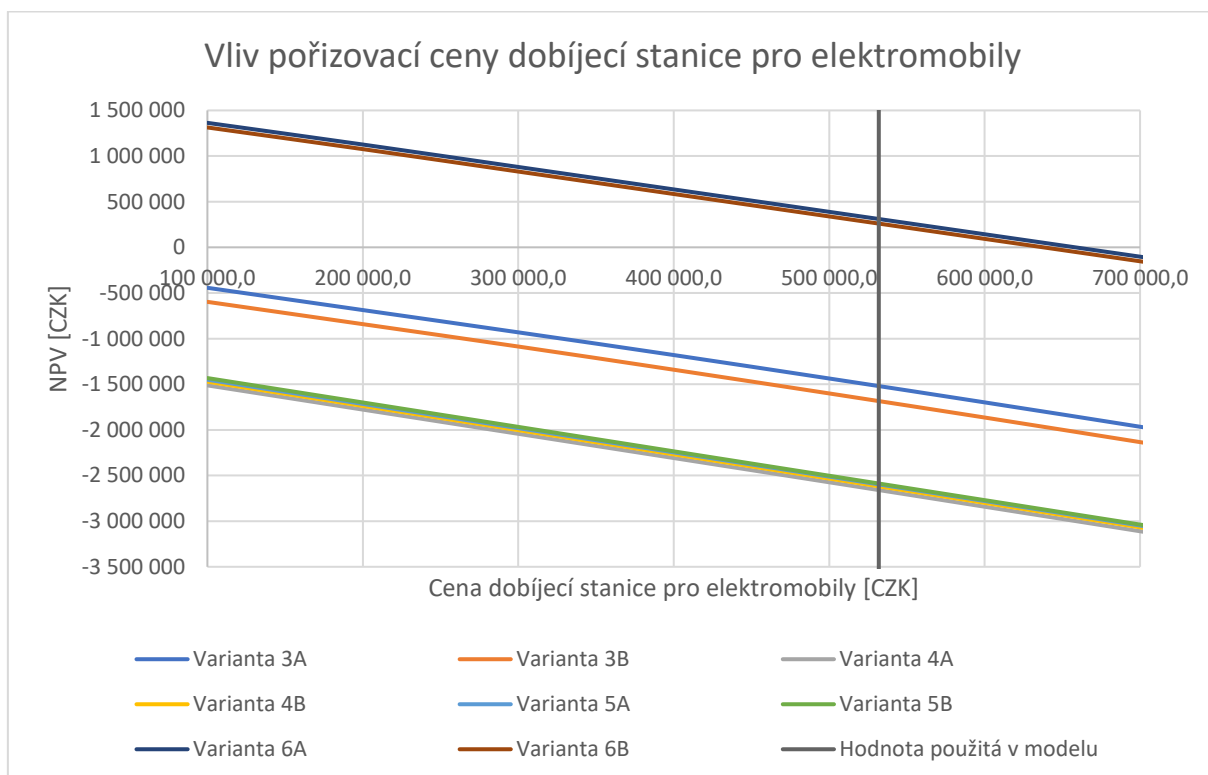
Jak je patrné z tohoto grafu, rozhodnutí o rentabilitě projektu se obrací až při ceně FV panelu zhruba 13 000 CZK pro variantu 6B a při ceně 22 000 CZK pro variantu 2B. Ostatní varianty ani při extrémním poklesu ceny FV modulů nedosahují kladného NPV.

I přes výrazný růst ceny FV modulů v roce 2022 lze očekávat, že se cena nedostane natolik vysoko, aby výrazně ohrozila ekonomickou efektivnost projektu ve variantě 2B. Pro variantu 6B by se již mohlo jednat o rizikový faktor. Jak již bylo zmíněno v minulých kapitolách, může se do budoucna vzhledem k růstu ceny komponent z Asie a růstu ceny dopravy vyplatit nakoupit FV moduly spíše od „lokálnějších“ výrobců z EU jako třeba z Polska (např. ML System) nebo z Německa (např. Viessmann).



Obr. 61 . Graf citlivostní analýzy vlivu ceny FV modulu na NPV variant projektu B (varianty s vrchní nosnou konstrukcí) [autor]

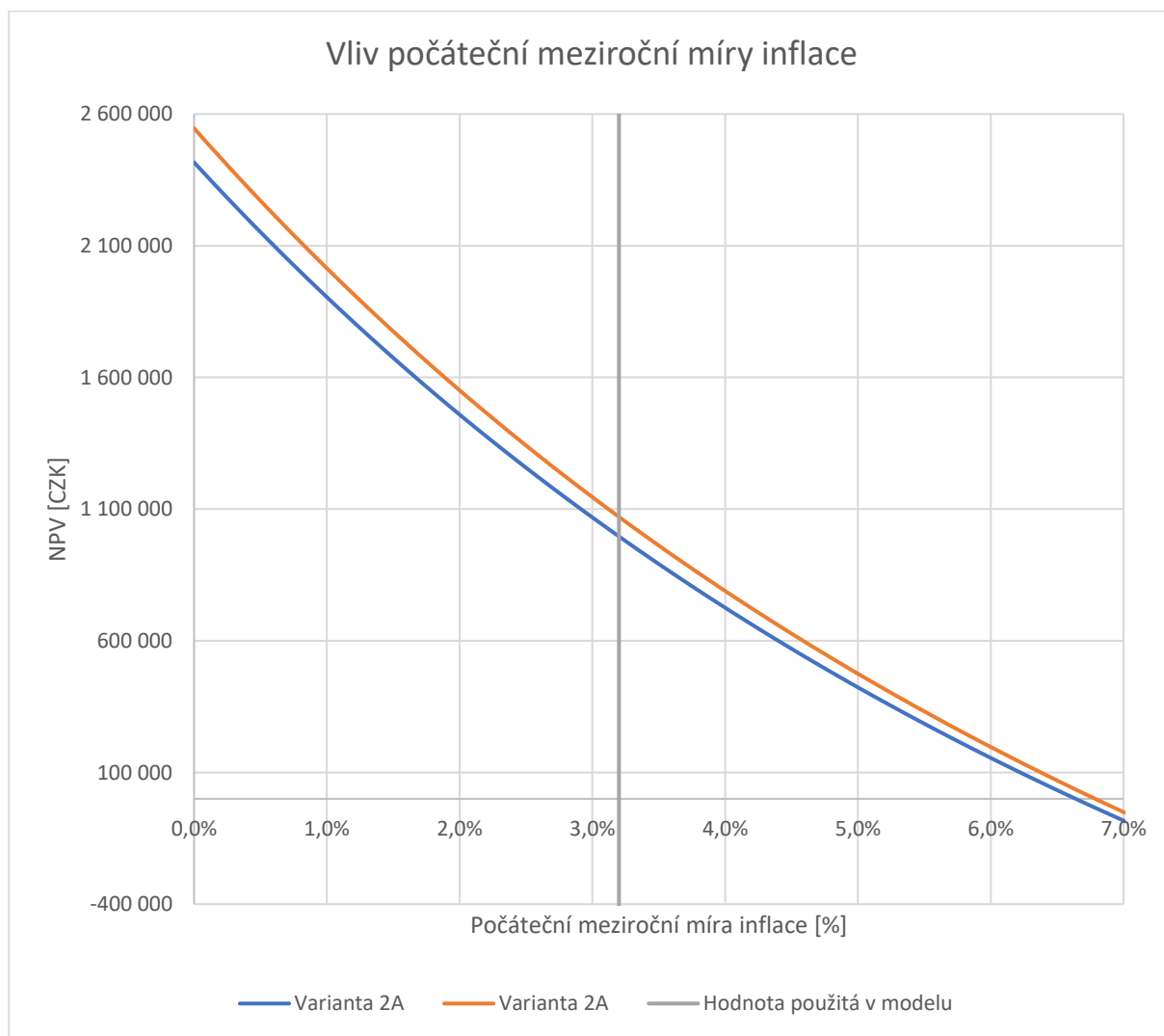
Následující graf zobrazuje závislost NPV na uvažovaných nákladech na pořízení dobíjecí stanice pro elektromobily u všech variant, kde se tento parametr vyskytuje. V modelu je uvažována cena této položky 531 921 CZK.



Obr. 62 . Graf citlivostní analýzy vlivu pořizovací ceny dobíjecí stanice pro elektromobily na NPV variant projektu 3, 4, 5 a 6 (využití vyrobené elektřiny z FVPHS v dobíjecích stanicích pro elektromobily) [autor]

Z uvedeného grafu je patrné, že i při poklesu nákladů na pořízení dobíjecí stanice až na zkoumaných 100 000 CZK nedosáhne většina variant kladné hodnoty NPV. I takové zlevnění už je však považováno za nereálné. Pouze varianty 6A a 6B zde dosahují rentability, která je ale ohrožena už při zvýšení ceny dobíjecí stanice přes 650 000 CZK. Při výrazném zvýšení popularity elektromobility by mohlo být i takové skokové zdražení reálné.

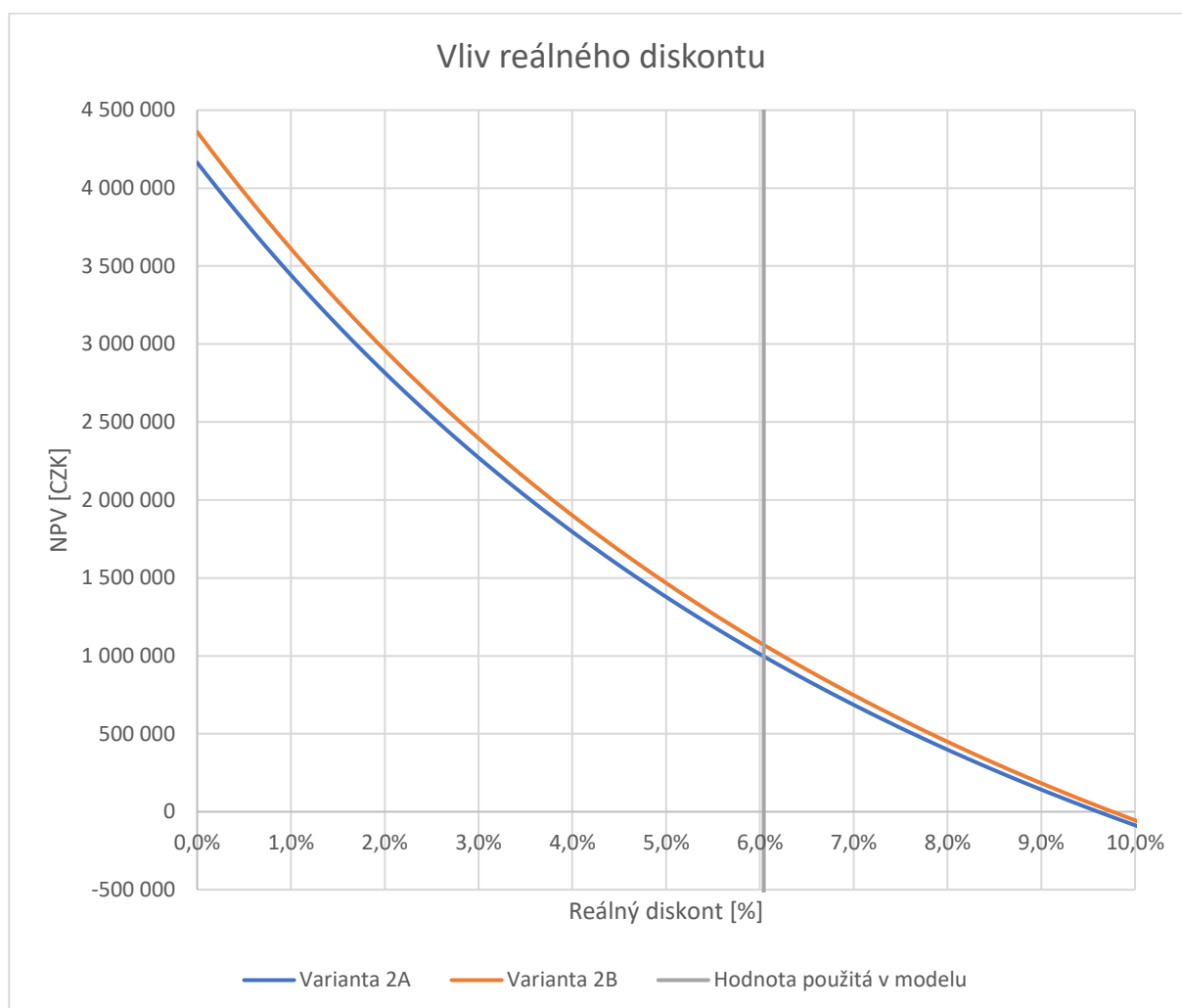
Další citlivostní analýza byla provedena na vliv meziroční míry inflace na počátku doby životnosti projektu. Jak již bylo diskutováno v předchozích podkapitolách, v modelu je stanoveno 3,2 % s postupným poklesem o 0,1 % až na hodnotu 2 %, která je dlouhodobým cílem měnové politiky ČNB.



Obr. 63. Graf citlivostní analýzy vlivu meziroční míry inflace na NPV variant projektu 2A a 2B (využití vyrobené elektřiny z FVPHS v rámci energetické komunity) [autor]

Na obr. 63 lze pozorovat, že od počáteční meziroční inflace zhruba 7 % by projekt ve variantě 2A a 2B přestával být rentabilní. Na hodnotu inflace je navázán výpočet nominální diskontní míry, proto se zvýšením uvažované hodnoty inflace výrazně klesají budoucí diskontované peněžní toky. Pokud by byla uvažována aktuální inflace z konce roku 2022 po celou dobu projektu, vycházelo by samozřejmě NPV všech variant projektu záporné.

Vstupním parametrem poslední jednodimenzionální citlivostní analýzy je reálný požadovaný diskont. V modelu je pomocí modelu CAPM stanovena hodnota 6,04 % podle výnosu bezrizikové investice (státní pokladniční poukázky) a ukazatelů trhu.



Obr. 64. Graf citlivostní analýzy vlivu reálného diskontu na NPV variant projektu 2A a 2B (využití vyrobené elektřiny z FVPHS v rámci energetické komunity) [autor]

Z obr. 64 vyplývá, že pro varianty 2A a 2B při překročení reálného diskontu zhruba kolem 9,5 % vyjde NPV záporné. Při přesném dopočítání příslušného nominálního diskontu pomocí inflace lze zároveň získat i již uvedené IRR projektu (11,10 % pro variantu 2A a 12,25 % pro variantu 2B). Pokud by požadovaný nominální diskont dosáhl těchto hodnot, obrací se rozhodnutí o rentabilitě investice. V takovém případě by bylo lepší zvolit alternativní investici, jejíž výnos představuje právě diskontní míra.

Poslední citlivostní analýza je dvoudimenzionální a zkoumá vliv predikce počtu zákazníků za měsíc a vliv predikce energie dobité zákazníkem při jedné návštěvě pro variantu 6B v následující tabulce.

		Predikce energie dobité zákazníkem při jedné návštěvě [kWh]										
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Predikce počtu zákazníků za měsíc	10	-6 455 219 Kč	-6 271 042 Kč	-6 086 866 Kč	-5 902 689 Kč	-5 718 513 Kč	-5 534 336 Kč	-5 350 160 Kč	-5 165 983 Kč	-4 981 807 Kč	-4 797 631 Kč	-4 613 454 Kč
	20	-6 271 042 Kč	-5 902 689 Kč	-5 534 336 Kč	-5 165 983 Kč	-4 797 631 Kč	-4 429 748 Kč	-4 064 836 Kč	-3 713 288 Kč	-3 370 771 Kč	-3 034 844 Kč	-2 705 969 Kč
	30	-6 086 866 Kč	-5 534 336 Kč	-4 981 807 Kč	-4 429 748 Kč	-3 888 109 Kč	-3 370 771 Kč	-2 869 013 Kč	-2 381 601 Kč	-1 901 932 Kč	-1 428 537 Kč	-983 261 Kč
	40	-5 902 689 Kč	-5 165 983 Kč	-4 429 748 Kč	-3 713 288 Kč	-3 034 844 Kč	-2 381 601 Kč	-1 742 580 Kč	-1 127 673 Kč	-567 101 Kč	-14 105 Kč	456 019 Kč
	50	-5 718 513 Kč	-4 797 631 Kč	-3 888 109 Kč	-3 034 844 Kč	-2 220 638 Kč	-1 428 537 Kč	-705 350 Kč	260 219 Kč	359 474 Kč	428 742 Kč	318 029 Kč
	60	-5 534 336 Kč	-4 429 748 Kč	-3 370 771 Kč	-2 381 601 Kč	-1 428 537 Kč	-567 101 Kč	260 219 Kč	359 474 Kč	252 641 Kč	268 520 Kč	340 813 Kč
	70	-5 350 160 Kč	-4 064 836 Kč	-2 869 013 Kč	-1 742 580 Kč	-705 350 Kč	260 219 Kč	338 752 Kč	232 819 Kč	304 666 Kč	389 008 Kč	473 350 Kč
	80	-5 165 983 Kč	-3 713 288 Kč	-2 381 601 Kč	-1 127 673 Kč	-14 105 Kč	359 474 Kč	232 819 Kč	316 715 Kč	413 106 Kč	509 497 Kč	605 887 Kč
	90	-4 981 807 Kč	-3 370 771 Kč	-1 901 932 Kč	-567 101 Kč	428 742 Kč	252 641 Kč	304 666 Kč	413 106 Kč	521 545 Kč	629 985 Kč	738 425 Kč
	100	-4 797 631 Kč	-3 034 844 Kč	-1 428 537 Kč	-14 105 Kč	318 029 Kč	268 520 Kč	389 008 Kč	509 497 Kč	629 985 Kč	750 474 Kč	870 962 Kč
	110	-4 613 454 Kč	-2 705 969 Kč	-983 261 Kč	456 019 Kč	240 250 Kč	340 813 Kč	473 350 Kč	605 887 Kč	738 425 Kč	870 962 Kč	1 003 499 Kč
	120	-4 429 748 Kč	-2 381 601 Kč	-567 101 Kč	359 474 Kč	268 520 Kč	413 106 Kč	557 692 Kč	702 278 Kč	846 864 Kč	991 451 Kč	1 136 037 Kč
	130	-4 246 683 Kč	-2 061 285 Kč	-152 354 Kč	280 977 Kč	328 764 Kč	485 399 Kč	642 034 Kč	798 669 Kč	955 304 Kč	1 111 939 Kč	1 268 574 Kč
	140	-4 064 836 Kč	-1 742 580 Kč	260 219 Kč	232 819 Kč	389 008 Kč	557 692 Kč	726 376 Kč	895 060 Kč	1 063 744 Kč	1 232 428 Kč	1 401 112 Kč
	150	-3 888 109 Kč	-1 428 537 Kč	428 742 Kč	268 520 Kč	449 252 Kč	629 985 Kč	810 718 Kč	991 451 Kč	1 172 183 Kč	1 352 916 Kč	1 533 649 Kč
	160	-3 713 288 Kč	-1 127 673 Kč	359 474 Kč	316 715 Kč	509 497 Kč	702 278 Kč	895 060 Kč	1 087 841 Kč	1 280 623 Kč	1 473 405 Kč	1 666 186 Kč
	170	-3 539 708 Kč	-843 599 Kč	297 306 Kč	364 910 Kč	569 741 Kč	774 571 Kč	979 402 Kč	1 184 232 Kč	1 389 063 Kč	1 593 893 Kč	1 798 724 Kč
	180	-3 370 771 Kč	-567 101 Kč	252 641 Kč	413 106 Kč	629 985 Kč	846 864 Kč	1 063 744 Kč	1 280 623 Kč	1 497 502 Kč	1 714 382 Kč	1 931 261 Kč
	190	-3 202 551 Kč	-290 603 Kč	235 241 Kč	461 301 Kč	690 229 Kč	919 158 Kč	1 148 086 Kč	1 377 014 Kč	1 605 942 Kč	1 834 870 Kč	2 063 798 Kč
	200	-3 034 844 Kč	-14 105 Kč	268 520 Kč	509 497 Kč	750 474 Kč	991 451 Kč	1 232 428 Kč	1 473 405 Kč	1 714 382 Kč	1 955 359 Kč	2 196 336 Kč

Tab. 9 Dvoudimenzionální citlivostní analýza vlivu predikce počtu zákazníků za měsíc a predikce energie dobité zákazníkem při jedné návštěvě na NPV varianty 6B (využití vyrobené elektřiny z FVPHS v dobíjecích stanicích pro elektromobily s virtuální baterií – produkt Elektrina pro soláry od ČEZ) [autor]

V tabulce je tučným písmem zvýrazněna výsledná hodnota NPV varianty 6B podle příslušných vstupních parametrů uvažovaných v modelu pro tuto variantu (60 kWh dobito při jedné návštěvě s počtem zákazníků 70). Podmíněným formátováním je následně vyznačena ekonomická efektivnost podle změny vstupních parametrů. Obecně s rostoucím počtem zákazníků a objemem dobité energie NPV roste (vyznačeno zelenou barvou) a opačným směrem NPV klesá (červeně).

ZÁVĚR

Hlavním cílem této diplomové práce bylo provést návrh a optimalizaci provozu fotovoltaického systému na protihlukové stěně v několika variantách a zhodnotit ekonomickou efektivnost tohoto projektu. Za tímto účelem jsem v rámci diplomové práce v prvních kapitolách nejprve zmapoval současný stav a také očekávaný budoucí vývoj tržního i legislativního prostředí v sektoru elektroenergetiky a obnovitelných zdrojů energie v Evropské unii a České republice s ohledem na aktuální energetickou krizi i klimatické cíle. Dle dílčích závěrů této části by v budoucnu mělo docházet k růstu instalovaného výkonu OZE včetně FVE a potenciálně v dlouhodobějším horizontu také k významnému nárůstu počtu elektromobilů, přičemž kýžený enviromentální přínos elektromobility i její praktická uskutečnitelnost jsou do značné míry závislé právě na zajištění dostatečného množství elektrické energie z ekologicky šetrných zdrojů.

V dalších kapitolách jsem nastínil základy technických principů zařízení potřebných pro uvažovaný projekt a probral jsem historii podobných projektů v zahraničí.

Dále jsem vytvořil model ekonomické efektivnosti vzorového projektu, ze kterého vyplývá, že vzhledem k velmi vysokým investičním nákladům fotovoltaické protihlukové stěny v porovnání s běžnými instalacemi FV systémů by projekt bez dotační podpory nebyl ekonomicky rentabilní ani v jedné variantě. S uvažovanými vstupy ekonomického modelu jsem ze zkoumaných variant jako nejvhodnější k realizaci vybral variantu s vrchní nosnou konstrukcí s využitím elektřiny v rámci energetické komunity (2B) nebo případně variantu s kazetovou trojřadou konstrukcí s využitím energie v dobíjecích stanicích pro elektromobily s virtuální baterií (6A).

Tímto by mohlo hodnocení projektu končit, ale fotovoltaické protihlukové stěny jsou uvažovány jako investice ze státního rozpočtu (a to i kvůli nedosažení rentability bez dotační podpory). To znamená např. z rozpočtu Ředitelství silnic a dálnic (příspěvková organizace) nebo Správy železnic (státní organizace), proto byla také v diplomové práci věnována významná část analýze motivace financování zkoumaného projektu fotovoltaických protihlukových stěn z veřejných prostředků. Vzhledem k tomu bych tedy projekt neměl posuzovat pouze pomocí kritérií ekonomické efektivnosti z pohledu investora. Je zapotřebí také analýza souladu se strategickými a koncepčními dokumenty státu, kterými jsou v oblasti energetiky zejména Státní energetická koncepce ČR a podřazené dokumenty (např. národní akční plány) nebo cíle EU podle Green Deal nebo Fit For 55. Ve Státní energetické koncepci ČR jsou uvedeny tzv. vrcholové cíle. Jedním z těchto vrcholových cílů je konkurenceschopnost energetiky a sociální přijatelnost (cenově dostupná energie pro konečné spotřebitele a zamezení energetické chudoby). Zajímá mě tedy, jakými mechanismy se projevuje zvyšování podílu OZE v energetickém mixu na cenu elektřiny pro konečné spotřebitele (domácnosti).

Intermitentní charakter OZE se sice promítne i do nákladů na akumulaci energie nebo do prodejní ceny elektřiny a tím do ekonomické efektivnosti projektu. Přesto ale na základě těchto mechanismů dle mého názoru stále není jasné, jestli intermitentní OZE (jako je např. FVE), zvyšují nebo naopak snižují průměrnou cenu energie pro konečné spotřebitele odebírající elektřinu z distribuční soustavy (např. domácnosti) v souladu s cíli Státní energetické koncepce. Podle mého názoru záleží na tom, jestli převládne tzv. merit order effect (efekt snížení ceny elektřiny na trhu v důsledku téměř nulových krátkodobých marginálních nákladů na výrobu elektřiny z OZE), nebo převládnu rostoucí náklady na provoz a rozvoj elektrizační soustavy, trhu s elektřinou a skladování energie způsobené penetrací OZE do energetického mixu, které se promítnou do ceny elektřiny pro konečné spotřebitele zejména prostřednictvím regulovaných složek ceny elektřiny. Nebezpečí může představovat rovněž úbytek flexibilních zdrojů energie ve prospěch intermitentních OZE. Důsledkem toho může být zdražení elektřiny ze závěrných elektráren pokrývajících poptávku po elektřině v době nevhodných podmínek pro výrobu energie z intermitentních zdrojů závislých na počasí nebo v hodinách špičkové poptávky pokrývané právě flexibilními zdroji (např. v ČR paroplynové elektrárny nebo přečerpávací vodní elektrárny), které

pro tuto situaci jsou udržovány v pohotovosti. V tomto ohledu je výhodná zejména vodní energetika, která jako OZE splňuje podmínku velmi nízkých krátkodobých marginálních nákladů, ale zároveň není považována za intermitentní zdroj. Její potenciál je ale v ČR již takřka vyčerpán. Dle mého názoru je zvyšování podílu intermitentních OZE včetně FVE (jako např. projekt zkoumaný v této diplomové práci) v energetickém mixu ČR stále přínosné až do určité meze. Stanovení konkrétního ideálního podílu intermitentních OZE je pak velmi složitou optimalizační úlohou o hledání nejnižších možných dlouhodobých marginálních nákladů na výrobu elektrické energie.

Dle mého názoru je tedy i vzhledem k současné energetické krizi lepší v dlouhodobém horizontu spoléhat na OZE s akumulací nebo s PVE (v kombinaci s integrací trhů v EU) jen jako doplňující prvek zejména k jaderné energetice, která byla už i podle tzv. taxonomie EU v roce 2022 zařazena mezi „zelené investice“ a je dle mého názoru vhodným řešením nejen z ekonomického (podle dlouhodobých marginálních nákladů) ale pravděpodobně i z ekologického hlediska.

Zmíněná energetická krize je způsobena kombinací řady faktorů, k nimž patří i válka na Ukrajině. V důsledku toho budou možná v EU zrychlena některá opatření a klimatické cíle (Green Deal, Fit for 55), protože je věnována větší pozornost závislosti na fosilních palivech z Ruska. To může zahrnovat i projekty výstavby OZE jako právě ten, který byl zkoumán v této diplomové práci. Pro projekty fotovoltaických protihlukových stěn by to tedy mohlo znamenat další podporu. Pro zlepšení energetické nezávislosti je ale dále dle mého názoru mimo diverzifikace dodávek zemního plynu pomocí zkapalněného zemního plynu (LNG – liquefied natural gas) apod. potřeba změnit energetický mix tak, aby ČR nebyla závislá na paroplynových elektrárnách jako závěrných zdrojích. Stále je ale elektřina pouze jednou z forem energie, na kterých je lidská civilizace závislá (dále je např. zemní plyn nenahraditelný v technologických procesech jako je např. výroba v automobilovém průmyslu). Dalším potřebným zamyšlením z hlediska energetické bezpečnosti a soběstačnosti dle mého názoru je, jestli masivní rozšíření instalací FVE nepřispívá k závislosti EU na Číně, která dominuje ve výrobě ale dnes již i vývoji nových komponent pro FVE. Tak jako se v roce 2022 ukázala jako strategicky nevýhodná energetická závislost na Rusku, lze označit i budování závislosti na Číně přinejmenším za vhodné pozornosti. Skutečná energetická nezávislost je však samozřejmě v současném globalizovaném světě pro ČR spíše nedosažitelná (a nejspíše by ani nebyla výhodná).

Obecným závěrem ze zkoumání projektu fotovoltaické protihlukové stěny v této diplomové práci je, že nejdůležitější výzvu výstavby intermitentních zdrojů energie představuje jejich propojení s vhodnou spotřebou, která se časově vhodně kryje s výrobou elektřiny a eliminuje tak nutnost drahé akumulace. To se projevuje i na výsledném NPV variant stanoveném v modelu. Projevuje se zde intermitentní charakter FVE a nemožnost v současné době technicky (a ekonomicky) uspokojivě řešit akumulaci energie v dostatečném množství. Právě proto jsem věnoval spojení výroby elektřiny s vhodnou spotřebou v této práci významný prostor (6 variant využití vyrobené elektřiny v ekonomického modelu). S tím souvisí i to, že dle mého názoru není vhodné porovnávat instalovaný špičkový výkon FVE (v jednotce watt-peak) s instalovaným výkonem flexibilních zdrojů (v jednotce watt), protože se jedná o rozdílné veličiny. Cílem by tedy podle mě nemělo být vybudování co nejvyššího instalovaného špičkového výkonu OZE, ale spíše omezení pálení vysokoemisních paliv i ve dny s těmi nejvíce nepříznivými podmínkami v roce (nepříznivým počasím pro OZE) spolu se zvyšováním účinnosti spotřebičů a snižováním nadbytečné spotřeby.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KLEISS, G., CASTELLO, S., HILLE, G., REISE, CH. et al. *Evaluation of the potential of PV noise barrier technology for electricity production and market share, Final Report*. TNC GmbH. Freiburg, Germany, June 2016. [online]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/264011205_Evaluation_of_the_potential_of_PV_noise_barrier_technology_for_electricity_production_and_market_share_Final_Report [cit. 2. 5. 2022]
- [2] POE, C., PLOVNICK, A., HODGES, T. et al. *Highway Renewable Energy: Photovoltaic Noise Barriers*. U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration, Office of Natural Environment. Washington D.C., July 2017. [online]. Dostupné z: <https://www.fhwa.dot.gov/environment/sustainability/energy/publications/photovoltaic> [cit. 2. 5. 2022]
- [3] BOESSENKOL, E., VAN DER GRAAF, D. *Solar Highways: Final Report*. Ministry of Infrastructure and Water Management of the Netherlands, Rijkswaterstaat. Utrecht, 2020. [online]. Dostupné z: <https://www.solarhighways.eu/en/documents> [cit. 2. 5. 2022]
- [4] ZDYB, A. *Photovoltaic System Integrated Into the Noise Barrier – Energy Performance and Life Cycle Assessment Faculty of Environmental Engineering*. Lublin University of Technology. Poland, 2019. [online]. Dostupné z: <http://www.jeeng.net/Photovoltaic-System-Integrated-Into-the-Noise-Barrier-Energy-Performance-and-Life.113137.0.2.html> [cit. 2. 5. 2022]
- [5] KANELIS, M., DE JONG, M., SLOOFF, M., DEBIJE, G. *The solar noise barrier project: 1. Effect of incident light orientation on the performance of a large-scale luminescent solar concentrator noise barrier*. Eindhoven University of Technology, Smart Energy Buildings & Cities. The Netherlands, 2016. [online]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148116309557> [cit. 2. 5. 2022]
- [6] NORDMANN, T., VONTOBEL, T., CLAVADETSCHER, L. *15 Years of Practical Experience in Development and Improvement of Bifacial Photovoltaic Noise Barriers Along Highways and Railway Lines in Switzerland*. TNC Consulting AG. 2012. [online]. Dostupné z: <https://www.eupvsec-proceedings.com/proceedings?paper=20241> [cit. 2. 5. 2022]
- [7] SIEBER, P. *Studie proveditelnosti (Feasibility Study): metodická příručka*. Ministerstvo pro místní rozvoj, Společný regionální operační program. 2004. [online]. Dostupné z: <https://www.dotaceeu.cz/getmedia/c4772855-8ffc-4036-97fc-2d7caa1ad86e/1136372156-zpracov-n-studie-proveditelnosti.pdf> [cit. 2. 5. 2022]
- [8] MINISTERSTVO PRO MÍSTNÍ ROZVOJ. *Metodická pomůcka Ministerstva pro místní rozvoj k umístování, povolování a užívání fotovoltaických staveb a zařízení*. 2022. [online]. Dostupné z: <https://www.komora-khk.cz/informacni-servis-khk-khk/ostatni-informace/metodicka-pomucka-ministerstva-pro-mistni-rozvoj-k-umistovani-povolovani-a-uzivani-fotovoltaickych-staveb-a-zarizeni/> [cit. 30. 5. 2022]
- [9] STÁTNÍ FOND ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Obecný programový dokument pro implementaci Modernizačního fondu v České republice*. Leden 2021. [online]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/modernizacni_fond/\\$FILE/OPTNE-PDMdF-20210125.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/modernizacni_fond/$FILE/OPTNE-PDMdF-20210125.pdf) [cit. 2. 6. 2022]
- [10] STÁTNÍ FOND ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Podmínky pro poskytování podpory z programu RES+*. Duben 2021. [online]. Dostupné z: <https://www.sfzp.cz/dokumenty/detail/?id=2344> [cit. 2. 6. 2022]
- [11] STÁTNÍ FOND ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Výzva RES+ č. 1/2022 - Fotovoltaické elektrárny do 1 MWp*. Červen 2022. [online]. Dostupné z: <https://www.sfzp.cz/dotace-a-pujcky/modernizacni-fond/vyzvy/detail-vyzvy/?id=15> [cit. 4. 7. 2022]
- [12] STÁTNÍ FOND ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Výzva RES+ č. 3/2022 - Komunální FVE pro malé obce*. Červen 2022. [online]. Dostupné z: <https://www.sfzp.cz/dotace-a-pujcky/modernizacni-fond/vyzvy/detail-vyzvy/?id=17> [cit. 4. 7. 2022]
- [13] MINISTERSTVO PRO MÍSTNÍ ROZVOJ. *Bartoš: Solární panely lze stavět bez stavebního povolení. Další zjednodušení ještě chystáme*. Září 2022. [online]. Dostupné z: <https://www.mmr.cz/cs/ostatni/web/novinky/bartos-solarni-panely-lze-stavet-bez-stavebniho-po> [cit. 6. 11. 2022]
- [14] TZB-INFO. *Fotovoltaiku až do výkonu 50 kWp bude možné provozovat bez licence*. Září 2022. [online]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/24334-az-50-kwp-fotovoltaiku-bude-mozne-provozovat-bez-licence-jake-dalsi-kroky-by-usnadnily-rozvoj-fotovoltaiky-v-cr> [cit. 6. 11. 2022]

- [15] MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. *MPO vložilo do meziresortního připomínkového řízení novelu, která umožní sdílení vyrobené energie*. Listopad 2022. [online]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/rozcestnik/pro-media/tiskove-zpravy/mpo-vložilo-do-meziresortního-připomínkového-řízení-novelu-která-umožní-sdílení-vyrobene-energie--270798/> [cit. 8. 11. 2022]
- [16] SEZNAM ZPRÁVY. *Němci mají levný proud z družstevních solárů. Ušetří i vydělají na prodeji*. Červenec 2022. [online]. Dostupné z: <https://www.seznamzpravy.cz/clanek/ekonomika-firmy-nemci-maji-levny-proud-z-druzstevnich-solaru-usetri-i-vydelaaji-na-prodeji-209166> [cit. 21. 11. 2022]
- [17] HOSPODÁŘSKÉ NOVINY. *Protihluková stěna jako elektrárna, topení díky místní pile. V Německu mění energetiku družstva nadšenců*. Srpen 2022. [online]. Dostupné z: <https://archiv.hn.cz/c1-67094150-protihlukova-stena-jako-elektrarna-topeni-diky-mistni-pile-v-nemecku-meni-energetiku-druzstva-nadsencu> [cit. 21. 11. 2022]
- [18] SPRÁVA ŽELEZNIC. *V Děčíně vznikne první solární elektrárna na nádražní budově*. 2021. [online]. Dostupné z: <https://www.spravazeleznic.cz/-/v-decine-vznikne-prvni-solarni-elektrarna-na-nadrazni-budove> [cit. 30. 8. 2022]
- [19] MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. *Státní energetická koncepce*. Odbor strategie a mezinárodní spolupráce v energetice. Praha, květen 2015. [online]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/dokument158059.html> [cit. 20. 8. 2022]
- [20] RITCHIE, H., ROSER, M. *Why did renewables become so cheap so fast?* University of Oxford, Oxford Martin Programme on Global Development. Our World in Data. December 2020. [online]. Dostupné z: <https://ourworldindata.org/cheap-renewables-growth> [cit. 11. 8. 2022]
- [21] TAYLOR, M., RALON, P., ANUTA, H., AL-ZOGHOUL S. *Renewable Power Generation Costs in 2019*. International Renewable Energy Agency (IRENA). Abu Dhabi, June 2020. [online]. Dostupné z: <https://www.irena.org/publications/2020/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2019> [cit. 11. 8. 2022]
- [22] FINANCIAL TIMES. *Swanson's Law provides green ray of sunshine for PV*. <https://www.ft.com/content/d9f9f1b4-a3f0-11e5-873f-68411a84f346> [cit. 12. 8. 2022]
- [23] WAGNER, V. *Potenciál využití fotovoltaických zdrojů v ČR a ve světě*. oEnergetice.cz. Leden 2018. [online]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/potencial-vyuziti-fotovoltaickych-zdroju-cr-ve-svete-dil-1> [cit. 12. 8. 2022]
- [24] KAVLAK, G., MCNERNEY, J., TRANCIK, J. E. *Evaluating the causes of cost reduction in photovoltaic modules*. Institute for Data, Systems and Society, Massachusetts Institute of Technology. Cambridge, October 2018. [online]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421518305196> [cit. 14. 8. 2022]
- [25] GALLISTL, V. *Solární panely výrazně podražily. Ještě horší je situace u baterií*. Hospodářské noviny. Economia, a.s. Duben 2022. [online]. Dostupné z: <https://archiv.hn.cz/c1-67055510-solarni-panely-vyrazne-podrazily-jeste-horsi-je-situace-u-baterii> [cit. 19. 8. 2022]
- [26] OENERGETICE.CZ. *Jak se promítne extrémní zdražení panelů do cen fotovoltaických elektráren v Česku?* OM Solutions. Říjen 2021. [online]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/se-promitne-extremniho-zdrazeni-panelu-cen-fotovoltaickych-elektraren-cesku> [cit. 19. 8. 2022]
- [27] DING, L., MURTAUGH, D. *Solar Panel Material Price Hits Highest in a Decade in China*. Bloomberg L.P. Europe Edition. June 2022. [online]. Dostupné z: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-06-22/solar-panel-material-polysilicon-rises-to-highest-in-a-decade-in-china> [cit. 19. 8. 2022]
- [28] FELDMAN, D., RAMASAMY, V., FU, R., RAMDAS, A., DESAI, J., MARGOLIS, R. *U.S. Solar Photovoltaic System and Energy Storage Cost Benchmark: Q1 2020*. National Renewable Energy Laboratory (NREL), U.S. Department of Energy. January 2021. [online]. Dostupné z: <https://www.nrel.gov/news/program/2021/documenting-a-decade-of-cost-declines-for-pv-systems.html> [cit. 11. 8. 2022]
- [29] LAI, C. S., MCCULLOCH, M. D. *Levelized Cost of Electricity for Solar Photovoltaic and Electrical Energy Storage*. Energy and Power Group, Department of Engineering Science, University of Oxford. 2017. [online]. Dostupné z: <https://bura.brunel.ac.uk/handle/2438/22670> [cit. 22. 8. 2022]
- [30] VASTL, J., VAŠÍČEK, J. *Náklady výroby elektrické energie*. Ekonomika elektroenergetiky. Přednáška. FEL ČVUT, Praha, 2021. [online]. Dostupné z: <https://moodle.fel.cvut.cz/mod/resource/view.php?id=174853> [cit. 24. 8. 2022]
- [31] LAZARD. *Lazard's Levelized Cost of Energy Analysis*. New York. October 2021. [online]. Dostupné z: <https://www.lazard.com/perspective/levelized-cost-of-energy-levelized-cost-of-storage-and-levelized-cost-of-hydrogen/> [cit. 24. 8. 2022]
- [32] DONEV, J. *Intermittent electricity*. University of Calgary. [online]. Dostupné z: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Intermittent_electricity [cit. 24. 8. 2022]

- [33] ÚJV ŘEŽ. *Technologie Power-to-Gas (P2G)*. [online]. Dostupné z: <https://www.ujv.cz/cs/akordeonovy-seznam/technologie-power-to-gas-p2g-11354> [cit. 24. 8. 2022]
- [34] EVROPSKÝ PARLAMENT A RADA EVROPSKÉ UNIE. *Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/1999 ze dne 11. prosince 2018 o správě energetické unie a opatření v oblasti klimatu*. [online]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/cs/TXT/?uri=CELEX%3A32018R1999> [cit. 10. 10. 2022]
- [35] OPERÁTOR TRHU S ELEKTŘINOU. *Národní energetický mix*. [online]. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/narodni-energeticky-mix> [cit. 10. 11. 2022]
- [36] EGÚ BRNO, A.S. *Oponentní posudek k vybraným tématům z návrhu Národního klimaticko-energetického plánu pro oblast FVE*. [online]. Dostupné z: <https://www.solarniasociace.cz/cs/aktualne/15156-jaky-je-potencial-fotovoltaiky-v-cesku> [cit. 10. 11. 2022]
- [37] CZECHSIGHT. *Potenciál obnovitelných zdrojů v České republice: Střešní a fasádní fotovoltaické elektrárny*. [online]. Dostupné z: <https://www.czechsight.cz/potencial-obnovitelnych-zdroju-v-ceske-republice-stresni-a-fasadni-fotovoltaicke-elektrarny/> [cit. 10. 11. 2022]
- [38] MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. *Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu*. Listopad 2019. [online]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/vnitrostatni-plan-ceske-republiky-v-oblasti-energetiky-a-klimatu--252016/> [cit. 25. 9. 2022]
- [39] EVROPSKÁ KOMISE. *Sdělení Komise Evropskému parlamentu, Radě, Evropskému hospodářskému a sociálnímu výboru a Výboru regionů „Fit for 55“: plnění klimatického cíle EU pro rok 2030 na cestě ke klimatické neutralitě*. Červenec 2021. [online]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX:52021DC0550> [cit. 15. 10. 2022]
- [40] RITCHIE, H., ROSER, M. *CO₂ emissions by region*. University of Oxford, Oxford Martin Programme on Global Development. Our World in Data. [online]. Dostupné z: <https://ourworldindata.org/co2-emissions#co2-emissions-by-region> [cit. 21. 10. 2022]
- [41] MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. *Workshop MPO - Agregátor a flexibilita*. Září 2018. [online]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/konference-seminare/workshop-mpo---agregator-a-flexibilita--239782/> [cit. 25. 8. 2022]
- [42] ALL FOR POWER. *Flexibilita známá a neznámá*. Únor 2020. [online]. Dostupné z: <http://old.allforpower.cz/clanek/flexibilita-znama-a-neznama/> [cit. 25. 8. 2022]
- [43] PROJEKT SECUREFLEX. *Analýza uplatňovaných motivačních schémat a modelů a jejich efektivity*. Západočeská univerzita v Plzni. Výzkumné centrum NTIS. 2019. [online]. Dostupné z: http://secureflex.laps.zcu.cz/images/c/c5/V18_Anyza_motivacnich_schemat.pdf [cit. 26. 8. 2022]
- [44] PROJEKT SECUREFLEX. *Analýza uplatňovaných motivačních schémat a modelů a jejich efektivity*. CIIRC ČVUT. 2021. [online]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/vyzkum-a-vyvoj-v-energetice/workshopy/druhy-workshop-pod-zastitou-eru--mpo--ta-cr-konany-20--kvetna-2021-venovany-tematu-chytrych-siti--262422/> [cit. 26. 8. 2022]
- [45] PROJEKT DFLEX. *Ověření využitelnosti agregace flexibility s využitím řízení strany spotřeby pro potřeby regulace elektrizační soustavy*. [online]. Dostupné z: <https://www.ciirc.cvut.cz/cs/d-flex-project-will-help-the-energy-system/> [cit. 26. 8. 2022]
- [46] KREJCAR, R. *Státní energetická koncepce ČR a provázanost na další strategické dokumenty*. Rozvoj energetických systémů. Přednáška. FEL ČVUT, Praha. 2021. [online]. Dostupné z: <https://moodle.fel.cvut.cz/course/view.php?id=6104> [cit. 27. 10. 2022]
- [47] CSEREKLYEI, Z. *Price and income elasticities of residential and industrial electricity demand in the European Union*. School of Economics, Finance and Marketing, RMIT University. Melbourne, Australia, February 2020. [online]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421519306664> [cit. 27. 8. 2022]
- [48] ZÁKONY PRO LIDI. *Zákon č. 458/2000 Sb. o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon)*. 2000. [online]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-458> [cit. 27. 8. 2022]
- [49] BYROM, S. et al. *Total Systems Cost: A Better Metric for Valuing Electricity in Supply Network Planning and Decision-Making*. School of Earth and Environmental Sciences, University of Queensland, Australia. 2021. [online]. Dostupné z: <http://www.jeiletters.org/index.php?journal=mys&page=article&op=view&path%5B%5D=202100056> [cit. 29. 8. 2022]

- [50] KNÁPEK, J. *System Aspects of Renewable Energy Sources and Promotion Schemes*. Ekologie a ekonomika. Přednáška. FEL ČVUT, Praha, 2015. [online]. Dostupné z: <https://moodle.fel.cvut.cz/mod/resource/view.php?id=205701> [cit. 29. 8. 2022]
- [51] STARÝ, O. *Marginální náklady v ES*. Management energetických soustav. Přednáška. FEL ČVUT, Praha, 2021. [online]. Dostupné z: https://moodle.fel.cvut.cz/pluginfile.php/299550/mod_folder/content/0/mes05_marginln_nklady_v_es.pdf [cit. 30. 8. 2022]
- [52] VÍTEK, M. *Náhrada elektřiny z jádra elektřinou z větru?* Energie 21. 2019. [online]. Dostupné z: <https://energie21.cz/efektivita-nahrady-elekriny-z-jadra-elekrinou-z-vetru/> [cit. 30. 8. 2022]
- [53] AUSTRALIAN ENERGY REGULATOR. *Approach to electricity wholesale market performance monitoring*. 2017. [online]. Dostupné z: <https://www.aer.gov.au/system/files/Discussion%20paper%20-%20Approach%20to%20electricity%20wholesale%20market%20performance%20monitoring.PDF> [cit. 30. 8. 2022]
- [54] MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. *Národní akční plán České republiky pro energii z obnovitelných zdrojů*. Únor 2016. [online]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/elektroenergetika/obnovitelne-zdroje/narodni-akcni-plan-pro-obnovitelne-zdroje-energie--169894/> [cit. 12. 11. 2022]
- [55] MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. *Národní akční plán pro chytré sítě (NAP SG)*. Listopad 2016. [online]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/elektroenergetika/narodni-akcni-plan-pro-chytre-site-nap-sg--221568/> [cit. 15. 11. 2022]
- [56] MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. *Zpráva o průběžném vyhodnocení plnění NAP SG 2019 – 2030*. Únor 2022. [online]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/narodni-akcni-plan-pro-chytre-site/zprava-o-prubeznem-vyhodnoceni-plneni-nap-sg-2019--2030--267721/> [cit. 15. 11. 2022]
- [57] MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. *Rozvoj podporovaných zdrojů energie do roku 2030 (podkladový dokument NKEP)*. [online]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/elektroenergetika/obnovitelne-zdroje/rozvoj-podporovanych-zdroju-energie-do-roku-2030-podkladovy-dokument-nkep--244303/> [cit. 15. 11. 2022]
- [58] ENACO. *Studie „Potenciál solární energetiky v České republice“*. Říjen 2015. [online]. Dostupné z: <https://www.solarniasociace.cz/tmp/czeph0---potencial-solarni-energetiky-v-cr---final-1.1.pdf> [cit. 16. 11. 2022]
- [59] MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Vyhodnocení možností umístění větrných a fotovoltaických elektráren z hlediska ochrany přírody a krajiny*. 2009. [online]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/knihovna/vyhodnoceni-moznosti-umisteni-vetrnych-a-fotovoltaickych-elekraren-z-hlediska-ochrany-prirrody-a-krajiny-preventivni> [cit. 18. 11. 2022]
- [60] MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Vyhodnocení možností umístění větrných a fotovoltaických elektráren z hlediska ochrany přírody a krajiny (příloha – schematické mapy)*. [online]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/vestnik_mzp_2018/\\$FILE/SOTPR_Vestnik_priloha2_z_ari_181002.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/vestnik_mzp_2018/$FILE/SOTPR_Vestnik_priloha2_z_ari_181002.pdf) [cit. 18. 11. 2022]
- [61] MINISTERSTVO DOPRAVY. *TP 104 - Protihlukové clony pozemních komunikací*. Technické podmínky, Politika jakosti pozemních komunikací, 2016. [online]. Dostupné z: <https://pjkp.rsd.cz/technicke-podminky-tp/> [cit. 19. 11. 2022]
- [62] DAY, M., MOW, B. *Research and Analysis Demonstrate the Lack of Impacts of Glare from Photovoltaic Modules*. NREL, 2018. [online]. 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> [cit. 20. 11. 2022]
- [63] RILEY, E., OLSON, S. *A Study of the Hazardous Glare Potential to Aviators from Utility-Scale Flat-Plate Photovoltaic Systems*. 2011. [online]. Dostupné z: <https://www.hindawi.com/journals/isrn/2011/651857/> [cit. 20. 11. 2022]
- [64] ANURAG, A. ZHANG, J. GWAMURI, J. PEARCE, J. *General Design Procedures for Airport-Based Solar Photovoltaic Systems*. 2017. [online]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/1996-1073/10/8/1194> [cit. 20. 11. 2022]
- [65] MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY. *Ground-Mounted Solar Photovoltaic Systems*. 2015. [online]. Dostupné z: <https://www.mass.gov/files/documents/2016/08/rn/solar-pv-guide.pdf> [cit. 20. 11. 2022]

- [66] BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND KLIMASCHUTZ. *Das Erneuerbare-Energien-Gesetz*. [online]. Dostupné z: <https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Dossier/eeg.html> [cit. 21. 11. 2022]
- [67] EUROPEAN COMMISSION. *LIFE Programme*. European Climate Infrastructure and Environment Executive Agency. [online]. Dostupné z: https://cinea.ec.europa.eu/programmes/life_en [cit. 21. 11. 2022]
- [68] VICROADS. *Greenhouse reduction*. [online]. Dostupné z: <https://www.vicroads.vic.gov.au/planning-and-projects/environment/greenhouse-reduction> [cit. 21. 11. 2022]
- [69] TZB-INFO. *ČEZ v Ledvicích zkouší moderní typy fotovoltaických panelů pro velké solární elektrárny*. Duben 2021. [online]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/22142-cez-v-ledvicich-zkousi-moderni-typy-fotovoltaickych-panelu-pro-velke-solarni-elektrarny> [cit. 21. 11. 2022]
- [70] SOLAR-CO.CZ *Sluneční záření v ČR – MWh/kWh/m² (dopad na vodorovnou plochu)*. [online]. Dostupné z: <http://www.solar-co.cz/fotovoltaika-zajimavosti/> [cit. 22. 11. 2022]
- [71] BENDA, V. *Solární systémy a elektrochemické zdroje*. Přednáška. FEL ČVUT, Praha. [online]. Dostupné z: <https://moodle.fel.cvut.cz/course/view.php?id=6700> [cit. 22. 11. 2022]
- [72] SOLAR REVIEWS. *Types of solar panels: which one is the best choice?* 2021. [online]. Dostupné z: <https://www.solarreviews.com/blog/pros-and-cons-of-monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels> [cit. 23. 11. 2022]
- [73] SUNFORSON POWER. *Germany solar cell market installed capacity, by product*. [online]. Dostupné z: <http://www.solar-mount.com/news/solar-cell-market-analysis-by-product-and-segm-10129764.html> [cit. 23. 11. 2022]
- [74] DS NEW ENERGY. *Half Cut (Cell) Technology For Solar Panel Design And Manufacturing*. 2019. [online]. Dostupné z: <https://www.dsneg.com/info/half-cut-technology-for-solar-panel-design-and-34677835.html> [cit. 23. 11. 2022]
- [75] SOLÁRNÍ ENERGIE. *Učební text - Elektromontér fotovoltaických systémů*. Národní soustava kvalifikací 26-014-H. Duben 2016. [online]. Dostupné z: https://www.solarnienergie.cz/stahnout/Elektromonter_fotovoltaickych_syst%C3%A9mu_skripta_1.pdf [cit. 23. 11. 2022]
- [76] ČEZ DISTRIBUTICE. *Pravidla provozování distribuční soustavy 2022*. [online]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/cs/energeticka-legislativa/pravidla-provozovani-ds/pravidla-provozovani-distribucni-soustavy-2022> [cit. 23. 11. 2022]
- [77] ČEZ DISTRIBUTICE. *Připojovací podmínky*. [online]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/cs/pro-zakazniky/potrebuji-vyresit/ceny-a-podminky/pripojovaci-podminky> [cit. 23. 11. 2022]
- [78] SOLAR KERBEROS. *MPPT*. [online]. Dostupné z: <https://www.solar-kerberos.cz/cz/produkt/blog/211-vite-co-je-to-mppt> [cit. 23. 11. 2022]
- [79] SIEMENS VISIONS. *Využití velkokapacitních baterií v síti – rozhovor*. Prosinec 2017. [online]. Dostupné z: <https://www.visionsmag.cz/vyuziti-velkokapacitnich-baterii-v-siti-rozhovor> [cit. 23. 11. 2022]
- [80] ALL FOR POWER. *ČEZ zahájil provoz 4 MW baterie v rámci společného pilotního projektu s ČEPS*. Duben 2020. [online]. Dostupné z: <https://allforpower.cz/rozvody-energie/cez-zahajil-provoz-4-mw-baterie-v-ramci-spolecneho-pilotniho-projektu-s-ceps-141> [cit. 23. 11. 2022]
- [81] HRZINA, P. *Akumulace elektřiny v budovách: základní parametry a technologie*. FEL ČVUT, Katedra elektrotechnologie. 2020. [online]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/20292-akumulace-elektriny-v-budovach-zakladni-parametry-a-technologie> [cit. 24. 11. 2022]
- [82] NORDMANN, T., CLAVADETSCHER, L. *PV on noise barriers*. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, Volume 12, Issue 6. [online]. Dostupné z: https://www.tnc.ch/wp-content/uploads/2017/10/PV_on_noise_barriers.pdf [cit. 24. 11. 2022]
- [83] ZÁKONY PRO LIDI. *Zákon č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví*. [online]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-258> [cit. 24. 11. 2022]
- [84] INSTITUT PRO TESTOVÁNÍ A CERTIFIKACI. *ČSN EN 13231- 5 - Železniční aplikace – Kolej – Přejímka prací – Část 5: Postupy reprofilace kolejnic v běžné koleji, výhybkách a výhybkových konstrukcích včetně dilatačních zařízení*. 2019. [online]. Dostupné z: <https://www.nlnorm.cz/terminologicky-slovník/139675> [cit. 24. 11. 2022]
- [85] KUČERA, M. *Šíření zvuku dělicími stěnami*. Recenzovaný článek. Topin Media. 2015. [online]. Dostupné z: <https://www.topin.cz/clanky/sireni-zvuku-delicimi-stenami-detail-4475> [cit. 24. 11. 2022]
- [86] VIRIDI RE GROUP. *Renewable energy power plants*. [online]. Dostupné z: <https://viridi.de/> [cit. 24. 11. 2022]

- [87] FAR SYSTEMS. *On-Board Electronic Devices and Communication Solutions for the Rail Industry*. [online]. Dostupné z: <https://www.farsystems.it/> [cit. 24. 11. 2022]
- [88] GEHRLICHER SOLAR. *Imagine the energy*. [online]. Dostupné z: <http://www.gehrlicher.com/> [cit. 24. 11. 2022]
- [89] SOLARART. *Die Kunst Sonne in Strom zu wandeln*. [online]. Dostupné z: <http://www.solarart.de/> [cit. 24. 11. 2022]
- [90] PVRESOURCES. *Photovoltaic Technologies and Applications*. [online]. Dostupné z: <https://www.pvresources.com/> [cit. 24. 11. 2022]
- [91] EWE. *Energie und Kommunikation für Sie*. [online]. Dostupné z: <https://www.ewe.de/> [cit. 46. 11. 2022]
- [92] CLIMATE FUND MANAGERS. *Complete Lifecycle Financing*. [online]. Dostupné z: <https://www.ewe.de/https://climatefundmanagers.com/> [cit. 24. 11. 2022]
- [93] ERTEX SOLAR. *Energy meets Architecture*. [online]. Dostupné z: <https://www.ertex-solar.at/en/> [cit. 24. 11. 2022]
- [94] EUR-LEX. *Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/49/ES ze dne 25. června 2002 o hodnocení a řízení hluku ve venkovním prostředí*. [online]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/ALL/?uri=celex:32002L0049> [cit. 25. 11. 2022]
- [95] ZÁKONY PRO LIDI. *Vyhláška č. 315/2018 Sb. o strategickém hlukovém mapování*. [online]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2018-315> [cit. 25. 11. 2022]
- [96] PORTÁL ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ HLAVNÍHO MĚSTA PRAHY. *Strategická hluková mapa Prahy*. [online]. Dostupné z: <https://portalzp.praha.eu/jnp/cz/hluk/hlukove-mapovani/strategicka-hlukova-mapa-prahy.xhtml> [cit. 25. 11. 2022]
- [97] MINISTERSTVO ZRAVOTNICTVÍ. *Hlukové mapy ČR jsou nově dostupné v přehledné webové aplikaci Ministerstva zdravotnictví*. 2019. [online]. Dostupné z: <https://www.mzcr.cz/tiskove-centrum-mz/hlukove-mapy-cr-jsou-nove-dostupne-v-prehledne-webove-aplikaci-ministerstva-zdravotnictvi/> [cit. 25. 11. 2022]
- [98] GEOPORTÁL MZČR. *Hlukové mapy 2017*. [online]. Dostupné z: <https://geoportal.mzcr.cz/SHM/?locale=cs> [cit. 25. 11. 2022]
- [99] LÁDYŠ, L. *Role vegetace při snižování hluku ze silniční dopravy*. 2010. [online]. Dostupné z: <http://old.silnice-zeleznice.cz/clanek/role-vegetace-pri-snizovani-hluku-ze-silnicni-dopravy/> [cit. 25. 11. 2022]
- [100] ŽPSV. *Prefabrikáty pro protihlukové clony - zakázková výroba protihlukových panelů SILENT, SILENT VV, PHS 2*. [online]. Dostupné z: <https://www.zpsv.cz/produkty-pro-snizovani-hluku-a-vibraci/prefabrikaty-pro-protihlukove-clony/zakazkova-vyroba-protihlukovych-panelu-silent/> [cit. 25. 11. 2022]
- [101] ŽPSV. *Protihluková opatření – výběr produkce*. [online]. Dostupné z: <https://adoc.pub/2014-vybr-produkce.html/> [cit. 25. 11. 2022]
- [102] LIADUR. *Betonové protihlukové stěny Liadur*. [online]. Dostupné z: <https://www.liadur.cz/cz/reference/kategorie/betonove-steny-liadur> [cit. 26. 11. 2022]
- [103] SILNICE-ŽELEZNICE. *Transparentní protihlukové stěny – účinná ochrana před hlukem*. 2014. [online]. Dostupné z: <http://old.silnice-zeleznice.cz/clanek/transparentni-protihlukove-steny-ucinna-ochrana-pred-hlukem/> [cit. 26. 11. 2022]
- [104] VELOX BAU-SYSTEME. *Lärmschutz Produkte*. [online]. Dostupné z: <https://www.velox.at/produkte/laermschutz/standard-titel> [cit. 26. 11. 2022]
- [105] ROMAN. *Kovové protihlukové panely*. [online]. Dostupné z: <https://romansro.cz/silnicni-protihlukove-panely#kovove> [cit. 26. 11. 2022]
- [106] DAKO BRNO. *Sklovláknobeton*. [online]. Dostupné z: <https://www.dakogrc.cz/cs/fasady/sklovlaknobeton.html> [cit. 26. 11. 2022]
- [107] SOLAR INNOVA. *Photovoltaic Noise Barrier - Drawings*. [online]. Dostupné z: <https://www.solarinnova.net/en/products/photovoltaic/mounting/pvnb> [cit. 27. 11. 2022]
- [108] FORSTER METALLBAU. *FONOCON Silent Solar*. [online]. Dostupné z: <https://www.forster.at/laermschutz/silent-solar/> [cit. 27. 11. 2022]
- [109] E-STAVEBNINY. *Skelné rouno*. [online]. Dostupné z: <https://www.e-stavebniny.cz/doplnky-pro-ploche-strechy-separacni-a-ochrann-vrstvy-skelne-rouno-ff1185.php> [cit. 27. 11. 2022]
- [110] AUTODESK. *Educational access to Autodesk products*. [online]. Dostupné z: <https://www.autodesk.com/education/edu-software/overview> [cit. 27. 11. 2022]

- [111] ML SYSTEM. *ML Max Ceramic*. Katalogový list. [online]. Dostupné z: <https://sklep.mlssystem.pl/ml-max-ceramic.3.242.222> [cit. 27. 11. 2022]
- [112] KUPR SYSTEM. *Produkty KuPr System*. [online]. Dostupné z: <https://www.kuprsystem.cz/produkty/> [cit. 30. 11. 2022]
- [113] ML SYSTEM. *Modul 460 Wp Half Cut Czarna ramka [1910x1134x35]*. Katalogový list. [online]. Dostupné z: <https://sklep.mlssystem.pl/ml-system-modul-460-wp-half-cut-czarna-ramka-19.3.228.2647> [cit. 30. 11. 2022]
- [114] KURZY.CZ. *Kurzy měn CZK/EUR*. [online]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/kurzy-men/aktualni/CZK-EUR/> [cit. 10. 12. 2022]
- [115] SAINT-GOBAIN CONSTRUCTION PRODUCTS CZ, DIVIZE ISOVER. *Nejčastější vady a jejich řešení při zateplení soklu*. TZB-INFO, 2015. [online]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/zateplovaci-systemy/13156-nejcastejsi-vady-a-jejich-reseni-pri-zatepleni-soklu> [cit. 1. 12. 2022]
- [116] GEOPORTAL PRAHA. *Otevřená data – protihlukové bariéry*. Institut plánování a rozvoje hl. m. Prahy, 2022. [online]. Dostupné z: <https://www.geoportalpraha.cz/cs/data/otevrena-data/5C8F3209-797D-4BB3-883C-C9E0EF3554B1> [cit. 3. 12. 2022]
- [117] IODA. *Délka protihlukových stěn na železniční síti SŽDC*. 2017. [online]. Dostupné z: http://data.ioda.cz/#ds=649s_all-all_dim1&d=tabulka [cit. 3. 12. 2022]
- [118] BERANOVSKÝ, J. *Potenciál střešních FVE o velikosti do 30 kWp v kraji Praha a jeho blízkém okolí*. EkoWATT CZ, 2021. [online]. Dostupné z: https://www.modernienergetika.cz/wp-content/uploads/2021/03/Jiri-Beranovsky_-EkoWATT.pdf [cit. 4. 12. 2022]
- [119] NOVÁK, J. *Výhřevnosti paliv*. TZB-info. [online]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/11-vyhrevnosti-paliv> [cit. 4. 12. 2022]
- [120] MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. *Výpočet úspor emisí oxidu uhličitého*. Leden 2006. [online]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/dokument6794.html> [cit. 4. 12. 2022]
- [121] SELECTRA CLIMATE CONSULTING. *How much CO₂ does a tree absorb?* 2022. [online]. Dostupné z: <https://climate.selectra.com/en/news/co2-tree> [cit. 4. 12. 2022]
- [122] MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. *Stanovení (výpočtu) t CO₂/MWh pro elektrinu (0,860), uvedeného v příloze č. 8 vyhlášky č. 140/2021 Sb.* [online]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/rozcestnik/ministerstvo/aplikace-zakona-c-106-1999-sb/informace-zverejnovane-podle-paragrafu-5-odstavec-3-zakona/stanoveni-vypoctu-t-co2-mwh-pro-elektřinu-0-860--uvedeneho-v-priloze-c-8-vyhlaske-c-140-2021-sb---261404> [cit. 4. 12. 2022]
- [123] KURZY.CZ. *Cena emisních povolenek*. [online]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/komodity/emisni-povolanky-cena/> [cit. 10. 12. 2022]
- [124] GIMP. *GNU Image Manipulation Program*. [online]. Dostupné z: <https://www.gimp.org/about/> [cit. 6. 12. 2022]
- [125] TRANSINFO.DE. *Österreich: Abschaffung des Nacht-60ers. Zeitgemäße Regelungen laut WKO längst überfällig*. 2019. [online]. Dostupné z: <https://trans.info/de/oesterreich-abschaffung-des-nacht-60ers-zeitgemaesse-regelungen-laut-wko-laengst-ueberfaellig-122717> [cit. 6. 12. 2022]
- [126] KURIER.AT. *Autobahnen: 28 Millionen Euro für Lärmschutzmaßnahmen*. 2018. [online]. Dostupné z: <https://kurier.at/chronik/oesterreich/autobahnen-28-millionen-euro-fuer-laermschutzmassnahmen/400039921> [cit. 6. 12. 2022]
- [127] RAIL CARGO GROUP. *Přeprava kamionů po železnici jako součást plánu obsahujícího 10 bodů*. ÖBB. [online]. Dostupné z: <https://www.railcargo.com/cs/news/preprava-kamionu-po-zeleznici> [cit. 6. 12. 2022]
- [128] CESTNÁ DATABANKA. *Dáta centrální technické evidencie pozemných komunikácií*. Slovenská správa ciest, 2022. [online]. Dostupné z: <https://www.cdb.sk/sk/statisticke-vystupy/2022.alej> [cit. 6. 12. 2022]
- [129] BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR. *Statistik des Lärmschutzes an Bundesfernstraßen 2017 – 2018 – 2019*. 2021. [online]. Dostupné z: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/StB/statistik-des-laermschutzes-an-bundesfernstrassen.pdf> [cit. 6. 12. 2022]
- [130] POLSKI KONGRES DROGOWY. *Sytuacja rynkowa, ograniczenia i sposoby działań w celu akceptacji ekranów akustycznych w Polsce*. 2019. [online]. Dostupné z: <https://kongresdrogowy.pl/474-sytuacja-rynkowa-ograniczenia-i-sposoby-dzialan-w-celu-akceptacji-ekranow-akustycznych-w-polsce/> [cit. 6. 12. 2022]
- [131] ELBERS, F. *Control of Large Scale Noise Impact of Railway Lines: Overview of Results in the Netherlands and Europe*. dBvision. [online]. Dostupné z: <https://www.dbvision.nl/bestanden/overons/publicaties/2000/stpeter.htm> [cit. 6. 12. 2022]

- [132] GOOGLE. *Google Maps – Street View*. [online]. Dostupné z: <https://www.google.com/maps> [cit. 8. 12. 2022]
- [133] EUROPEAN COMMISSION JRC. *Photovoltaic Geographical Information System*. [online]. Dostupné z: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-photovoltaic-geographical-information-system_en [cit. 8. 12. 2022]
- [134] CROWELL, CH. *Centralized vs. decentralized inverters: Keys to the decision*. Solar Builder Magazine, 2015. [online]. Dostupné z: <https://solarbuildermag.com/featured/centralized-decentralized-inverters/> [cit. 11. 12. 2022]
- [135] FRONIUS SOLAR ENERGY. *Fronius Tauro Eco*. [online]. Dostupné z: <https://www.fronius.com/cs-cz/czech-republic/solarni-energie/instalacni-firmy-a-partneri/technicke-udaje/v%C5%A1echny-v%C3%BDrobky/st%C5%99%C3%ADda%C4%8D/fronius-tauro-eco/tauro-eco-100-3-p> [cit. 11. 12. 2022]
- [136] ECOPRODUKT. *Třífázový měnič GoodWe 50K-MT 50kW 4x MPPT*. [online]. Dostupné z: <https://ecoproduct.cz/p/81379-trifazovy-menic-goodwe-50k-mt-50kw-4x-mppt-a-wifi-21346> [cit. 11. 12. 2022]
- [137] OPERÁTOR TRHU S ELEKTRĚNOU. *Přepočtené TDD*. [online]. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/typove-diagramy-dodavek-elekriny/prepoctene-tdd?date=2023-01-01> [cit. 12. 12. 2022]
- [138] OPERÁTOR TRHU S ELEKTRĚNOU. *Roční zpráva o trhu 2021*. [online]. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/rocn-zprava?date=2021-01-01> [cit. 12. 12. 2022]
- [139] ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD. *Databáze demografických údajů za obce ČR - územní změny, počty obyvatel, narození, zemřelí, stěhování (1971-2021)*. [online]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/databaze-demografickych-udaju-za-obce-cr> [cit. 15. 12. 2022]
- [140] KREJCAR, R. *Typy měření v elektroenergetice, metodika TDD*. Rozvoj energetických systémů. Přednáška. FEL ČVUT, Praha. 2021. [online]. Dostupné z: <https://moodle.fel.cvut.cz/course/view.php?id=6104> [cit. 15. 12. 2022]
- [141] TZB-INFO. *Cena elektřiny 2023 - srovnání E.ON, PRE, ČEZ*. [online]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii/14-ceny-elekriny> [cit. 17. 12. 2022]
- [142] NANO GREEN. *Ceníky elektřina – výkup elektřiny 2022*. [online]. Dostupné z: <https://www.nanogreen.cz/ceniky> [cit. 17. 12. 2022]
- [143] ČEZ DISTRIBUCE. *Pásma platnosti vysokého tarifu a nízkého tarifu*. [online]. Dostupné z: https://www.cezdistribuce.cz/webpublic/file/edee/distribuce/cezdistribuce_pasmaplatnostintavt_prubehove_mereni.pdf [cit. 17. 12. 2022]
- [144] SECTRON. *Olife Energy Stojanová dobíjecí stanice DC 50kW*. [online]. Dostupné z: <https://eshop.sectron.cz/cs/olife-energy-stojanova-dobijeci-stanice-dc-50kw-kabel-ccs-4m/p-15184/> [cit. 18. 12. 2022]
- [145] E.ON. *Ceník dobíjení v síti dobíjecích stanic E.ON Drive CZ*. [online]. Dostupné z: https://www.eon-drive.cz/wp-content/uploads/2022/12/221201_Cenik-dobijeni-E.ON-Drive.pdf [cit. 18. 12. 2022]
- [146] NREL. *Cost Projections for Utility-Scale Battery Storage*. [online]. Dostupné z: <https://www.nrel.gov/docs/fy21osti/79236.pdf> [cit. 20. 12. 2022]
- [147] EVSE.AU. *Tesla Model 3 Charging Efficiency*. [online]. Dostupné z: <https://evse.com.au/blog/tesla-model-3-charging-efficiency-close-to-10km-kwh-of-charging-and-climbing/> [cit. 22. 12. 2022]
- [148] U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. *Hydrogen Storage Cost Analysis*. Hydrogen Program, June 2022. [online]. Dostupné z: https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/review22/st235_houchins_2022_p.pdf [cit. 22. 12. 2022]
- [149] DEMACO CRYOGENICS. *The energy density of hydrogen*. [online]. Dostupné z: <https://demaco-cryogenics.com/blog/energy-density-of-hydrogen/> [cit. 22. 12. 2022]
- [150] ENE FIELD. *Fuel cells and Combined Heat Power Technology*. [online]. Dostupné z: <http://enefield.eu/category/field-trials/technology/> [cit. 22. 12. 2022]
- [151] JONSSON, F., MILJANOVIC, A. *Utilization of Waste Heat from Hydrogen Production*. Mälardalen University. [online]. Dostupné z: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1670187/FULLTEXT01.pdf> [cit. 22. 12. 2022]
- [152] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Přehled účinných soustav zásobování tepelnou energií*. Červen 2022. [online]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/prehled-ucinnych-soustav-zasobovani-teplnou-energii-2021> [cit. 22. 12. 2022]
- [153] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Předběžné ceny tepelné energie v ČR*. Listopad 2022. [online]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/predbezne-ceny-tepelne-energie-v-cr-k-1-1-2022> [cit. 22. 12. 2022]
- [154] AWOE. *Life Cycle Analysis of hydrogen storage tanks*. [online]. Dostupné z: <http://www.awoe.net/Hydrogen-Storage-LCA.html> [cit. 22. 12. 2022]

- [155] STARÝ, O. *Model oceňování kapitálových aktiv (CAPM)*. Finanční management. Přednáška. FEL ČVUT, Praha, 2021. <https://moodle.fel.cvut.cz/course/view.php?id=5800> [cit. 22. 12. 2022]
- [156] ČESKÁ NÁRODNÍ BANKA. *Seznam emitovaných pokladničních poukázek a poukázek ČNB*. [online]. Dostupné z: <https://www.cnb.cz/cs/financni-trhy/trh-statnich-dluhopisu/kratkodobe-dluhopisy-spp/seznam-emitovanych-pokladnicnich-poukazek-a-poukazek-cnb/> [cit. 27. 12. 2022]
- [157] ČESKÁ NÁRODNÍ BANKA. *Krátkodobé dluhopisy – historie aukcí SPP*. [online]. Dostupné z: <https://www.cnb.cz/cs/financni-trhy/trh-statnich-dluhopisu/kratkodobe-dluhopisy-spp/> [cit. 27. 12. 2022]
- [158] DAMODARAN ONLINE. *Current Data – Risk/Discount Rate Estimation*. January 2022. [online]. Dostupné z: <https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/> [cit. 27. 12. 2022]
- [159] ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD. *Inflace, spotřebitelské ceny*. [online]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/inflace-spotrebitelske-ceny> [cit. 27. 12. 2022]
- [160] ČESKÁ NÁRODNÍ BANKA. *Měnová politika - Inflační cíl*. [online]. Dostupné z: <https://www.cnb.cz/cs/menova-politika/inflacni-cil/> [cit. 27. 12. 2022]
- [161] STARÝ, O. *Inflace, citlivostní analýza a rozhodovací stromy*. Finanční management. Přednáška. FEL ČVUT, Praha, 2021. <https://moodle.fel.cvut.cz/course/view.php?id=5800> [cit. 22. 12. 2022]
- [162] ZÁKONY PRO LIDI. *Zákon č. 586/1992 Sb. České národní rady o daních z příjmů*. [online]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1992-586> [cit. 28. 12. 2022]
- [163] KOMORA OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ ENERGIE. *Souhrnné doporučení z projektu Komory obnovitelných zdrojů energie „Analýza potenciálu, scénářů a návrh využití decentralizovaných obnovitelných zdrojů pro rozšíření sítě nabíjecích a plnicích stanic“*. 2021. [online]. Dostupné z: <http://www.komoraoze.cz/download/pdf/1.pdf> [cit. 30. 12. 2022]
- [164] VOTRUBA, S. *Úvod do Smart Grids*. Management a ekonomika energetických soustav. Přednáška. FEL ČVUT, Praha, 2021. [online]. Dostupné z: https://moodle.fel.cvut.cz/pluginfile.php/299566/mod_resource/content/1/SG_uvod_do_problematiky_Votruba.pdf [cit. 30. 12. 2022]
- [165] ČEZ PRODEJ. *Ceník elektřiny pro domácnosti – Elektřina pro soláry*. 2023. [online]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/elektrina-2023/moo/moo_ee_pro_solary_cez_01_01_23.pdf [cit. 3. 1. 2023]
- [166] MINISTERSTVO DOPRAVY. *Kritická analýza nových materiálů a nových tvarů vhodných pro protihlukové stěny a návrhy na jejich použití v železniční a silniční dopravě*. Centrum dopravního výzkumu. 2019. [online]. Dostupné z: https://www.mdcz.cz/getattachment/Dokumenty/Strategie/Hluk/Veda-a-vyzkum-z-hlediska-hluku/Projekt_MD_PHS_2019.pdf.aspx [cit. 3. 1. 2023]
- [167] SIEMENS. *Sylizer – další významný krok vpřed v rozvoji vodíkové energetiky*. [online]. Dostupné z: <https://www.visionsmag.cz/sylizer-dalsi-vyznamny-krok-vpred-v-rozvoji-vodikove-energetiky> [cit. 3. 1. 2023]
- [168] E.ON. *Je fotovoltaika výhodná a ekologická?* [online]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/radce/fotovoltaika> [cit. 4. 1. 2023]
- [169] PAVELKA, M. *Ekologické hříchy a naděje fotovoltaické energie*. [online]. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/ekologicke-hrichy-a-nadeje-fotovoltaiicke-energie> [cit. 4. 1. 2023]
- [170] WATTS, G. R., MORGAN, P. A. *Noise barrier review*. Transport Research Laboratory Limited, Wokingham, Berkshire, 2005. ISBN 1-84608-933-6.
- [171] PRASAD, D., SNOW, M. *Designing with Solar Power: A Source Book for Building Integrated Photovoltaics (BiPV)*. The Images Publishing Group Pty Ltd and Earthscan, London, 2005. ISBN 978-0367578084.
- [172] ADAMEC, V., et al. *Doprava, zdraví a životní prostředí*. Centrum dopravního výzkumu. Grada Publishing, Praha, 2008. ISBN 978-80-247-2156-9.
- [173] CHOLAVA, R., et al. *Metodika zpracování akčních plánů oro okolí hlavních silnic, hlavních železničních tratí a hlavních letišť*. Centrum dopravního výzkumu, Brno, 2008.
- [174] KREJČÍŘÍKOVÁ, H., ŠPAČKOVÁ, H. *Dopravní stavby: kolejová doprava*. Vydavatelství ČVUT, Praha. 2002. ISBN 80-01-02444.
- [175] BERÁNEK, L. *Snižování hluku*. Státní nakladatelství technické literatury, Praha. 1965.
- [176] NOVÝ, R. *Hluk a chvění*. 4. přeprac. vydání. Vydavatelství ČVUT, Praha. 2019. ISBN 978-80-01-06554-9.
- [177] FORSTER METALLBAU. *Aluminium Lärmschutz-Photovoltaik-Element beidseitig hochabsorbierend – FONOCON Silent Solar Typ WSB*. Katalogový list. Únor 2022.

PŘÍLOHA A: SEZNAM ZKRATEK (ŘAZEN PODLE ABECEDY)

AMM	Inteligentní měření spotřeby elektrické energie (advanced metering management)
AUD	Australský dolar
BD	Bytový dům
BESS	Bateriové úložiště (battery energy storage system)
BMS	Aktivní balancér bateriových článků (battery management system)
BOS	Ostatní komponenty fotovoltaické elektrárny mimo fotovoltaických modulů (balance of system)
CAPEX	Investiční náklady (capital expenditure)
CAPM	Model oceňování kapitálových aktiv (capital asset pricing model)
CDCF	Kumulovaný diskontovaný peněžní tok (cumulative discounted cash flow)
CF	Peněžní tok (cash flow)
ČEPS	Česká elektroenergetická přenosová soustava
ČSÚ	Český statistický úřad
DCF	Diskontovaný peněžní tok (discounted cash flow)
DoD	Omezení hloubky vybití bateriového úložiště (depth of discharge)
EAT	Zisk po odečtení daní (earnings after taxes)
EBIT	Zisk před odečtením úroků a daní (earnings before interest and taxes)
EBITDA	Zisk před odečtením úroků, daní a odpisů (earnings before interest, taxes, depreciation, and amortization)
EBT	Zisk před odečtením daní (earnings before taxes)
EEX	Evropská energetická burza (European Energy Exchange)
EPC	Financování energeticky úsporných opatření z budoucích úspor (energy performance contracting)
EPDM	Etylen-propylen-dien monomer kaučuk
ES	Elektrizační soustava
EU ETS	Evropský systém pro obchodování s emisemi (European Union Emissions Trading System)
EUA	Emisní povolenka Evropské unie (European Union Allowance)
FC	Fixní náklady (fixed cost)
FEDRO	Švýcarské federální ředitelství silnic
FEX	Palivové náklady (fuel expenditure)
FV	Fotovoltaika, fotovoltaický
FVE	Fotovoltaická elektrárna
FVPHS	Fotovoltaická protihluková stěna
HDO	Hromadné dálkové ovládání
IODA	Informace pro dopravní analýzy, z.s.
IRENA	Mezinárodní agentura pro obnovitelnou energii (International Renewable Energy Agency)
IRR	Vnitřní výnosová míra (internal rate of return)
JE	Jaderná elektrárna
KVET	Kombinovaná výroba elektřiny a tepla (kogenerace)
LCA	Metoda posuzování životního cyklu produktu nebo služby z hlediska jeho působení na životní prostředí (life cycle assessment)
LCOE	Dlouhodobé měrné náklady na výrobu energie (levelized cost of energy)
LNG	Zkapalněný zemní plyn (liquefied natural gas)
LRMC	Dlouhodobé marginální náklady (long-run marginal cost)

MC	Marginální náklady (marginal cost)
MPPT	Vyhledávání bodu maximálního výkonu ve voltampérové charakteristice (maximum power point tracking)
MRP	Tržní riziková prémie (market risk premium)
NAP	Národní akční plán
nn	Nízké napětí
NPV	Čistá současná hodnota (net present value)
NREL	Národní laboratoř pro obnovitelnou energii Ministerstva energetiky Spojených států (National Renewable Energy Laboratory)
NT	Nízký tarif
OM	Odběrné místo
OPEX	Provozní náklady (operating expenditure)
OTE	Operátor trhu s elektřinou
OZE	Obnovitelné zdroje energie
P2G	Použití elektrické energie k výrobě plyného paliva (power-to-gas)
PČR	Policie České republiky
PDS	Provozovatel distribuční soustavy
PEM	Protonově vodivá polymerní membrána elektrolyzéro (proton exchange membrane)
PHS	Protihluková stěna
POFL	Poskytovatel flexibility
PPA	Dlouhodobá smlouva o dodávce obnovitelné energie za pevnou či indexovanou cenu (power purchase agreement)
PPE	Paroplynová elektrárna
PpS	Podpůrné služby
PPS	Provozovatel přenosové soustavy
PRE	Pražská energetika, a.s.
PVE	Přečerpávací vodní elektrárna
PVGIS	Fotovoltaický geografický informační systém (Photovoltaic Geographical Information System)
RD	Rodinný dům
ŘSD	Ředitelství silnic a dálnic
SEK	Státní energetická koncepce
SG	Chytrá síť (smart grid)
SRMC	Krátkodobé marginální náklady (short-run marginal cost)
SSÚD	Středisko správy a údržby dálnice ŘSD
SZTE	Soustava zásobování tepelnou energií
SŽ	Správa železnic
TSK	Technická správa komunikací hl. m. Prahy, a.s.
T _ž	Doba životnosti
VC	Variabilní náklady (variable cost)
VT	Vysoký tarif
WACC	Vážená průměrná cena kapitálu (weighted average cost of capital)
Wh	Wathodina (jednotka energie)
Wp	Watt-peak (jednotka instalovaného špičkového výkonu)
ŽPSV	Železniční průmyslová stavební výroba Uherský Ostroh, a.s.

PŘÍLOHA B: SEZNAM OBRÁZKŮ

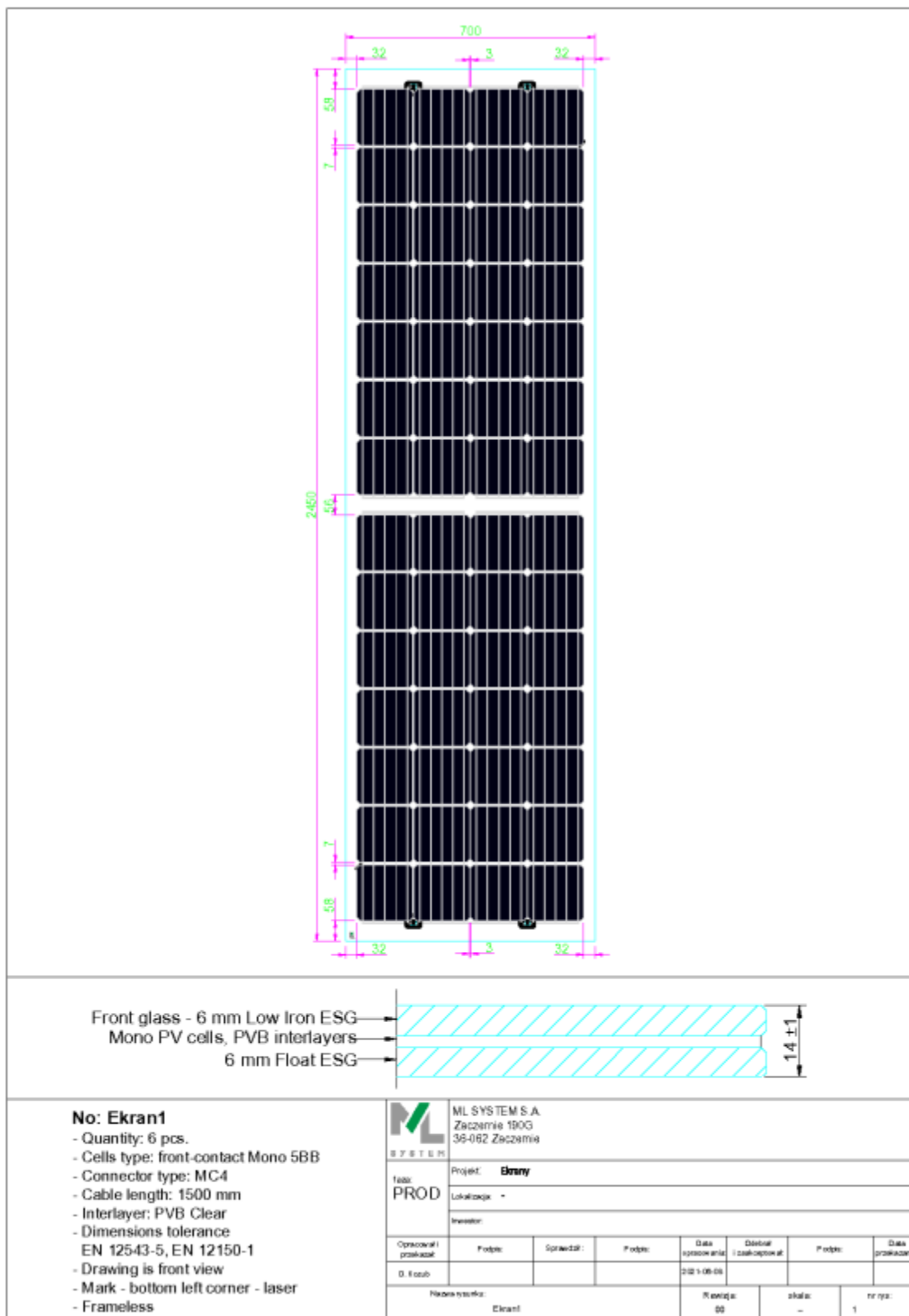
Obr. 1 Vývoj ceny FV modulů v závislosti na rostoucím instalovaném výkonu FVE ve světě mezi lety 1976 až 2019 ^[20]	3
Obr. 2 Vývoj cen jednotlivých složek nákladů na výstavbu nového instalovaného výkonu FVE mezi lety 2010 až 2020 ^[28]	4
Obr. 3 Vývoj LCOE jednotlivých typů elektráren mezi lety 2009 až 2019 ^[20]	6
Obr. 4 Vývoj ceny lithium-iontových baterií mezi lety 1992 až 2016 ^[20]	7
Obr. 5 Zjednodušené schéma vztahů na trhu s Podpůrnými službami s obchodníkem a nezávislým agregátorem při zúčtování skutečně poskytnuté flexibility s využitím podružného měření ^[42]	12
Obr. 6 Merit order effect ^[50]	14
Obr. 7 Systémová metoda výpočtu marginálních nákladů (upraveno) ^[51]	15
Obr. 8 Hodnocení území pro realizaci FVE z hlediska limitů ochrany přírody a krajiny ^[60]	22
Obr. 9 Fotovoltaická protihluková stěna ve Švýcarsku ^[2]	23
Obr. 10 Montáž fotovoltaické protihlukové stěny na dálnici A9 v Nizozemsku ^[82]	25
Obr. 11 Fotovoltaické moduly na prefabrikované betonové protihlukové stěně v Melbourne (Austrálie) ^[68]	26
Obr. 12 Běžnou údržbu fotovoltaického systému lze provádět na straně protihlukové stěny mimo silnici ^[68]	27
Obr. 13 Mapa intenzity globálního slunečního záření na území ČR ^[70]	28
Obr. 14 Podíly instalovaných technologií FVE článků v Německu mezi lety 2012 až 2022 (v GW) ^[73]	29
Obr. 15 Porovnání klasických (vlevo) a half-cell fotovoltaických modulů ^[74]	30
Obr. 16 Porovnání schématu zapojení klasického (vlevo) a half-cell fotovoltaického modulu ^[74]	31
Obr. 17 MPPT regulace ^[78]	33
Obr. 18 Bateriové úložiště společnosti ČEZ v Tušimicích ^[80]	34
Obr. 19 Rozdělení zdrojů hluku ^[172]	37
Obr. 20 Bilance akustické energie při dopadu zvukové vlny na stěnu ^[85]	40
Obr. 21 Strategická hluková mapa Prahy (hlukový ukazatel L_{dvn}) ^[96]	42
Obr. 22 Strategická hluková mapa úseku dálnice D11 u obce Osice (hlukový ukazatel L_{dvn}) s vyznačenými protihlukovými stěnami a jejich patrným vlivem na šíření hluku ^[98]	43
Obr. 23 Protihluková stěna – charakteristický příčný řez ^[61]	45
Obr. 24 Charakteristické výšky z hlediska akustiky (umístění protihlukové clony – osobní vozidla) ^[61]	45
Obr. 25 Betonová protihluková stěna ŽPSV SILENT ^[101]	46
Obr. 26 Betonová protihluková stěna Liadur ^[102]	46
Obr. 27 Transparentní protihluková stěna MOSEV ^[103]	47
Obr. 28 Vrchní konstrukce (typ 1) ^[107]	49
Obr. 29 Řadová konstrukce (typ 2) ^[107]	50
Obr. 30 Vertikální V-Z konstrukce (typ 3) ^[107]	50
Obr. 31 Vertikální bifaciální S-J konstrukce (typ 4) ^[107]	51
Obr. 32 Horizontální klikatá konstrukce (typ 5) ^[107]	51
Obr. 33 Kazetová konstrukce (typ 6) ^[107]	52
Obr. 34 Hliníkový protihlukový oboustranně vysoce pohlcující panel Forster FONOCON Silent Solar WSB700 s nosnou konstrukcí pro fotovoltaické moduly ^[177]	53
Obr. 35 Fotovoltaická protihluková stěna v Rakousku na silničním obchvatu města Wieselburg – kazetová konstrukce (typ 6) Forster FONOCON Silent Solar s FV moduly [autor]	54
Obr. 36 Fotovoltaická protihluková stěna v Rakousku na silničním obchvatu města Wieselburg – venkovní rozvaděčová skříň se střídačem [autor]	55
Obr. 37 Příklad fotovoltaické protihlukové stěny s trojřadou kazetovou konstrukcí Forster FONOCON Silent Solar na železnici v Rakousku ^[108]	56
Obr. 38 Trojrozměrná vizualizace fotovoltaické protihlukové stěny společnosti KuPr System s konfigurací typu 1 (vrchní konstrukce) ^[112]	57

Obr. 39 Trojrozměrná vizualizace fotovoltaické protihlukové stěny s kazetovou konstrukcí Forster FONOCON Silent Solar pro účel stanovení teoretického potenciálu instalovaného výkonu [autor]	61
Obr. 40 Ilustrace vyloučených kruhových výsečí (černé) směru protihlukových stěn pro účel stanovení technického potenciálu instalovaného výkonu fotovoltaických protihlukových stěn [autor]	61
Obr. 41 Satelitní snímek odpočívky na dálnici D11 v obci Osice s vyznačenými protihlukovými stěnami (černé) a se zvýrazněnou částí stěny a prostorem vyhrazeným pro pilotní projekt FVPHS [zdroj: ŘSD]	64
Obr. 42 Trojrozměrná vizualizace (fotomontáž) návrhu pilotního projektu FVPHS na odpočívce dálnice D11 v obci Osice s protihlukovými panely Forster FONOCON Silent Solar (přední pohled) [autor]	65
Obr. 43 Trojrozměrná vizualizace (fotomontáž) návrhu pilotního projektu FVPHS na odpočívce dálnice D11 v obci Osice s protihlukovými panely Forster FONOCON Silent Solar (boční pohled) [autor]	65
Obr. 44 Satelitní snímek s vyznačenou délkou protihlukové stěny na dálnici D5 u obce Svojkovice uvažované pro ekonomický model projektu FVPHS ^[132]	67
Obr. 45 Pohled z dálnice D5 u obce Svojkovice na protihlukovou stěnu uvažovanou pro ekonomický model projektu FVPHS ^[132]	68
Obr. 46 Trojrozměrná vizualizace (fotomontáž) uvažovaného projektu FVPHS pro ekonomický model na dálnici D5 u obce Svojkovice s protihlukovými panely Forster FONOCON Silent Solar (pohled ze strany mimo dálnici) [autor] s využitím Google Street View ^[132]	68
Obr. 47 Graf predikce elektrické energie vyrobené fotovoltaickou protihlukovou stěnou s danými parametry ve zkoumané lokalitě v jednotlivých měsících [autor] s využitím dat z PVGIS ^[133]	70
Obr. 48 Denní profil předpokládaného slunečního záření ve zkoumané lokalitě v dubnu ^[133]	71
Obr. 49 Denní diagram předpokládané výroby a spotřeby energie ve zkoumané lokalitě v lednu [autor] s využitím dat PVGIS ^[133] a TDD ^[137]	71
Obr. 50 Denní diagram předpokládané výroby a spotřeby energie ve zkoumané lokalitě v dubnu [autor] s využitím dat PVGIS ^[133] a TDD ^[137]	72
Obr. 51 Denní diagram předpokládané výroby a spotřeby energie ve zkoumané lokalitě v červenci [autor] s využitím dat PVGIS ^[133] a TDD ^[137]	72
Obr. 52 Denní diagram předpokládané výroby a spotřeby energie ve zkoumané lokalitě v říjnu [autor] s využitím dat PVGIS ^[133] a TDD ^[137]	72
Obr. 53 Předpokládaný diagram spotřeby OM s distribuční sazbou elektřiny D01d podle TDD4 za rok 2021 – hodnoty denně [autor] s využitím dat TDD ^[137]	74
Obr. 54 Předpokládaný diagram spotřeby OM s distribuční sazbou elektřiny D01d podle TDD4 za rok – hodnoty měsíčně [autor] s využitím dat TDD ^[137]	74
Obr. 55 Předpokládaný diagram zatížení dne s maximální a dne s minimální spotřebou OM s distribuční sazbou elektřiny D01d podle TDD4 za rok 2021 [autor] s využitím dat TDD ^[137]	75
Obr. 56 . Ukázka predikce využití bateriového úložiště v projektu s dobíjecí stanicí pro elektromobily v průběhu dne v říjnu [autor]	82
Obr. 57 . Graf peněžních toků, diskontovaných peněžních toků a kumulovaných diskontovaných peněžních toků v jednotlivých letech doby životnosti varianty projektu 2B (využití vyrobené elektřiny z FVPHS v rámci energetické komunity) [autor]	86
Obr. 58 . Graf citlivostní analýzy vlivu eskalace ceny elektřiny (ceny pro konečné spotřebitele i velkoobchodní ceny) na NPV všech variant projektu [autor]	88
Obr. 59 . Graf citlivostní analýzy vlivu eskalace prodejní ceny přebytků elektřiny na NPV variant projektu 2A a 2B (využití vyrobené elektřiny z FVPHS v rámci energetické komunity) [autor]	89
Obr. 60 . Graf citlivostní analýzy vlivu roční degradace výkonu FV modulů na NPV variant projektu 2A a 2B (využití vyrobené elektřiny z FVPHS v rámci energetické komunity) [autor]	90
Obr. 61 . Graf citlivostní analýzy vlivu ceny FV modulu na NPV variant projektu B (varianty s vrchní nosnou konstrukcí) [autor]	91
Obr. 62 . Graf citlivostní analýzy vlivu pořizovací ceny dobíjecí stanice pro elektromobily na NPV variant projektu 3, 4, 5 a 6 (využití vyrobené elektřiny z FVPHS v dobíjecích stanicích pro elektromobily) [autor]	91
Obr. 63 . Graf citlivostní analýzy vlivu meziroční míry inflace na NPV variant projektu 2A a 2B (využití vyrobené elektřiny z FVPHS v rámci energetické komunity) [autor]	92
Obr. 64 . Graf citlivostní analýzy vlivu reálného diskontu na NPV variant projektu 2A a 2B (využití vyrobené elektřiny z FVPHS v rámci energetické komunity) [autor]	93

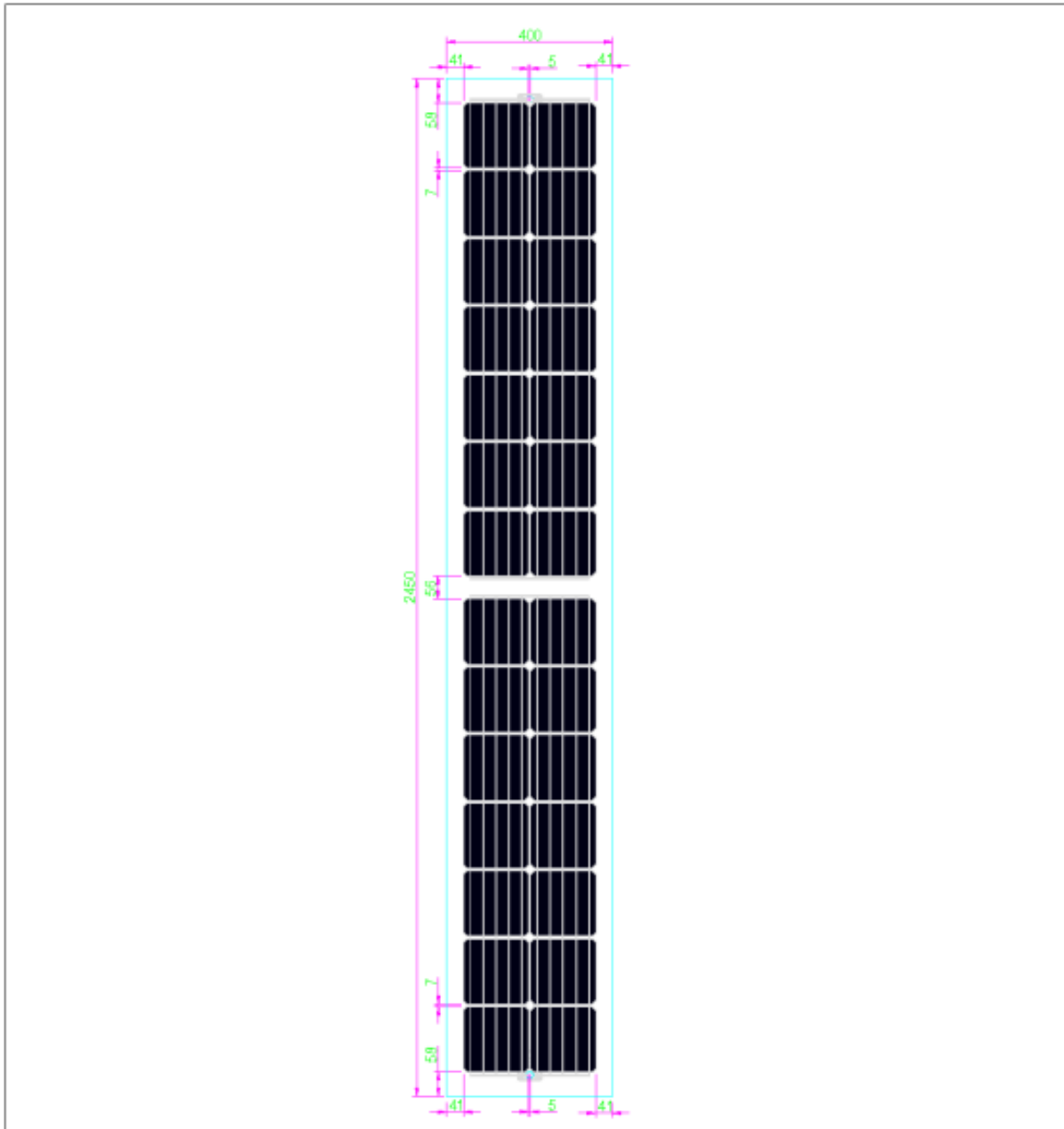
PŘÍLOHA C: SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Předpokládané přírůstky instalovaného výkonu v letech 2021-2030 pro VTE, FVE, MVE v rámci přípravy návrhu nového Vnitrostátního plánu v oblasti energetiky a klimatu ^[57]	20
Tab. 2 Technologie baterií a jejich vlastnosti ^[81]	35
Tab. 3 Porovnání možného instalovaného výkonu FV modulů na délku fotovoltaické protihlukové stěny podle variant konfigurace nosné konstrukce [autor]	58
Tab. 4 Technický potenciál instalovaného výkonu a ušetřených emisí CO ₂ fotovoltaické protihlukové stěny [autor]	63
Tab. 5 Přehled stanoveného technického potenciálu instalovaného výkonu fotovoltaických protihlukových stěn ve všech zkoumaných státech [autor]	66
Tab. 6 Nákupní a prodejní cena elektřiny pro variantu 2 v příslušných distribučních sazbách podle platného ceníku ČEZ Prodej, a.s. ^[141] a Nano Energies, a.s. ^[142]	81
Tab. 7 Shrnutí všech zkoumaných variant využití energie pro snazší orientaci	84
Tab. 8 Výsledky modelu ekonomické efektivity pro jednotlivé varianty [autor]	85
Tab. 9 Dvoudimenzionální citlivostní analýza vlivu predikce počtu zákazníků za měsíc a predikce energie dobité zákazníkem při jedné návštěvě na NPV varianty 6B (využití vyrobené elektřiny z FVPHS v dobíjecích stanicích pro elektromobily s virtuálními bateriemi – produkt Elektřina pro soláry od ČEZ) [autor]	94

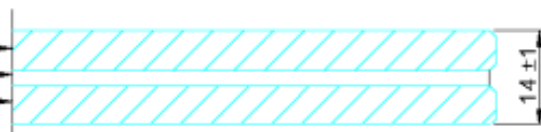
PŘÍLOHA D: FOTOVOLTAICKÉ MODULY S ATYPICKÝMI ROZMĚRY PRO FOTOVOLTAICKOU PROTIHLUKOVOU STĚNU S NOSNOU KONSTRUKCÍ VARIANTY A (FORSTER FONOCON SILENT SOLAR)



Obr. D-1 FV modul sklo-sklo (bezrámový) od společnosti ML System s atypickými rozměry na míru (šířka 700 mm) [111]



Front glass - 6 mm Low Iron ESG
 Mono PV cells, PVB interlayers
 6 mm Float ESG



No: Ekran2

- Quantity: 6 pcs.
- Cells type: front-contact Mono 5BB
- Connector type: MC4
- Cable length: 700 mm
- Interlayer: PVB Clear
- Dimensions tolerance EN 12543-5, EN 12150-1
- Drawing is front view
- Mark - bottom left corner - laser
- Frameless




ML SYSTEM S.A.
 Zbuczynie 190G
 36-062 Zbuczynie

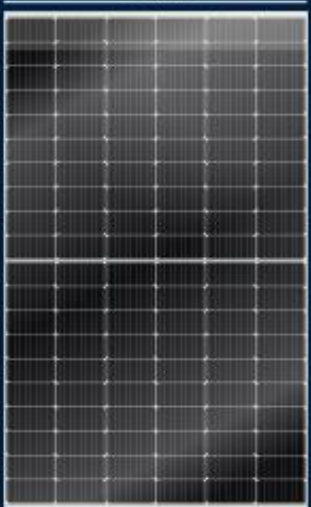
Izrael PROD		Projekt: Ekran2					
Lokalizacja: -		Inwestor:					
Opracował i przekazał:	Podpis:	Sprawdził:	Podpis:	Data opracowania:	Dzielnica / zakładowca:	Podpis:	Data przekazania:
D. Kozub				2021-05-06			
Nazwa rysunku: Ekran2				Revizja: 00	skala: -	nr rys: 1	

Obr. D-2 FV modul sklo-sklo (bezrámový) od spoločnosti ML System s atypickými rozměry na míru (šířka 400 mm) [111]

PŘÍLOHA E: FOTOVOLTAICKÉ MODULY SE STANDARDNÍMI ROZMĚRY PRO FOTOVOLTAICKOU PROTIHLUKOVOU STĚNU VARIANTY B

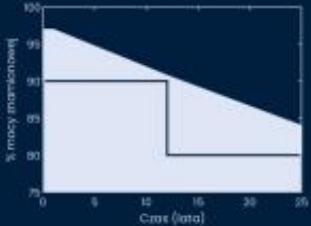


1134 mm



1910 mm

Gwarancja mocy



% mocy (mierzona)
Czas (lata)

MODUŁ FOTOWOLTAICZNY MONO HALF-CUT

TYP: ML-S6MF/TI-460-120M10
SERIA: ML-S6MF/TI-460-120M10/220811001
RODZINA: MOF1000

MATERIAŁY I PARAMETRY MECHANICZNE

Ogniwa monokrystaliczne	120 pcs. front contact busbar: 9 szt. rozmiar: 166x83cm±0.5 mm
Kolor ogniw	czarne
Szkło frontowe	3.2mm Low Iron ESG
Pokrycie tylne	tedlar
Enkapsulant	EVA
Rodzaj ramki	Aluminium
Wymiary	1134x1910±5 mm
Waga	29±0.5 kg
Puszka przyłączeniowa	IP67, konektor MC-4 compatible

WARUNKI PRACY

Temperatura otoczenia	-45 do 85 °C
Maks. obciążenie (parcie/ssanie)	5400/2400 Pa
Odporność na uderzenia	grad: 25 mm, 23 m/s, 7.5 g
Klasa ochrony	klasa II (klasa zastosowania A)

PARAMETRY ELEKTRYCZNE

ZMIERZONO W WARUNKACH STC (Gdzie: PROMIENIOWANIE 1000 W/m², AM1.5, TEMPERATURA 25°C, TOLERANCJA PARAMETRÓW ELEKTRYCZNYCH 3%, POZYTYWNA TOLERANCJA MOCY

Moc znamionowa	P_{MPP}	460 W
Sprawność modułu	η_{module}	21.2 %
Napięcie pracy	V_{MPP}	35.3 V
Napięcie obwodu otwartego	V_{OC}	41.9 V
Prąd pracy	I_{MPP}	13.03 A
Prąd zwarcia	I_{SC}	13.8 A
Współczynnik wypełnienia	FF	79.6 %
Napięcie systemowe	V_{SYS}	1500 V
Dopuszczalny prąd wsteczny	OCV	25 A
Wsp. temp. prądu	TCI	0.05 %/°C
Wsp. temp. napięcia	TCV	-0.29 %/°C
Wsp. temp. mocy	TCP	-0.34 %/°C

CERTYFIKATY, GWARANCJE

Zgodność z normami	IEC 61215, IEC 61730, IEC 62716, IEC 61701, IEC 62804
Certyfikaty jakości fabryki	ISO 9001, ISO 14001, ISO 50001, ISO 45001
Gwarancja na moc	12 lat - 10%, 25 lat - 17%
Gwarancja na produkt	12 lat

Wraz z postępem technologicznym zmianie mogą ulec parametry końcowe produktu. ML System zastrzega sobie prawo do ich wprowadzenia bez konieczności wcześniejszego o tym powiadomienia.



PŘÍLOHA F: VÝSLEDKY MODELU VÝROBY ENERGIE

PVGIS-5 estimates of solar electricity generation:

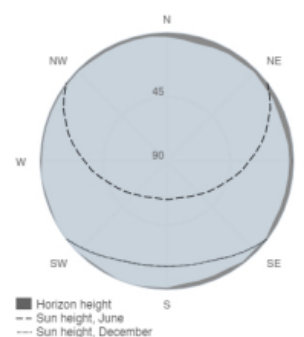
Provided inputs:

Latitude/Longitude: 49.765,13.644
 Horizon: Calculated
 Database used: PVGIS-SARAH2
 PV technology: Crystalline silicon
 PV installed: 54.34 kWp
 System loss: 14 %

Simulation outputs

Slope angle: 35 (opt) °
 Azimuth angle: -41 °
 Yearly PV energy production: 52780.67 kWh
 Yearly in-plane irradiation: 1259.87 kWh/m²
 Year-to-year variability: 3030.48 kWh
 Changes in output due to:
 Angle of incidence: -3.07 %
 Spectral effects: 1.71 %
 Temperature and low irradiance: -9.06 %
 Total loss: -22.9 %

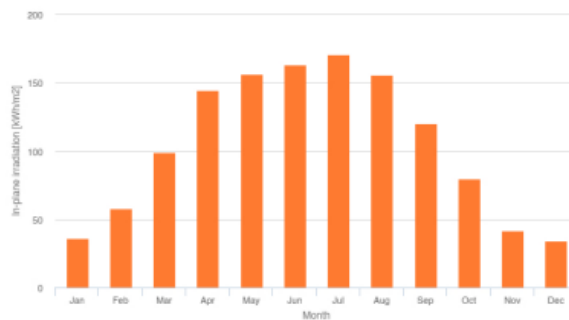
Outline of horizon at chosen location:



Monthly energy output from fix-angle PV system:



Monthly in-plane irradiation for fixed-angle:



Monthly PV energy and solar irradiation

Month	E_m	H(i)_m	SD_m
January	1646.0	36.4	358.1
February	2640.2	58.1	576.9
March	4326.5	98.9	849.1
April	6112.5	144.7	1053.7
May	6517.3	156.2	922.6
June	6629.2	163.1	605.0
July	6839.8	170.9	748.9
August	6284.2	155.7	652.9
September	5011.4	120.3	662.9
October	3408.5	79.5	650.9
November	1837.0	41.8	311.5
December	1528.0	34.3	326.7

E_m: Average monthly electricity production from the defined system [kWh].
 H(i)_m: Average monthly sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system [kWh/m²].
 SD_m: Standard deviation of the monthly electricity production due to year-to-year variation [kWh].

Obr. F-1 Výstupní protokol aplikace PVGIS pro variantu A (FV systém s výkonem 54,34 kWp) [133]

PVGIS-5 estimates of solar electricity generation:

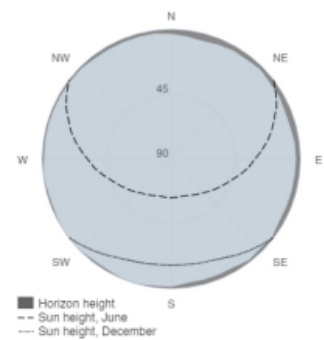
Provided inputs:

Latitude/Longitude: 49.765,13.644
 Horizon: Calculated
 Database used: PVGIS-SARAH2
 PV technology: Crystalline silicon
 PV installed: 57.04 kWp
 System loss: 14 %

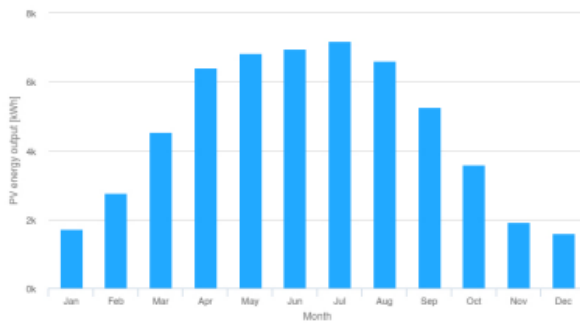
Simulation outputs

Slope angle: 35 (opt) °
 Azimuth angle: -41 °
 Yearly PV energy production: 55403.19 kWh
 Yearly in-plane irradiation: 1259.87 kWh/m²
 Year-to-year variability: 3181.05 kWh
 Changes in output due to:
 Angle of incidence: -3.07 %
 Spectral effects: 1.71 %
 Temperature and low irradiance: -9.06 %
 Total loss: -22.9 %

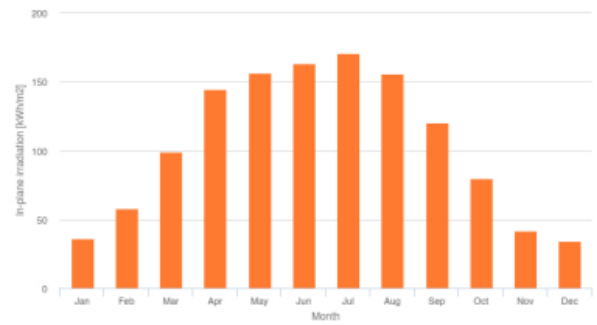
Outline of horizon at chosen location:



Monthly energy output from fix-angle PV system:



Monthly in-plane irradiation for fixed-angle:







Monthly PV energy and solar irradiation

Month	E_m	H(i)_m	SD_m
January	1727.8	36.4	375.9
February	2771.4	58.1	605.5
March	4541.4	98.9	891.3
April	6416.2	144.7	1106.1
May	6841.1	156.2	968.5
June	6958.6	163.1	635.1
July	7179.7	170.9	786.1
August	6596.5	155.7	685.3
September	5260.4	120.3	695.8
October	3577.9	79.5	683.3
November	1928.2	41.8	327.0
December	1603.9	34.3	343.0

E_m: Average monthly electricity production from the defined system [kWh].
 H(i)_m: Average monthly sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system [kWh/m²].
 SD_m: Standard deviation of the monthly electricity production due to year-to-year variation [kWh].

Obr. F-2 Výstupní protokol aplikace PVGIS pro variantu B (FV systém s výkonem 57,04 kWp) [133]

PŘÍLOHA G: SEZNAM VYBRANÝCH ZAHRANIČNÍCH PROJEKTŮ FOTOVOLTAICKÝCH PROTİHLUKOVÝCH STĚN (ŘAZENO PODLE INSTALOVANÉHO VÝKONU)

Instalovaný výkon	Umístění ¹³	Popis ¹⁴	Rok realizace	Fotografie
2.65 MWp	Německo, <i>Aschaffenburg</i>	Protihluková stěna na dálnici A3 Zdroj obrázku: Viridi RE Group ^[86]	2009	
1 MWp	Německo, <i>Bollberg</i>	Protihluková stěna na dálnici	2015	
1 MWp	Německo, <i>Töging am Inn</i>	Protihluková stěna na dálnici A94	2007	
833 kWp	Itálie, <i>Oppeano</i>	Protihluková stěna na dálnici S.S. 434 Transpolesana Zdroj obrázku: FAR Systems ^[87]	2010	
730 kWp	Itálie, <i>Marano d'Isera</i>	Protihluková stěna na dálnici A22 Zdroj obrázku: FAR Systems ^[87]	2009	
600 kWp	Německo, <i>Freising (Mnichov)</i>	Protihluková stěna na dálnici A92 Zdroj obrázku: Gehrlicher Solar ^[88]	2009	
365 kWp	Německo, <i>Freiburg</i>	Protihluková stěna na dálnici B31	2006	

¹³ Instalovaný výkon je udáván jako souhrnný výkon stejnosměrných obvodů FV modulů.

¹⁴ Ne všechny uvedené fotovoltaické protihlukové stěny jsou stále v provozu, ani se nejedná o seznam všech fotovoltaických protihlukových stěn ve světě.

283 kWp	Německo, <i>Bürstadt</i>	Protihluková stěna na dálnici B57 Zdroj obrázku: SolarArt [89]	2010	
216 kWp	Nizozemsko, <i>Amstelveen</i>	Protihluková stěna na dálnici A9 Zdroj obrázku: pvresources [90]	1998	
180 kWp	Německo <i>Vaterstetten</i>	Protihluková stěna na železnici	2004	
123 kWp	Švýcarsko, <i>Melide</i>	Protihluková stěna na dálnici Gotthard	2007	
104 kWp	Švýcarsko, <i>Giebenach</i>	Protihluková stěna na dálnici A2	1995	
103 kWp	Švýcarsko, <i>Domat/Ems</i>	Protihluková stěna na dálnici A13 Zdroj obrázku: pvresources [90]	1989	
103 kWp	Švýcarsko, <i>Gordola</i>	Protihluková stěna na železnici	1992	
101 kWp	Rakousko, <i>Gleisdorf</i>	Protihluková stěna na dálnici A2	2001	
100 kWp	Německo, <i>Sausenheim</i>	Protihluková stěna na dálnici A6	1999	
90 kWp	Německo, <i>Biessenhofen</i>	Protihluková stěna Nestlé AG	2010	
80 kWp	Švýcarsko, <i>Zumikon</i>	Protihluková stěna Forchstrasse	2014	
80 kWp	Švýcarsko, <i>Safenwil</i>	Protihluková stěna na dálnici A1	2001	
63 kWp	Francie, <i>Foquiere</i>	Protihluková stěna na dálnici A21	1999	
60 kWp	Německo, <i>Saarbrücken</i>	Protihluková stěna na dálnici A620	1995	

55 kWp	Nizozemsko, <i>Utrecht</i>	Protihluková stěna na dálnici A27	1995
53 kWp	Německo, <i>Emden</i>	Protihluková stěna na dálnici A31 Zdroj obrázku: EWE AG [91]	2003
40 kWp	Rakousko, <i>Seewalchen</i>	Protihluková stěna na dálnici A1	1992
30 kWp	Německo, <i>Ammersee</i>	Protihluková stěna na dálnici A96	1997
30 kWp	Německo, <i>Rellingen</i>	Protihluková stěna na dálnici A23	1992
28 kWp	Německo, <i>Großbettlingen</i>	Protihluková stěna "Stoiadler III"	2006
24 kWp	Austrálie, <i>Melbourne</i>	Protihluková stěna Tullamarine-Calder Interchange, Essendon Airport Zdroj obrázku: Climate Fund Managers [92]	2007
12 kWp	Švýcarsko, <i>Münsingen</i>	Protihluková stěna na železnici (bifaciální fotovoltaická protihluková stěna)	2008
10 kWp	Švýcarsko, <i>Zürich, Aubrugg</i>	Protihluková stěna na dálnici A1 (první bifaciální fotovoltaická protihluková stěna)	1997
9,6 kWp	Švýcarsko, <i>Zürich, Walliselen</i>	První fotovoltaická protihluková stěna na železnici	1998
7,544 kWp	Německo, <i>Pasing (Mnichov)</i>	Transparentní protihluková stěna Zdroj obrázku: Ertex Solar [93]	2013

