

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
ELEKTROTECHNICKÁ**



**NÁVRH FV SYSTÉMU PRO SDÍLENÍ
ELEKTŘINY V BYTOVÉM DOMĚ**

**DIPLOMOVÁ
PRÁCE**

BC. MICHAL PAULOVÍČ

VEDOUCÍ PRÁCE: MGR. ING. VÍT KLEIN, PHD.

2024

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Paulovič** Jméno: **Michal** Osobní číslo: **492168**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektroenergetiky**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Specializace: **Elektroenergetika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Návrh FV systému pro sdílení elektřiny v bytovém domě

Název diplomové práce anglicky:

Design of the PV system for electricity sharing in an apartment building

Pokyny pro vypracování:

- 1) Popište teorie sdílení elektřiny v bytových domech.
- 2) Sestavte ekonomicko-technický model bytového domu z elektrotechnického a elektroenergetického hlediska
- 3) Vytvořte výpočetní nástroj v SW Excel pro snadné a přehledné vytvoření žádosti o registraci sdílení elektřiny.
- 4) Navrhněte provedení elektroinstalace v řešených domech (zejména instalaci fotovoltaického systému, uzpůsobení el. instalace pro vůdčí odběrné místo a přidružená odběrná místa).

Seznam doporučené literatury:

- 1) EG.D. Sdílení elektřiny v bytových domech. <https://www.egd.cz/sdileni-elektřiny-v-bytovych-domech>
- 2) Česká republika: Zákon o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon) č. 458/2000 Sb., ve znění pozdějších předpisů.
- 3) MASTNÝ, Petr. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Mgr. Vít Klein, Ph.D. katedra elektroenergetiky FEL

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

Datum zadání diplomové práce: **08.02.2024**

Termín odevzdání diplomové práce: **24.05.2024**

Platnost zadání diplomové práce: **21.09.2025**

Ing. Mgr. Vít Klein, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Zdeněk Müller, Ph.D.
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

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat panu Mgr. Ing. Vítu Kleinovi, Ph.D., za vstřícný přístup a velmi cenné rady. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Lukáši Korelovi za cenné rady v oblasti programování a pánům RNDr. Luboši Němcovi z oddělení meteorologie a klimatologie ČHMÚ a Ing. Jiřímu Polívkovi, Ph.D. za dodání důležitých dat. Na závěr bych také chtěl poděkovat své rodině, která mě podporovala v průběhu psaní této práce.

PROHLÁŠENÍ

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

V Praze dne 20. května 2024

.....

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem FV systému na bytovém domě s využitím sdílení elektřiny v bytových domech. Je rozdělena na čtyři kapitoly: V první kapitole je teoretický popis sdílení elektřiny v bytových domech. Další kapitoly se zabývají návrhem ekonomickotechnického modelu FV systému, návrhem samotné FVE na bytovém domě a vytvoření nástroje pro tvorbu žádosti o registraci sdílení elektřiny.

Klíčová slova:

Komunitní sdílení elektřiny, FVE na bytových domech

ABSTRACT

The thesis deals with the design of a PV system on an apartment building using community electricity sharing. It is divided into four chapters: The first chapter is a theoretical description of community electricity sharing. The next chapters deal with the design of the economic and technical model of the PV system, the design of the PV system itself on the apartment building and the creation of a tool for the creation of the application for the registration of electricity sharing. Key words:

Community electricity sharing, PV on apartment buildings

OBSAH

Úvod.....	1
Kapitola 1: SDÍLENÍ ELEKTŘINY V BD.....	2
1.1 Definice	2
1.2 OMv, OMp a měření v BD	2
1.2.1 Způsob měření.....	2
1.2.2 Alokační klíč	2
1.3 Modelová situace.....	3
1.4 Cesta k sdílení elektrické energie v BD	4
1.4.1 Příprava pro instalaci výroby a sdílení elektrické energie	4
1.4.2 Smlouva o připojení OMv	4
1.4.3 Instalace výroby v BD a umožnění trvalého provozu	4
1.4.4 Žádost o sdílení a sdílení elektrické energie.....	5
Kapitola 2: ekonomicko-technický model.....	6
2.1 Počáteční stav BD.....	6
2.2 Tvorba diagramů průměrných odběrů elektřiny	7
2.2.1 Diagramy průměrných odběrů elektřiny jednoho bytu.....	7
2.2.2 Diagramy průměrných odběrů elektřiny pro skupinu pracujících osob	8
2.2.3 Diagramy průměrných odběrů elektřiny pro byty s plynovou varnou deskou.....	9
2.2.4 Diagramy průměrných odběrů elektřiny pro společnou spotřebu BD	11
2.2.5 Diagramy průměrných odběrů elektřiny BD s nabíjecí stanicí pro EV.....	11
2.2.6 Diagramy průměrných odběrů elektřiny BD s tepelnými čerpadly	13
2.3 Tvorba diagramu výroby	15
2.4 Ekonomický model.....	17
2.4.1 Inflace, úroková sazba a diskont.....	17
2.4.2 Eskalace ceny elektrické energie	17
2.4.3 Tvorba ekonomického modelu.....	18
kapitola 3: tvorba výpočetního nástroje pro vytvoření žádosti o registraci sdílení elektřiny	24
3.1 Úvod do problematiky	24
3.2 Tvorba výpočetního nástroje	24
kapitola 4: provedení instalace fotovoltaického systému a elektroinstalace s ním spojené.....	26
4.1 Potřebné informace	26
4.2 SOP.....	26
4.2.1 Rezervovaný výkon.....	26
4.2.2 Chování FVE v distribuční soustavě, připojovací podmínky a nastavení ochran	26
4.3 Popis stávajícího stavu BD.....	33

4.4	Technologické provedení FVE	35
4.5	Umístění FV panelů na střechu BD	35
4.6	Umístění kabelového vedení, střídače a rozvaděče technologií FV systému, úprava jímací soustavy.....	41
4.7	Použitá technologie, stringování.....	42
4.8	Jednopolové schéma, dimenzování kabeláže a přístrojů	43
4.9	Tvorba rozměrového výkresu rozvaděče RFVE.....	47
4.10	Tvorba položkového rozpočtu	49
4.11	Situační výkres a technická zpráva.....	50
	Závěr	51
	Seznam použité literatury.....	52
	Seznam příloh	53

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Diagram pro modelovou situaci.....	3
Obrázek 2: Půdorys vzorového bytu	6
Obrázek 3: Řez konstrukčním systémem FV panelů	15
Obrázek 4: Grafické znázornění minimálních i nepovinných požadavků dodávek nebo odběrů jalového výkonu	28
Obrázek 5: Časový průběh napětí v místě připojení za podmínek poruchy pro nesynchronní VM kategorie A2 (FRT křivka).....	28
Obrázek 6: Schopnost frekvenční odezvy činného výkonu u VM v omezeném frekvenčně závislém režimu při nadfrekvenci.....	29
Obrázek 7: Maximální snížení činného výkonu s klesající frekvencí	30
Obrázek 8: Požadovaná závislost jalového výkonu na napětí.....	30
Obrázek 9: Ochrany rozpadového místa s VM A2.....	32
Obrázek 10: Půdorys střechy BD	34
Obrázek 11: Příklad výpočtu stínění.....	35
Obrázek 12: Výpočet stínění způsobeného atikou.....	36
Obrázek 13: Stávající stav jímací soustavy	37
Obrázek 14: Příklad měření délky l pro výpočet dostatečné vzdálenosti s pro bod č.4.....	38
Obrázek 15: Konečné umístění FV panelů na střeše BD	40
Obrázek 16: Příklad úpravy jímací soustavy	42
Obrázek 17: Jednopolové schéma stejnosměrné část FV systému.....	45
Obrázek 18: FV systém v programu xSpider.....	46
Obrázek 19: Rozměrový výkres rozvaděče RFVE.....	48

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Sledované skupiny domácností v BD	7
Tabulka 2: Sledované skupiny BD	7
Tabulka 3: Vlastní spotřeby jednotlivých BD	18
Tabulka 4: Množství ušetřené a prodané elektrické energie jednotlivých BD	20
Tabulka 5: NPV investic na jednotlivých BD	22
Tabulka 6: Rozdělení výkonových kategorií VM	27
Tabulka 7: Nastavení ochran střídače dle SoP	33
Tabulka 8: Vypočítané dostatečné vzdálenosti s pro jednotlivé body	39

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Hodinová spotřeba elektřiny osob ve VR s elektrickou varnou deskou	8
Graf 2: Hodinová spotřeba elektřiny osob v PR s elektrickou varnou deskou	9
Graf 3: Hodinová spotřeba elektřiny osob ve VR s plynovou varnou deskou	10
Graf 4: Hodinová spotřeba elektřiny osob v PR s plynovou varnou deskou	10
Graf 5: Hodinová spotřeba elektřiny společných prostor BD bez TČ a nabíjecí stanice	11
Graf 6: Závislost průměrné kapacity baterie W na počtu pozorovaných elektromobilů	12
Graf 7: Hodinová spotřeba elektřiny společných prostor BD bez TČ a s nabíjecí stanicí	13
Graf 8: Hodinová spotřeba elektřiny společných prostor BD s TČ a bez nabíjecí stanice EV	14
Graf 9: Hodinová spotřeba elektřiny společných prostor BD s TČ a s nabíjecí stanicí EV	15
Graf 10: Výroba průměrného dne BD	16
Graf 11: Průměrné denní spotřeby elektrické energie jednotlivých BD v měsíci dubnu	19
Graf 12: Průměrné denní spotřeby elektrické energie jednotlivých BD po instalaci FVE v měsíci dubnu	19
Graf 13: Poměr ušetřené elektrické energie snížené vlivem degradace FV modulů E_D a ušetřené elektrické energie E v průběhu sledované doby investice pro jednotlivé BD	21
Graf 14: Poměr prodané elektrické energie snížené vlivem degradace FV modulů E_D a prodané elektrické energie E v průběhu sledované doby investice pro jednotlivé BD	22

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Význam
AC	Střídavý elektrický proud
BD	Bytový dům
CZT	Centralizované zásobování teplem
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
DC	Stejnoseměrný elektrický proud
DPS	Dokumentace provedení stavby
EV	Elektrovozidlo
FV	Fotovoltaický
FVE	Fotovoltaická elektrárna
HDO	Hromadné dálkové ovládání
LPZ1	Vnitřní chráněné prostory objektu
MTP	Měřicí transformátor proudu
NPV	Čistá současná hodnota
OMP	Přidružené odběrné místo
OMv	Vůdčí odběrné místo
PBŘ	Požárně bezpečnostní řešení stavby
PDS	Provozovatel distribuční soustavy
PPDS	Pravidla provozování distribučních soustav
PR	Pracovní režim
SOP	Smlouva o připojení
TV	Teplá voda
TČ	Tepelné čerpadlo
VM	Výrobní modul
VR	Víkendový režim

ÚVOD

Fotovoltaické elektrárny (dále jen FVE) jsou v dnešní době populárním tématem. Začínají se zároveň čím dál častěji objevovat FVE o výkonech mezi 10 kWp a 50 kWp na střechách bytových domů (dále jen BD). Od 01.01.2023 je zároveň možné využít sdílení elektřiny v BD.

V mé diplomové práci se budu zabývat propojením technologie FVE a sdílení elektřiny v BD. Jedná se o čtyři separátní FVE na čtyřech budovách umístěných v obci Praha. Sdílení elektřiny bude probíhat vždy pouze v rámci jednoho domu.

KAPITOLA 1: SDÍLENÍ ELEKTRINY V BD

1.1 Definice

Jedná se o sdílení elektřiny vyrobené ze společného zdroje v BD mezi jednotlivé domácnosti. ¹ Základní podmínkou je připojení všech dotčených odběrných míst do jedné pojistkové skříně v rámci jednoho přípojného objektu. Z tohoto důvodu budou použité čtyři BD vnímány jako čtyři separátní přípojné objekty. V objektu musí být založeno vůdčí odběrné místo (dále jen OMv), které bude sledovat přidružená odběrná místa (dále jen OMp). OMv je zpravidla umístěno v místě vyvedení výkonu výrobní do elektrické sítě objektu.

1.2 OMv, OMp a měření v BD

1.2.1 Způsob měření

OMv je myšlený čtyřkvadrantový průběhový elektroměr, který zároveň je schopen získávat informace z měření vlastní spotřeby objektu (osvětlení, výtahy, vytápění) a zároveň získává informace z měření OMp, což jsou dvoukvadrantové průběhové elektroměry. Všechna měření probíhají v patnáctiminutových intervalech. Komunikace mezi OMv a OMp probíhá prostřednictvím SIM karty, jež je instalována v každém z elektroměrů.

Vlastní spotřeba objektu má svůj elektroměr. Tento elektroměr je vhodným kandidátem pro výměnu na OMv při zakládání komunity v rámci BD. Do OMv bude zároveň vyvedený výkon z výrobní, v tomto případě se bude jednat o výkon z FVE. Díky této konfiguraci bude nejprve výkon z FVE spotřebován vlastní spotřebou objektu a následně je zbylý výkon distribuován do OMp v BD. Výkon je do jednotlivých OMp distribuován na základě alokačního klíče.

1.2.2 Alokační klíč

Jedná se o nástroj, s jehož pomocí je možné provozovat energetickou komunitu v BD. Alokační klíč udává podíl výkonu, jenž bude distribuován do OMp. Účastník energetické komunity má možnost si zakoupit část vygenerovaného výkonu z FVE a tím je mu přiřazen alokační klíč. Alokační klíč je v daném elektroměru aktivován zpětně až při měsíčním zúčtování.² Při tomto zúčtování OMp dostává informace od OMv ohledně přebytků energie. Z těchto informací a z nastaveného alokačního klíče následně OMp upravuje hodnotu spotřebované elektrické energie k fakturaci.

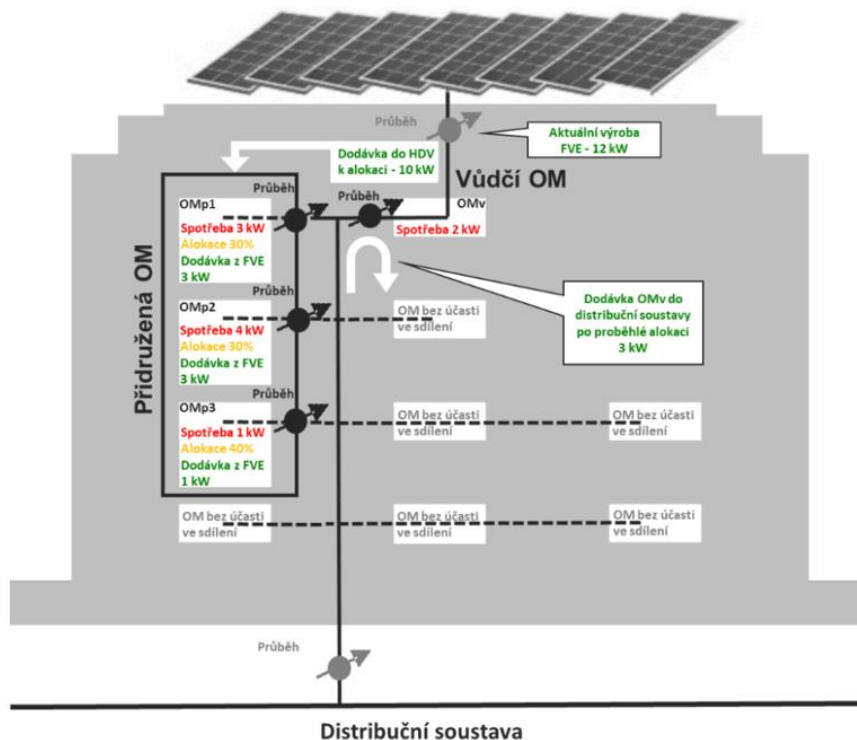
¹

Sdílení elektřiny pro bytové domy. Online. EG.D Sdílení elektřiny. 2023. Dostupné z: <https://www.egd.cz/sdileni-elektřiny>. [cit. 2023-12-28].

² *Helioware. Online. Jak funguje energetická komunita v bytovém domě? 2023. Dostupné z: <https://www.helioware.cz/jak-funguje-energeticka-komunita-v-bytovem-dome/>. [cit. 2023-12-29].*

1.3 Modelová situace

Na webových stránkách firmy EG.D³ je znázorněna modelová situace, při které výrobní dodává do BD aktuální výkon 12 kW. Vlastní spotřeba objektu činí 2 kW. K alokaci do OMp tedy přijde 10 kW. Z celého obytného domu si alokační klíč zařídily pouze tři domácnosti. Rozvržení alokačních klíčů je možné vidět na obrázku 1.



Obrázek 1: Diagram pro modelovou situaci

První Omp má dohodnutou alokaci 30 % (v tomto případě 3 kW), okamžitou spotřebu má 3 kW a FVE zvládne dodat 3 kW, tudíž z vnějšího pohledu má nulovou spotřebu.

Druhé Omp má dohodnutou alokaci 30 % (v tomto případě 3 kW), okamžitou spotřebu 4 kW, ale kvůli alokaci FVE dodá pouze 3 kW, tudíž z vnějšího pohledu má okamžitou spotřebu 1 kW.

Třetí Omp má dohodnutou alokaci 40 % (v tomto případě 4 kW). FVE zvládne dodat 4 kW, ale Omp má spotřebu 1 kW, tudíž je dodán 1 kW, z vnějšího pohledu má sice nulovou spotřebu, ale nevyužil 3 kW výkonu, které budou dodány do distribuční soustavy.

Vzhledem k faktu, že cena prodávané elektrické energie do distribuční soustavy je nižší, než cena kupované elektrické energie z distribuční soustavy se tento prodej jeví nevýhodně. Zejména majitel třetí Omp ztrácí nárok na 3 kW okamžitého výkonu, tudíž je v jeho nejlepším zájmu mít možná nejbližší spotřebu alokovanému výkonu v době, kdy vyrábí FVE.

Nabízí se tedy dvě varianty: První je „poddimenzování“ alokačního klíče, tudíž by bylo využito vždy 100 % alokovaného výkonu. Druhou je „uměle“ zvýšit spotřebu elektrické v době zpozorované výroby FVE chytrým spouštěním spotřebičů, např. bojler, pračka, myčka.

³ Sdílení elektřiny pro bytové domy. Online. EG.D Sdílení elektřiny. 2023. Dostupné z: <https://www.egd.cz/sdileni-elektriny>. [cit. 2023-12-28].

1.4 Cesta k sdílení elektrické energie v BD

Na již zmíněných webových stránkách EG.D⁴ je vypsán postup, jakým je možné dosáhnout sdílení elektrické energie v BD. Tyto podkapitola tyto kroky vypisuje.

1.4.1 Příprava pro instalaci výroby a sdílení elektrické energie

Nutnou podmínkou je souhlas se sdílením elektrické energie v BD mezi členy SVJ nebo bytového družstva. Tento souhlas nemusí dát všichni členové SVJ nebo bytového družstva, ale jenom ti, kteří mají o sdílení elektrické energie zájem.

Po získání množiny účastníků je vypracován výpočet průměrné roční spotřeby účastníků. Od této spotřeby se následně odvíjí velikost instalovaného výkonu výroby. Je nutné poznamenat, že velikost výkonu FVE je omezena rozměry střechy a také cizími technologiemi, jež jsou na střeše umístěny.

Následně dochází k výběru umístění OMv. Nabízejí se tři hlavní možnosti.

První možností je rozvaděč společné spotřeby, při které by se nejprve odečetla spotřeba společných prostor, následné přebytky by byly distribuovány do všech OMP. Tato možnost je nejvýhodnější, pokud se sdílení účastní všichni členové SVJ nebo bytového družstva.

Druhou možností je zřízení OMv na novém místě. Díky této možnosti dochází k distribuci elektrické energie do všech OMP bez odečtu spotřeby společných prostor. S touto možností je svázána nutnost dodatečné investice do nového odběrného místa.

Třetí možností je zřízení OMv v odběrném místě jednoho z bytů. Nejprve by byla pokryta spotřeba z jednoho bytu a zbylá elektrická energie by byla distribuována od všech OMP.

V rámci této diplomové práce budu uvažovat, že všichni členové SVJ chtějí být součástí sdílení, tudíž bude použita první možnost.

1.4.2 Smlouva o připojení OMv

Po vypracování přípravy je nutné podat žádost pro připojení zdroje pro OMv u distributora. Tato žádost se podává ve formě formuláře, který je možné najít na webových stránkách distributora. Distributor se následně vysloví formou Smlouvy o připojení (dále jen SOP), ve které stanoví finální podmínky pro připojení OMv do distribuční sítě. Součástí těchto podmínek bývá např. nastavení střídače nebo rezervovaný výkon, který definuje povolené přetoky elektrického výkonu do sítě. Distributor má právo znemožnit připojení výroby k distribuční síti. Pokud je připojení povoleno, investor dostane návrh SOP. Pokud s podmínkami investor souhlasí, musí do 30 dnů odeslat podepsaný výtisk SOP distributorovi.

1.4.3 Instalace výroby v BD a umožnění trvalého provozu

Po schválení od distributora je možné provést instalaci výroby v BD. Každý distributor má sepsaná pravidla a požadavky na provedení instalace výroby. Těmito pravidly se musí investor řídit. Po dokončení instalace výroby, může investor požádat o umožnění trvalého provozu ve formě formuláře, který je možné najít na webových stránkách distributora. Pokud distributor tuto žádost schválí, stanoví termín pro ověření výroby a výměnu elektroměrů za průběhové. V tuto chvíli si také investor musí sjednat s libovolným obchodníkem smlouvu o výkupu elektrické energie. Zároveň si investor musí zajistit odpovědnost za odchylku v informačním systému OTE, a.s.

⁴ Sdílení elektřiny pro bytové domy. Online. EG.D Sdílení elektřiny. 2023. Dostupné z: <https://www.egd.cz/sdileni-elektriny>. [cit. 2023-12-28].

1.4.4 Žádost o sdílení a sdílení elektrické energie

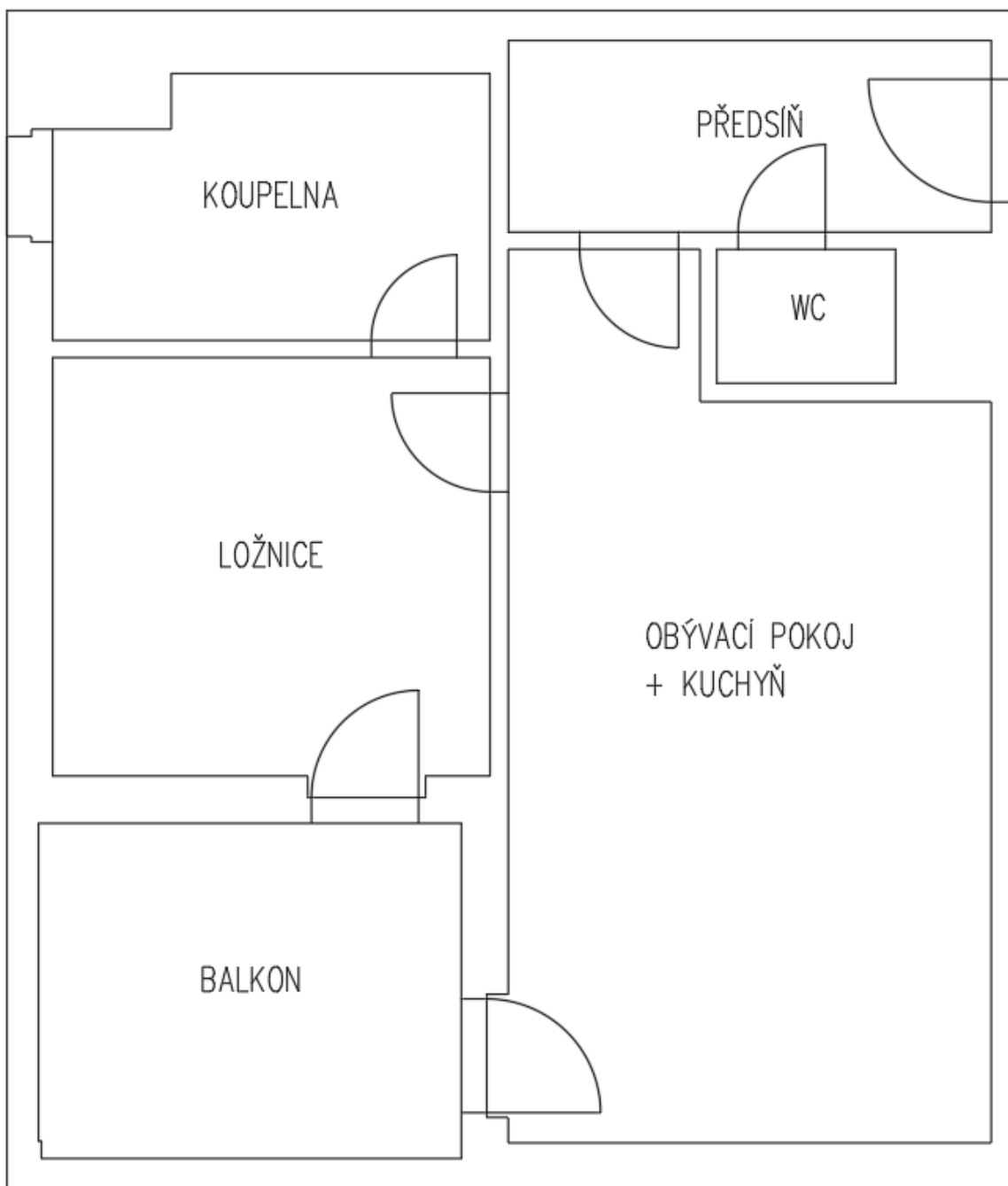
Po sjednání smlouvy o výkupu elektrické energie si investor potřebuje zažádat o registraci připojení OMv a Omp v BD. Součástí žádosti je alokační rozsah jednotlivých Omp, který musí být podepsaný všemi účastníky sdílení, nebo alespoň musí být od účastníků udělena plná moc Žadateli, který bude jménem účastníků alokační rozsah zadávat. Všem účastníkům sdílení na Omp budou následně poslány SOP, které musí účastníci distributorovi poslat podepsané zpět. Jakmile dojde k podepsání SOP, účastník musí připravit Omp do takové podoby, aby bylo možné vyměnit stávající elektroměr za průběhový. Po splnění všech podmínek distributor bezplatně vymění elektroměry za průběhové a účastníci jsou připraveni na sdílení elektrické energie.

Po instalaci průběhových elektroměrů provede distributor k prvnímu dnu v měsíci registraci OMv a Omp u OTE a.s. a zahájí sdílení elektrické energie v BD na základě alokačního klíče.

KAPITOLA 2: EKONOMICKO-TECHNICKÝ MODEL

2.1 Počáteční stav BD

V této diplomové práci budou řešeny čtyři BD, které jsou umístěny v katastrálním území Hloubětín v obci Praha. V každém z těchto domů je osm bytů, kde jeden byt má plochu 55 m². Půdorys bytu je možné vidět na obrázku 2. Půdorys bytu byl převzat z nabídky realitní kanceláře⁵.



Obrázek 2: Půdorys vzorového bytu

⁵ Půdorys bytu. Prodej bytu 2+kk 55 m² Praha 9 [online]. 2024 [cit. 2024-02-03]. Dostupné z: <https://stredo.ceskereality.cz/byty/byty-2-kk/?id=DVO422291362>

K domům je přiveden rozvod zemního plynu, tudíž si jednotliví vlastníci bytů mohou zvolit, jestli chtějí pokrmy upravovat na elektrické nebo plynové varné desce. V době před instalací FVE je dodávka tepla pro ohřev TV a vytápění ve dvou domech dodávána pomocí CZT a ve dvou domech pomocí Tepelného čerpadla (dále jen TČ). Sledované skupiny osob se v této diplomové práci dělí na skupinu osob v pracovním režimu (dále jen PR) a na skupinu osob ve víkendovém režimu (dále jen VR). Předpokládá se, že 50 % osob v obytném domě operuje v PR ve dnech od pondělí do pátku, o víkendu operuje v režimu VR a 50 % osob operuje pouze ve VR.

Po instalaci FVE na střechu obytných domů bude docházet k instalaci nových technologií. Někteří lidé si budou chtít za pomoci FVE připravovat TV sami, někteří lidé budou TV získávat z domovního systému. Některé domy budou zvyšovat společnou spotřebu objektu nabíjecí stanicí pro elektrická vozidla.

Přehled vybraných kombinací je možné vidět v tabulkách 1 a 2.

Skupina	Pracovní režim				Víkendový režim			
	Vlastní		Domovní		Vlastní		Domovní	
Úprava potravin	Plyn	Elektřina	Plyn	Elektřina	Plyn	Elektřina	Plyn	Elektřina

Tabulka 1: Sledované skupiny domácností v BD

Dodávka tepla	CZT		Tepelné čerpadlo	
	Jedna	Žádná	Jedna	Žádná

Tabulka 2: Sledované skupiny BD

Sledovaných bude celkem 32 bytů. BD se nacházejí v distribuční soustavě spravované společností PREdistribuce, a.s. Hranice vlastnictví se nachází v pojistkové skříni.

2.2 Tvorba diagramů průměrných odběrů elektřiny

2.2.1 Diagramy průměrných odběrů elektřiny jednoho bytu

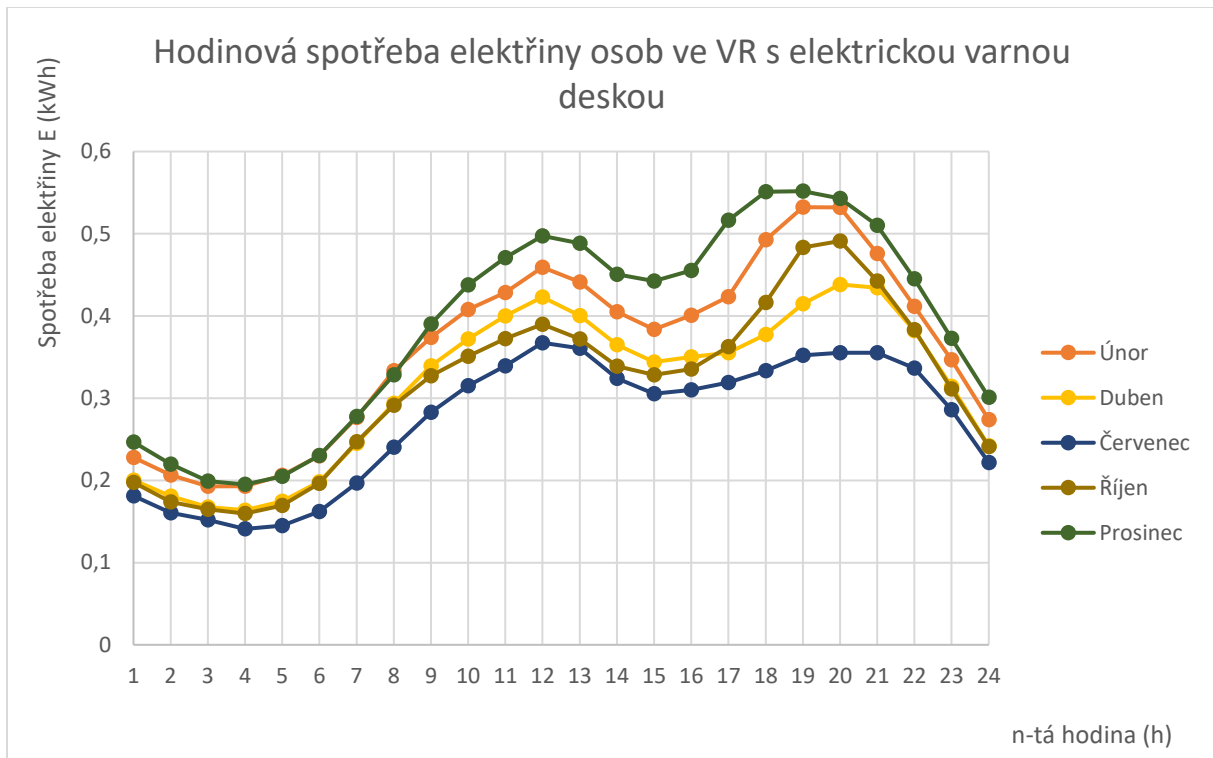
Dle přílohy 7 ve vyhlášce č. 408/2015 Sb.⁶ jsou tyto byty odběrateli kategorie D. Sledované domácnosti v počátečním stavu získávají teplo z CZT, tudíž mají odběr bez tepelného využití elektřiny. Tato kategorie spadá dle přílohy 6 ve vyhlášce č. 408/2015 do třídy 4. Za počáteční vzor jsem si tedy vybral Typový diagram dodávek (dále jen TDD) třídy 4. Pro účel vytvoření odhadu spotřeby jsem zvolil přepočtený TDD. Na webových stránkách OTE⁷ jsem si stáhnul kompletní soubor s přepočtenými TDD pro rok 2023.

V tomto souboru byl značný objem hodnot, které bylo nutné vhodným způsobem zpracovat. Rozhodl jsem se pro vytvoření průměrné spotřeby v danou hodinu pro konkrétní měsíc. Hodnotu roční spotřeby jednoho bytu jsem odhadl na 2 800 kWh. Z této spotřeby jsem získal koeficient k . Tento koeficient byl

⁶ Vyhláška č. 408/2015 Sb.: Vyhláška o Pravidlech trhu s elektřinou. In: . 2015, 169/2015. Tato vyhláška nyní podléhá změnovému řízení

⁷ Přepočtené TDD [online]. 2023 [cit. 2024-01-02]. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/typove-diagramy-dodavek-elekriny/prepoctene-tdd?date=2023-02-01>

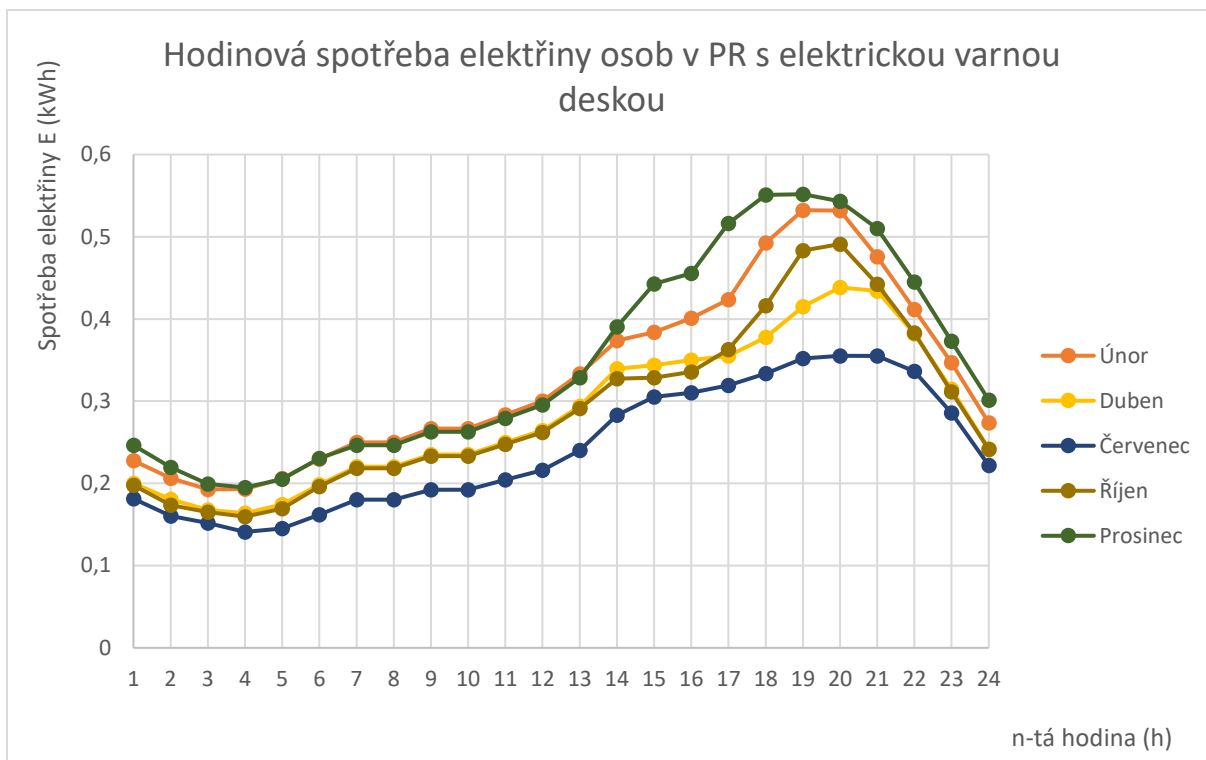
následně použít pro přepočet získaných hodnot na průměrné spotřeby. Průměrné spotřeby elektřiny je možné vidět v Grafu 1 (pro přehlednost vybrány pouze některé měsíce).



Graf 1: Hodinová spotřeba elektřiny osob ve VR s elektrickou varnou deskou

2.2.2 Diagramy průměrných odběrů elektřiny pro skupinu pracujících osob

Sice byl získán diagram odběru odpovídající jednomu bytu, ale tento diagram není použitelný pro všechny uvažované situace. Vytvořený diagram je použitelný pouze pro byty s osobami ve VR, které v poledne připravují oběd na elektrické varné desce. Pro skupinu osob v PR bylo potřeba diagram upravit. Mou snahou bylo upravit diagram, aby byla zachována spojitost, ale zároveň došlo ke snížení spotřeby v čase oběda. Výsledný diagram je možné vidět v Grafu 2.



Graf 2: Hodinová spotřeba elektřiny osob v PR s elektrickou varnou deskou

2.2.3 Diagramy průměrných odběrů elektřiny pro byty s plynovou varnou deskou

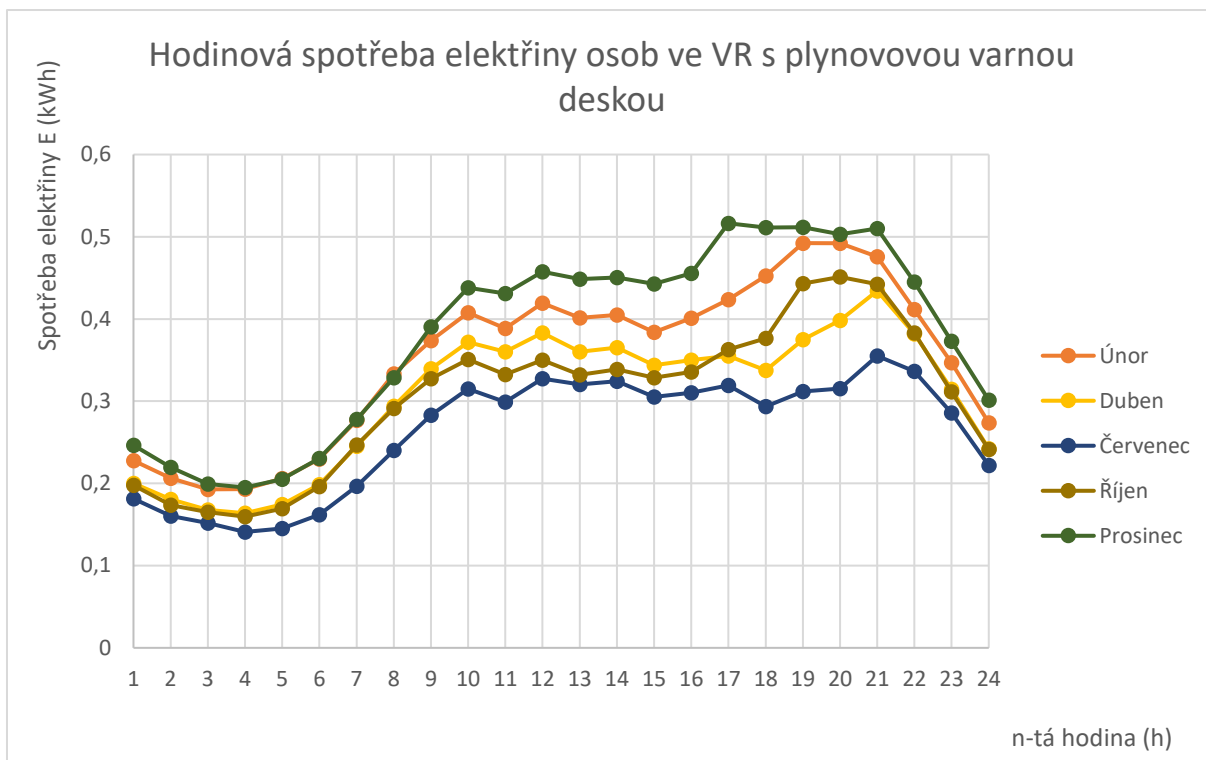
Pokud domácnost využívá k přípravě pokrmů plynovou varnou desku, je spotřeba elektrické energie nižší. Varná zóna indukční desky má příkon mezi 1500 W a 2000 W. Pokud průměrné vaření probíhá cca 30 minut, mělo by dojít ke spotřebě mezi 750 Wh a 1000 Wh. Indukční desky ale neoperují s plným příkonem po celou dobu vaření, mají zabudovaný termostat, který po dosažení požadované teploty vypíná zařízení. Nejprve je potřeba dosáhnout požadované teploty a následně tuto teplotu stačí udržovat se výrazně nižším příkonem (80 % času bude zařízení mít nulový příkon).

Dle webové stránky firmy Electrolux⁸ dokáže indukční deska ohřát 1 litr vody za 3 až 4 minuty, čemuž při příkonu 2 kW odpovídá spotřebě 100 Wh až 135 Wh. Při dopočtení zbytku provozu dojde ke spotřebě 235 Wh na jednu přípravu pokrmu.

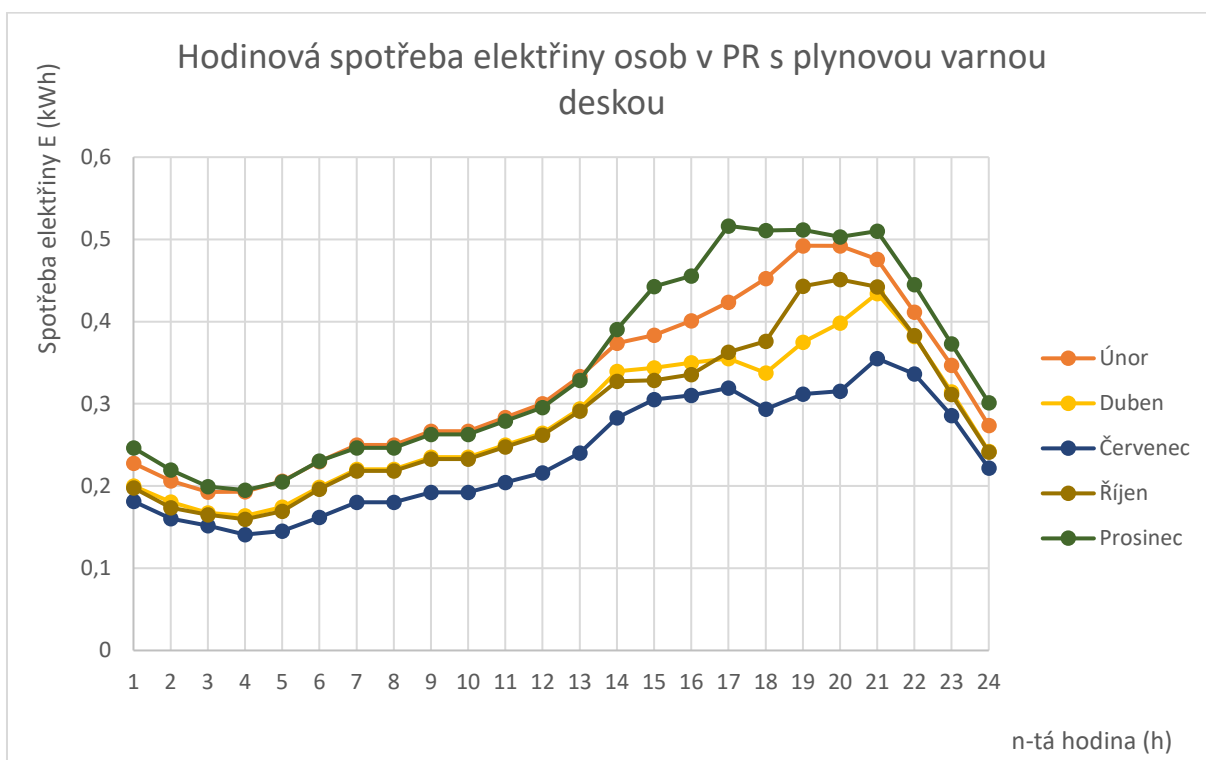
Průměrná domácnost ale obvykle nepřipravuje teplé pokrmy každý den. Z mé zkušenosti je možné si tyto pokrmy připravovat na více dní dopředu. Dokonce jsou obvyklé dny, kdy má domácnost např. studenou večeři, tudíž je spotřeba elektrické energie v průměru nižší. Pokud by domácnost vařila na dva dny, snížilo by to průměrnou spotřebu na jeden pokrm na polovinu.

Pokud by domácnost vařila na plynové varné desce, snížila by se jejich spotřeba elektrické energie v čase vaření o 117,5 Wh oproti domácnosti, která by k vaření využívala indukční ohřev. Na druhou stranu by domácnost s plynovou varnou deskou stále musela při přípravě používat elektrická zařízení, např. mixér, digestoř, kráječ. Tato zařízení by v průměru byla schopna spotřebovat až 80 Wh na jednu přípravu pokrmu. Domácnost s plynovou varnou deskou by tedy ušetřila cca 40 Wh elektrické energie. K těmto snížením dojde v časech od 11. do 13. hodiny a od 18. do 20. hodiny. Pro skupinu osob v PR se toto snížení týká pouze ve večerních hodinách. Tyto upravené diagramy je možné vidět v Grafu 3 a Grafu 4.

⁸ Plotýnka vaří pomalu. Online. 2020. Dostupné z: [https://www.electrolux.cz/support/support-articles/vareni/varne-desky/plotynka-vari-pomalu/](https://www.electrolux.cz/support/support-articles/vareni/varne-desky/plotynka-vari-pomal/). [cit. 2024-01-02].



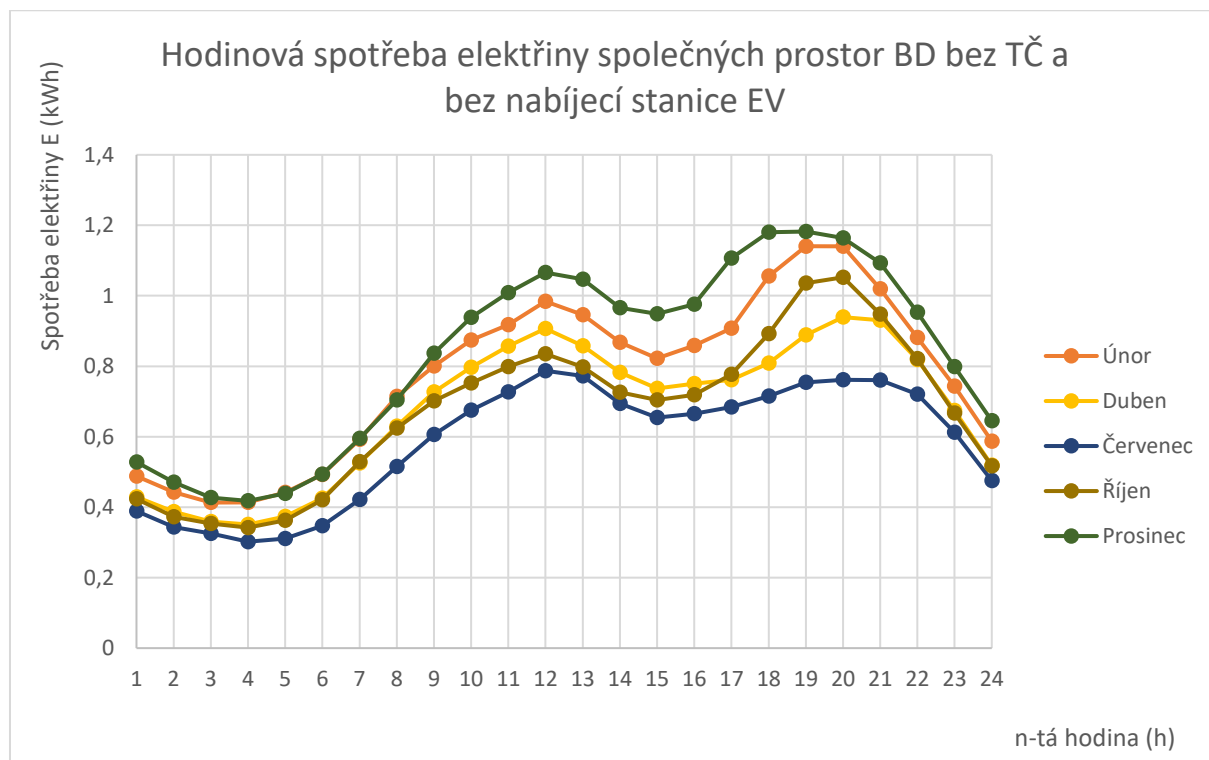
Graf 3: Hodinová spotřeba elektřiny osob ve VR s plynovou varnou deskou



Graf 4: Hodinová spotřeba elektřiny osob v PR s plynovou varnou deskou

2.2.4 Diagramy průměrných odběru elektřiny pro společnou spotřebu BD

Dle přílohy č. 7 k vyhlášce č. 408/2015 Sb. spadá správa a provoz společných částí domu do kategorie odběratele D. Z tohoto důvodu bude pro odhad spotřeby použit TDD4. Roční spotřeba elektrické energie byla odhadnuta na hodnotu 6 MWh za rok, díky tomuto předpokladu byl vypočten koeficient a vytvořen odhadovaný diagram spotřeby, který je možné vidět v Grafu 5.



Graf 5: Hodinová spotřeba elektřiny společných prostor BD bez TČ a nabíjecí stanice

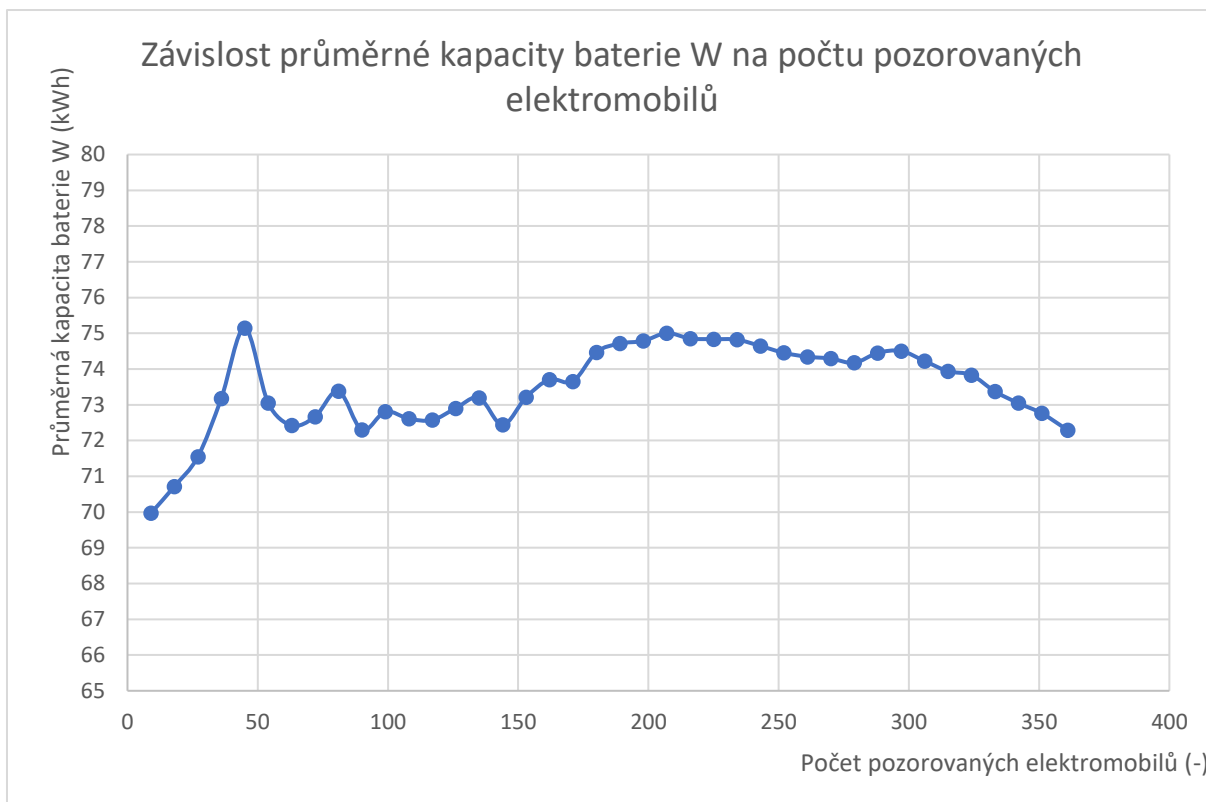
Tato společná spotřeba je základní spotřebou. V některých případech bude tato spotřeba navýšena o výkon spojený s tepelným čerpadlem nebo nabíjecí stanicí pro elektromobily (dále jen EV).

Je nutné také počítat s faktem, že po instalaci FVE si část domácností pořídí vlastní zařízení na přípravu TV, tudíž se na ně bude vztahovat jiná třída TDD a sice TDD5. Nesmí být opomenuto, že tyto diagramy nezůstanou domácnostem po dobu např. 20 let, jelikož domácnost s časem stárne a je pravděpodobné, že některé domácnosti po určitém časovém úseku budou spadat do skupiny osob ve starobním důchodu.

2.2.5 Diagramy průměrných odběrů elektřiny BD s nabíjecí stanicí pro EV

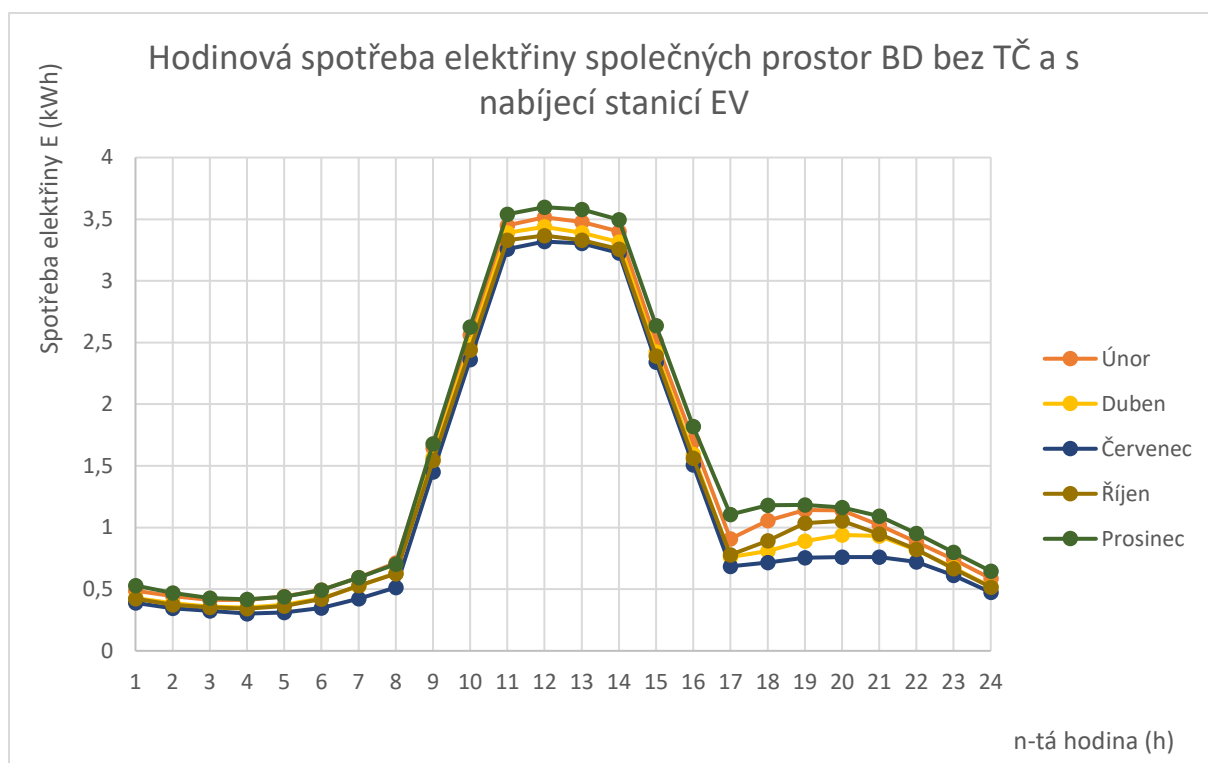
Nejprve byla potřeba zjistit dobu nabíjení EV. Na webových stránkách ev-database.org⁹ se nachází celkem 361 EV, které jsou buď uvedeny na trhu, nebo v blízké budoucnosti na trh budou uvedeny. Nejstarší vozidlo z této databáze bylo uvedeno na trh v červenci roku 2021, tudíž je možné předpokládat, že žádná bateriová úložiště všech vozidel nejsou technologicky zastaralá. Následně jsem získal použitelné kapacity bateriových úložišť jednotlivých EV. Z Grafu 6 je možné vidět, že s přibývajícím počtem vybraných EV se průměrná kapacita baterie měnila až do bodu, kdy průměrná kapacita baterie EV byla přibližně 72,3 kWh.

⁹ Electric vehicle database. Current and Upcoming Electric Vehicles [online]. 2024 [cit. 2024-02-03]. Dostupné z: <https://ev-database.org/>



Graf 6: Závislost průměrné kapacity baterie W na počtu pozorovaných elektromobilů

Předpokládané jmenovité napětí je 400 V, jež vyplývá z architektury baterií jednotlivých EV. Průměrná kapacita baterie v Ah je tedy přibližně 180,7 Ah. Pro nabíjení bude použita nabíjecí stanice SolarEdge EV, která provádí nabíjení prostřednictvím střídavého proudu. Zvolené varianty možného příkonu nabíjecí stanice jsou 11 kW a 22 kW. Pokud je nabíjecí stanice nastavena na příkon 11 kW, velikost dodávaného proudu je dle technického listu 16 A, dle stejného technického listu je velikost dodávaného proudu pro příkon 22 kW rovna 32 A. Při nabíjení dochází ke ztrátám, které jsou způsobené měničem v EV a nabíjecí stanicí. Je předpokládáno, že v důsledku těchto ztrát dochází k prodloužení doby nabíjení o 5 %. Při dodávaném příkonu 11 kW bude tedy předpokládaná doba nabíjení přibližně 11 h 50 minut. Při dodávaném příkonu 22 kW bude předpokládaná doba nabíjení přibližně 5 h 55 m. Z pohledu snahy pokrýt výrobu FVE přes den se jeví jako lepší varianta s příkonem 22 kW. V případě modelování spotřeby s nabíjecí stanicí EV bude předpokládáno, že v domech s nabíjecí stanicí ji budou využívat dvě osoby, kdy jedna z osob bude v pracovním režimu a druhá z osob bude ve víkendovém režimu. Nabíjení by probíhalo vždy mezi devátou a šestnáctou hodinou v daném dnu. Osoba v PR si bude pravděpodobně častěji dobíjet EV v zaměstnání, z tohoto důvodu je předpokládáno, že bude využívat nabíjecí stanici dvakrát až třikrát měsíčně, v průměru bude tedy počítáno s 2,5 využívanými dny v měsíci. Osoba ve VR bude své EV dobíjet s menší frekvencí. Předpokládaná roční ujetá vzdálenost osoby ve VR je přibližně 5000 km. Pokud by bylo zároveň předpokládáno, že je energetická spotřeba EV 18 kWh/100 km, ze zjištěné průměrné kapacity baterie EV by byl vypočten průměrný dojezd o hodnotě 400 km na jedno plné nabití. Z těchto předpokladů bylo zjištěno, že osoba ve VR bude své EV v průměru nabíjet pouze jeden den v měsíci. Navýšení průměrné společné spotřeby BD je vyobrazeno v Grafu 7.



Graf 7: Hodinová spotřeba elektřiny společných prostor BD bez TČ a s nabíjecí stanicí

V Grafu 7 je možné zpozorovat prudký nárůst spotřeby v dobách plánovaného nabíjení EV. Pravděpodobnost, že v daných hodinách bude probíhat nabíjení je stejná, avšak v tomto časovém intervalu musí proběhnout celý proces nabíjení. Z tohoto důvodu je pravděpodobnější, že k nabíjení bude docházet mezi jedenáctou a čtrnáctou hodinou.

2.2.6 Diagramy průměrných odběrů elektřiny BD s tepelnými čerpadly

V BD byla použita TČ typu vzduch-voda. Okamžitý příkon těchto tepelných čerpadel je silně závislý na venkovní teplotě vzduchu. Znalost příkonů TČ v dané hodině se tedy zdála jako vysoce důležitá. Z tohoto důvodu jsem zkontaktoval pana Ing. Jiřího Polívku, Ph.D. z firmy AC Heating, tepelná čerpadla – KUFİ INT, s.r.o. s dotazy týkajícími se teoretického provedení TČ v uvažovaných BD.

Uvažovaný BD je vhodně izolovanou novostavbou, tudíž byla jeho tepelná ztráta odhadována na přibližně 15 kW. Zjistil jsem, že v praxi se na BD instalují kaskády TČ o výkonu rovnajícímu se přibližně 1,3násobku až 2násobku tepelné ztráty. Toto rozmezí se s velikostí objektu a s tím spojenou velikostí tepelných ztrát postupně blíží k 1,3násobku tepelné ztráty.

Pro mnou uvažované bytové domy byl následně doporučen bivalentní systém kaskády TČ a elektrického kotle. Kaskáda je složena ze dvou TČ o celkovém výkonu 32,2 kW, příkon záložního elektrického kotle je 30 kW.

TČ pracuje ve dvou základních režimech. Během topné sezony zajišťuje dodávku energie pro ohřev TV a vytápění a mimo topnou sezonu zajišťuje pouze dodávky energie pro ohřev TV. Topná sezona dle vyhlášky č. 194/2007 Sb.¹⁰ začíná 1. září a je ukončena 31. května následujícího roku. Z tohoto důvodu budou ve vytvořeném modelu spotřeb TČ v čase topné sezony dodávat energii pro ohřev TV a vytápění a mimo topnou sezonu budou dodávat pouze energii pro ohřev TV. Od pana Ing. Jiřího Polívky, Ph.D. jsem získal data z měření příkonů kaskády TČ z konkrétního BD, ve kterém jsou tato TČ provozována. Na měřený objekt byl dimenzovaný větší výkon kaskády TČ, která měla celkový výkon 57 kW. Z tohoto

¹⁰ Vyhláška č. 194/2007 Sb. In: . 2007.

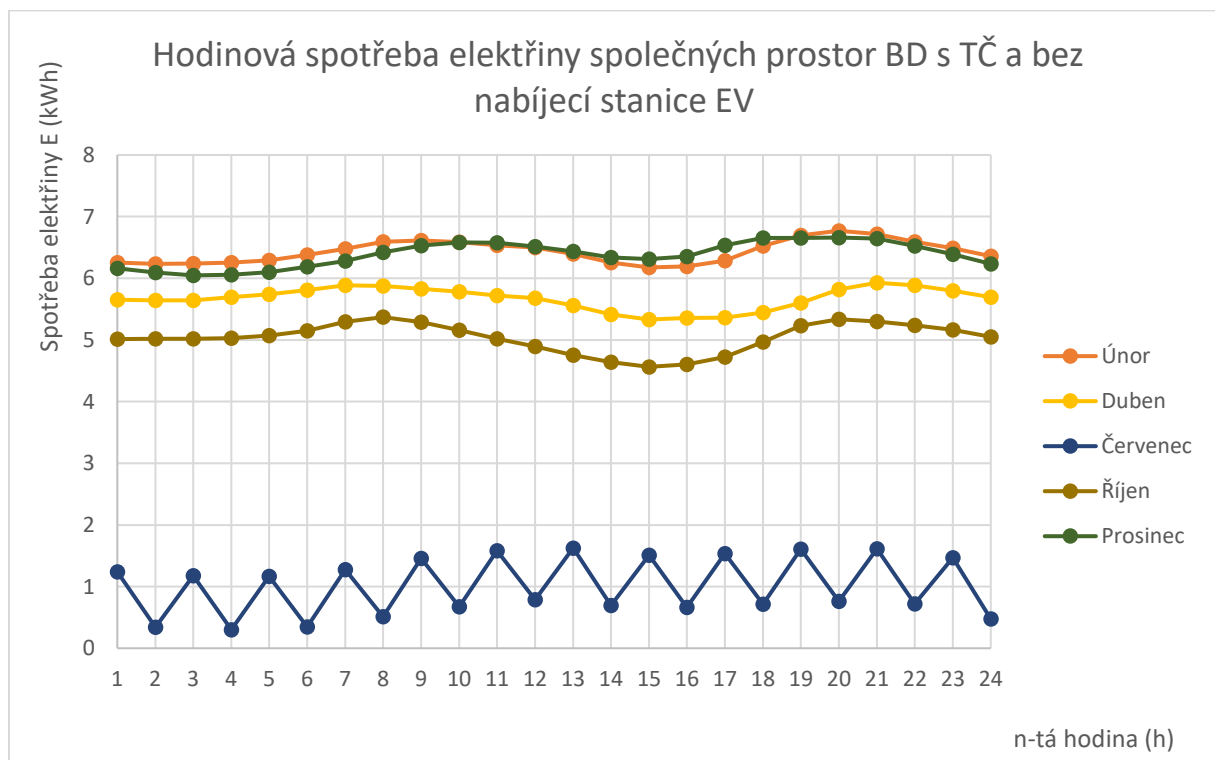
důvodu jsem naměřená data zpracoval do takové podoby, aby bylo možné odhadnout spotřebovanou elektrickou energii na kaskádě TČ o celkovém výkonu 32,2 kW.

Tento odhad byl úspěšně proveden, ale bylo zjištěno, že příkon TČ je silně závislý na venkovní teplotě t [°C] v průběhu provozu TČ. Potřeboval jsem vytvořit hodinové průměry spotřeby elektrické energie kaskády TČ, a proto jsem také potřeboval hodinové hodnoty naměřených venkovních teplot za rok 2023, čímž by bylo možné odhadnout, jakým způsobem bude kaskáda TČ odebírat elektrickou energii v rámci celého roku.

Z těchto důvodů jsem zkontaktoval odbor klimatologie na Českém hydrometeorologickém ústavu (dále jen ČHMÚ), který mi prostřednictvím pana RNDr. Luboše Němce z oddělení meteorologie a klimatologie hodinová data naměřených venkovních teplot poskytl. Díky těmto naměřeným hodnotám venkovních teplot bylo možné odhadnout elektrický příkon kaskády TČ v době topné sezony.

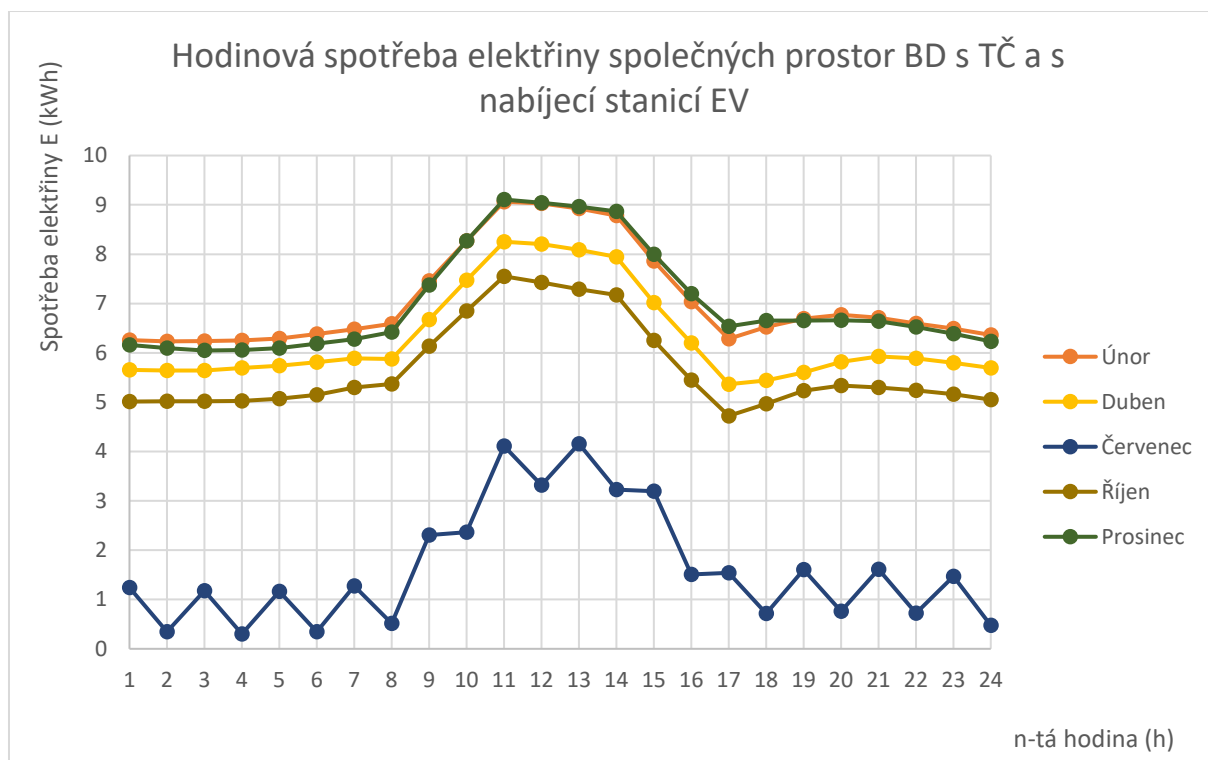
Pro odhad elektrického příkonu kaskády TČ v období mimo topnou sezону byla využita naměřená data od pana Ing. Jiřího Polívky, Ph.D. Tato naměřená data obsahovala časové průběhy spínání jednotlivých TČ v časovém rozmezí dvou dnů v měsíci srpnu. Z časových průběhů bylo zjištěno, že TČ jsou při přípravě TV sepnutá po dobu jedné hodiny, po dobu následující hodiny jsou vypnutá, po dobu následující hodiny jsou opět sepnutá a v tomto periodickém provozu TČ pracují nepřetržitě mimo období topné sezóny. Součástí naměřených dat byl i odhad roční spotřeby tepelné energie pro ohřev TV, tento odhad byl stanoven na 47 GJ. Za předpokladu, že v průběhu roku bude v BD konstantní spotřeba TV, byla potřebná energie, jež byla dodána za hodinu, při které byla sepnuta kaskáda TČ vypočítána na 2,98 kWh. Z technického listu doporučeného tepelného čerpadla bylo zjištěno předpokládané SCOP o hodnotě 3,49. Elektrická energie, která byla spotřebována za jednu hodinu ohřevu TV byla rovna 0,85 kWh.

Vytvořený diagram hodinové spotřeby elektřiny společných prostor BD s TČ a bez nabíjecí stanice je možné pozorovat v Grafu 8.



Graf 8: Hodinová spotřeba elektřiny společných prostor BD s TČ a bez nabíjecí stanice EV

V Grafu 9 je možné pozorovat hodinovou spotřebu elektřiny společných prostor BD s TČ a s nabíjecími stanicí.



Graf 9: Hodinová spotřeba elektřiny společných prostor BD s TČ a s nabíjecími stanicí EV

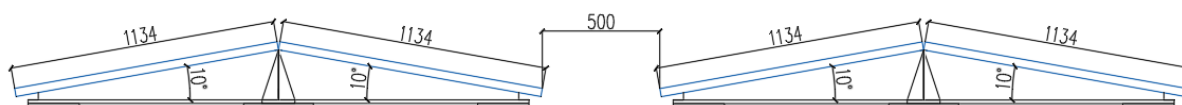
Tímto by měly být popsány všechny variace spotřeb elektrické energie jednotlivých BD. V následující kapitole bude ukázán způsob, jakým byly vytvořeny diagramy výroby elektrické energie pomocí FVE během průměrného dne na BD.

2.3 Tvorba diagramu výroby

Jednotlivé BD mají rozdílné specifikace. Aby bylo možné výsledky mezi jednotlivými BD porovnávat, bude se předpokládat, že všechny BD budou mít stejnou střechu, na kterou bude umístěna FVE o stejném výkonu.

Diagramy výroby jsem vytvořil pomocí programu PV*SOL. V jejich uživatelském rozhraní jsem nejprve zadal oblast, ve které se budou FVE nacházet. Následně jsem vybral prvky technologií, zadal jsem sklon a orientaci panelů. Výsledné hodnoty bylo možné zpracovat pomocí programu MS Excel. Data získaná programem PV*SOL jsem zpracoval stejně, jako v případě diagramů průměrných odběrů. Vytvořil jsem průměrnou denní výrobu pro každý sledovaný měsíc.

Panely byly orientovány jihovýchodně s odklonem -86° od jihu a zároveň severozápadně s odklonem $+94^\circ$ od jihu. Sklon vůči horizontální rovině byl 10° . Konstrukce, na kterých byly panely umístěny, je možné vidět na Obrázku 3.



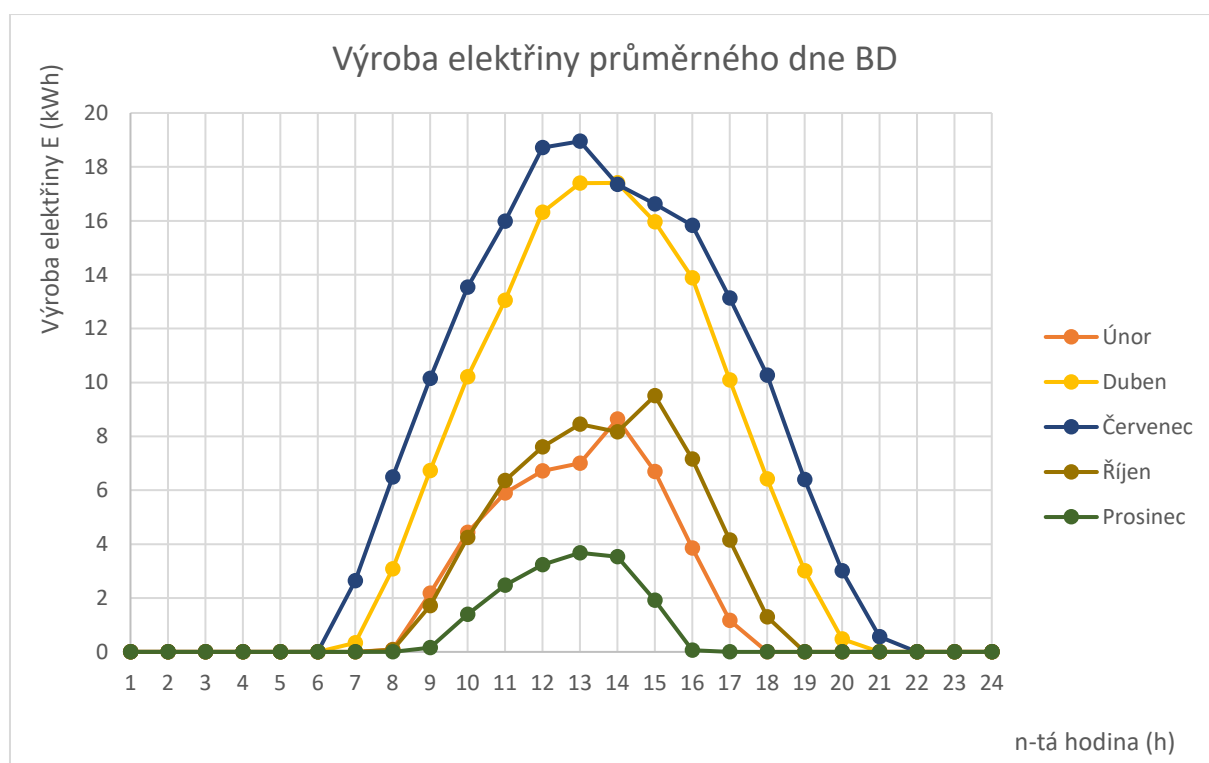
Obrázek 3: Řez konstrukčním systémem FV panelů

Na všechny domy byly nainstalovány stejné FV panely IBC MonoSol 425 MS10-HC-N o jmenovitém výkonu 425 Wp.

Pro tuto diplomovou práci byly vybrány střídače a optimizéry od výrobce SolarEdge. Střídače byly dimenzovány takovým způsobem, aby byly vůči instalovanému výkonu poddimenzovány. Maximální poměr mezi instalovaným výkonem FVE a výkonem střídače je 120 %.

Na všechny FV panely byly umístěny optimizéry P850 od výrobce SolarEdge, které jsou plně kompatibilní s použitými střídači. Ve většině případů byly zapojeny dva FV panely do jednoho optimizéru. Výjimečně docházelo k situacím, kdy bylo možné zapojit pouze jeden FV panel do jednoho optimizéru. K těmto situacím docházelo v případech, kdy celkový počet panelů na střeše BD nebyl dělitelný čtyřmi.

Na střechy BD bylo instalováno celkem 86 FV panelů o celkovém instalovaném výkonu 36,55 kWp. Výkon střídače byl 30 kW. Pro porovnání jsem i v tomto Grafu znázornil stejné měsíce jako v případě diagramu průměrných odběrů. Výsledný graf pro BD je možné pozorovat v Grafu 10.



Graf 10: Výroba průměrného dne BD

V Grafu 10 byl použit termín „průměrný den“. Definice průměrného dne je následující. Mám-li libovolné naměřené hodnoty pro všechny dny v daném měsíci, mohu vytvořit aritmetický průměr naměřených hodnot pro zadanou hodinu v nově vznikajícím průměrném dni. V mém případě jsou naměřenými hodnotami vyrobená elektrická energie v dané hodině.

Pokud například v červenci bude ve 12. hodině změřeno 18 kWh v 50 % měření a 20 kWh ve zbylých 50 % měření, výsledná výroba elektrické energie průměrného červencového dne ve 12. hodině bude tedy 19 kWh. Jelikož se jedná o aritmetický průměr, je nutné brát v potaz odlišné délky měsíců. V případě měsíce února se nebere v potaz přestupný rok.

2.4 Ekonomický model

Po vytvoření jednotlivých diagramů spotřeby elektřiny a výroby elektřiny bylo možné tyto diagramy použít k vytvoření ekonomického modelu, díky kterému by bylo možné porovnávat jednotlivé varianty.

Sledovanou dobu investice jsem zvolil na 24 let z důvodu výrobcem garantované životnosti střídače, která je 12 let. Ve 12. roce tedy dojde k preventivní výměně střídače. FV moduly mají sice výrobcem garantovaný výkon po dobu třiceti let, ale produktovou záruku výrobce uvádí pouze na patnáct let, z tohoto důvodu se předpokládá, že mezi 15. a 24. rokem bude docházet k výměně části FV modulů za nové.

2.4.1 Inflace, úroková sazba a diskont

Dalším faktorem je měnící se inflace a s tím spojená úroková míra a diskont v průběhu sledovaného období. Dle prognózy ČNB¹¹ se do roku 2025 ustálí na dvou procentech, v dlouhodobém horizontu by se měla průměrná meziroční inflace pohybovat na 2,5 % ročně.

Pro energetické projekty je možné k výpočtu diskontu použít predikce úrokové sazby ČNB dle PRIBOR 3M. Úrokové sazby by se v roce 2024 měly nacházet na 4 %, následně by se měly v roce 2025 snížit na 2,6 %. Od roku 2026 dále bude předpokládána úroková sazba na úrovni 2 %. Výpočet diskontu je možné pozorovat v rovnici 1.

$$r_n = (1 + r_r) \cdot (1 + i) - 1$$

(1)

Kde r_r je roven reálné diskontní míře, i vyjadřuje míru inflace a r_n je rovno nominální diskontní míře. Za reálnou diskontní míru dosadím úrokovou sazbu ČNB a za míru inflace dosadím meziroční inflaci, tímto způsobem vypočítám nominální diskontní míru.

2.4.2 Eskalace ceny elektrické energie

Cena elektrické energie na trhu je závislá na proměnných, které značně ovlivňují výslednou hodnotu ceny. Z tohoto důvodu jsou jakékoliv předpovědi na 25 let dopředu silně závislé na vhodném výběru proměnných. Z tohoto důvodu jsem se rozhodl eskalovat celkovou cenu elektrické energie, tedy tu, jakou by platil koncový maloobchodní zákazník. Tím že budou eskalovány celkové náklady elektřiny, tato eskalace bude nízká, konkrétně bude uvažována na 1 % meziročně za nakupovanou elektrickou energii. Počáteční cena za kWh bude uvažována 5 Kč za kWh.

Pro případný prodej elektrické energie je situace odlišná. V České republice je možné prodávat elektrickou energii buď za fixní částku pohybující se na hodnotách mezi 2 až 2,5 Kč za kWh, nebo je možné elektřinu prodávat za spotové ceny na trhu. Není možné předpokládat, že by fixní částky vydržely na této hodnotě po celou sledovanou dobu. S dnešním rozmachem FVE je pravděpodobné, že v čase, při kterém bude mít dům přebytky elektrické energie, budou mít tyto přebytky i ostatní domy s FVE, a tudíž bude cena výkupu elektrické energie v budoucnu nižší. Z těchto důvodů se předpokládá, že počáteční cena prodeje za kWh bude 2,5 Kč za kWh do roku 2026, následně se tato cena sníží na 1,5 Kč za kWh v letech 2026 až 2028. V letech 2028 až 2030 by byla cena výkupu na úrovni 1 Kč za kWh a od roku 2030 by byla cena výkupu 0,5 Kč za kWh. V průměru tedy bude docházet k eskalaci ceny vykupované elektrické energie o hodnotě -3,33 % za rok.

Tyto eskalace bude následně nutné přepočítat dle meziroční inflace pomocí rovnice 1.

¹¹ Prognóza ČNB - Zima 2024. Online. Prognóza ČNB - Zima 2024. 2024. Dostupné z: <https://www.cnb.cz/cs/menova-politika/prognoza/>. [cit. 2024-03-30].

2.4.3 Tvorba ekonomického modelu

Nejprve byl vytvořen diagram celkové spotřeby elektřiny bytového domu před instalací FVE. Tento diagram byl celkovým součtem spotřeb elektřiny jednotlivých bytů a k tomu byla připočtena spotřeba elektrické energie vlastní spotřeby bytového domu. Z tohoto diagramu celkové spotřeby elektřiny bylo možné vypočítat spotřebovanou energii za libovolné měřené období. Období byla vyhodnocována ročně, jelikož se vždy první den v roce zvedly náklady o předepsanou eskalaci.

Následně byl vytvořen diagram celkové spotřeby elektřiny bytového domu po instalaci FVE. Tento diagram znázorňuje chování bytového domu z hlediska distributora elektrické energie. Jeho spotřeba tedy bude snížena o výrobu FVE a v některých případech může mít i zápornou spotřebu a prodávat elektrickou energii. Vyrobená elektrická energie bude tedy mít záporné hodnoty. Tvorbu tohoto diagramu bylo nutné rozdělit do tří hlavních úrovní.

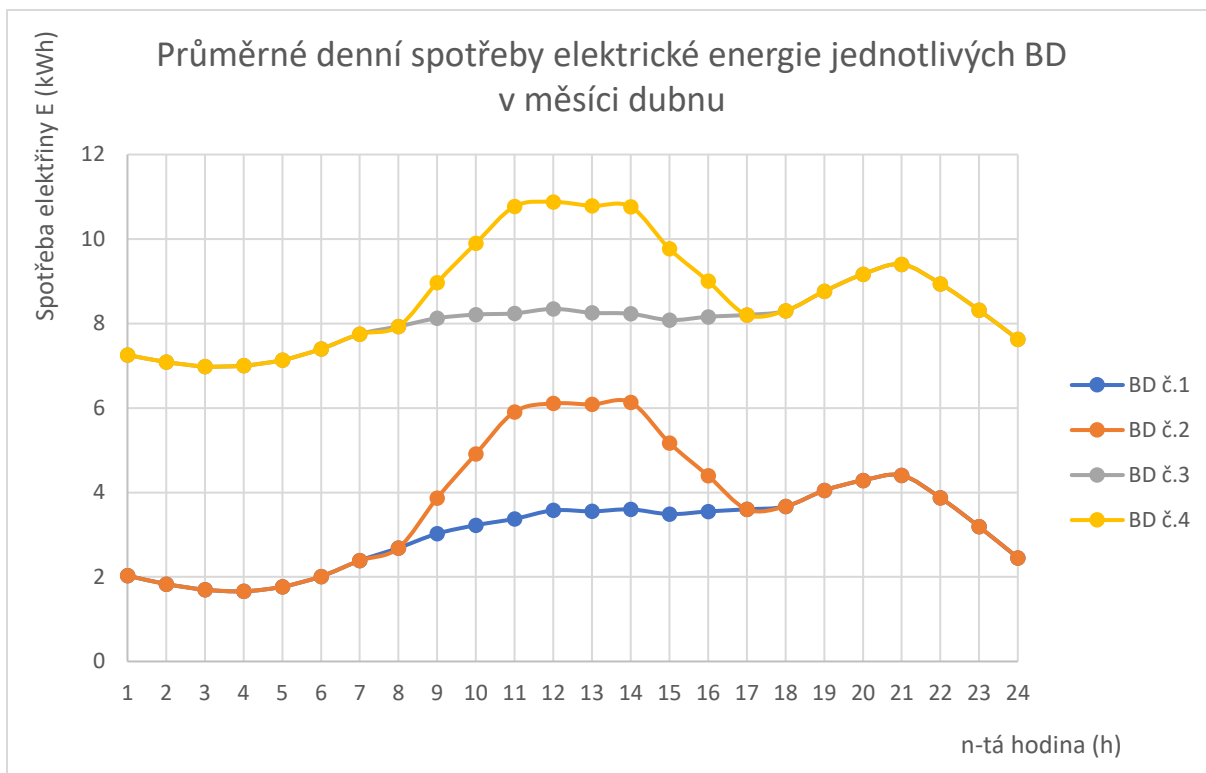
V první úrovni bude proveden součet výroby a vlastní spotřeby objektu. Tímto krokem bude získán diagram elektrické energie, kterou je možné dodat do jednotlivých bytů. Ve druhé úrovni bude k tomuto diagramu připočtena spotřeba všech bytů, které budou získávat TV pouze prostřednictvím domovního rozvodu TV. Ve třetí úrovni budou k tomuto diagramu připočteny ty byty, které se rozhodly si pořídit vlastní topnou patronu s wattrouterem. Jelikož wattrouter je schopný dynamicky reagovat na přetoky elektrické energie do sítě a následně upravovat spotřebu dotčených bytů, bylo tuto skupinu bytů k diagramu přičíst až ve třetí úrovni, aby bylo splněna distribuce elektrické energie podle alokačního klíče jednotlivých bytů. Každý byt s aktivním wattrouterem bude mít ve svém bytě instalovanou topnou patronu u výkonu 3kW.

Vlastní spotřeby jednotlivých BD jsou rozděleny následovně: Do vlastní spotřeby BD č.1 spadá pouze napájení osvětlení a výtahu. Do vlastní spotřeby BD č.2 kromě osvětlení a výtahu je započtena spotřeba nabíjecí stanice pro EV. Vlastní spotřeba BD č.3 je tvořena napájením osvětlení, výtahu a systému TČ. Do vlastní spotřeby BD č.4 je započítáno napájení osvětlení, výtahu, systému TČ a nabíjecí stanice pro EV. Přehledné vyobrazení rozdělení vlastních spotřeb jednotlivých BD je možné pozorovat v Tabulce č. 3.

BD	č.1	č.2	č.3	č.4
Vlastní spotřeba	Osvětlení, výtah	Osvětlení, výtah, EV	Osvětlení, výtah, TČ	Osvětlení, výtah, EV, TČ

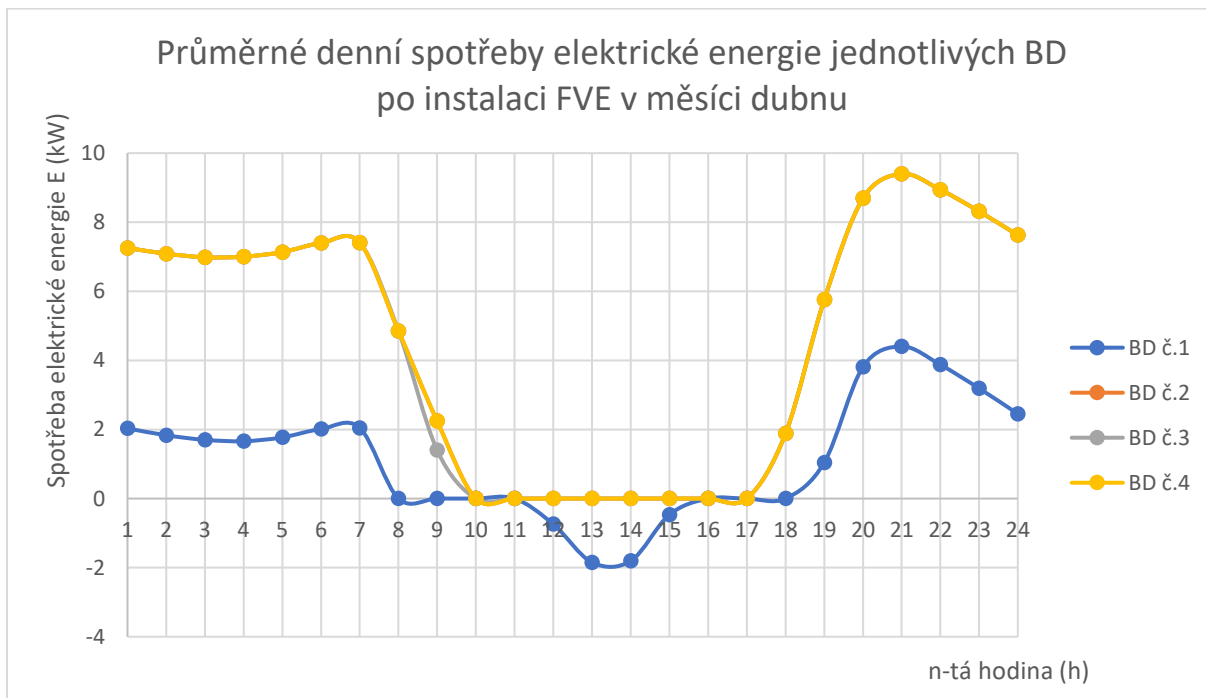
Tabulka 3: Vlastní spotřeby jednotlivých BD

Výsledné diagramy průměrné denní spotřeby elektrické energie před instalací FVE je možné pozorovat v Grafu 11. Pro přehlednost jsou vyobrazeny pouze průměrné denní spotřeby elektrické energie pro měsíc duben.



Graf 11: Průměrné denní spotřeby elektrické energie jednotlivých BD v měsíci dubnu

V Grafu 12 je možné pozorovat, jak by vypadaly spotřeby elektrické energie jednotlivých BD po instalaci FVE. Pro porovnání jsem opět použil hodnoty pro měsíc duben.



Graf 12: Průměrné denní spotřeby elektrické energie jednotlivých BD po instalaci FVE v měsíci dubnu

Z Grafu 12 je možné pozorovat, že v oblastech okolo poledne u některých bytových domů docházelo k záporné spotřebě elektrické energie. Tato záporná spotřeba elektrické energie představuje přebytek elektřiny, které jsou následně prodávány a posílány do distribuční sítě.

Z jednotlivých diagramů spotřeb byla následně vypočítána celková roční spotřeba elektrické energie pro jednotlivé BD. Poté bylo nutné odhadnout počáteční náklady instalace FVE. Bylo předpokládáno, že v BD č.3 a v BD č.4 již byla TČ instalována dříve, tudíž systém TČ nebyl součástí počátečních nákladů. Na všech BD bude instalován stejná FVE, z tohoto důvodu budou předpokládáné náklady až na instalaci nabíjecí stanice EV na všech BD stejné. Předpokládáné počáteční náklady jsou 1 080 000 Kč + případných 60 000 Kč za instalaci nabíjecí stanice EV. Předpokládá se, že po 12 letech dojde k preventivní reinvestici do střídačů za nové. Od 15. roku bude docházet k menším reinvesticím za poruchové FV moduly. Následně bude nutné provádět průběžnou údržbu FV systému se zajišťováním pravidelných revizí.

Pro porovnávání ekonomické výhodnosti investice jsem zvolil ukazatel Čistě současné hodnoty (dále jen NPV), který podle mého názoru bude dostatečným ukazatelem pro porovnávání. Cena za GJ u BD odebírajících teplo z CZT je uvažována na 1200 Kč za GJ. Předpokládaná roční spotřeba tepelné energie BD je 165 GJ za rok. V bytových domech nebude docházet ke změně způsobu vytápění objektu, tudíž se budou uvažovat pouze úspory elektrické energie ve stávajících vytápěcích systémech.

V ekonomickém modelu bude docházet k porovnávání ročních spotřeb elektrické energie mezi variantami BD bez FVE a BD s instalovanou FVE. Úspory elektrické energie, které bytové družstvo získalo instalací FVE se budou v ekonomickém modelu jevit jako výnosy z úspor. Následně bude předpokládáno, že distributor povolil přetoky elektrické energie do distribuční sítě, tudíž bude bytové družstvo získávat výnosy z prodeje elektrické energie.

V některých bytech dojde k instalaci topných patron s wattroutery, které dokážou detekovat přetoky elektrické energie a reakčně zvýšit spotřebu elektrické energie. Tímto způsobem bude možné snížit množství dodávek tepelné energie na ohřev TV, čímž pro dané byty dojde k dalším úsporám.

Množství ušetřené a prodané elektrické energie v jednotlivých BD je možné pozorovat v Tabulce 4.

	BD č.1	BD č.2	BD č.3	BD č.4
Elektřiny ušetřeno ročně [kWh]	12057	16195	18518	21646
Elektřiny prodáno ročně [kWh]	1633	224	816	85

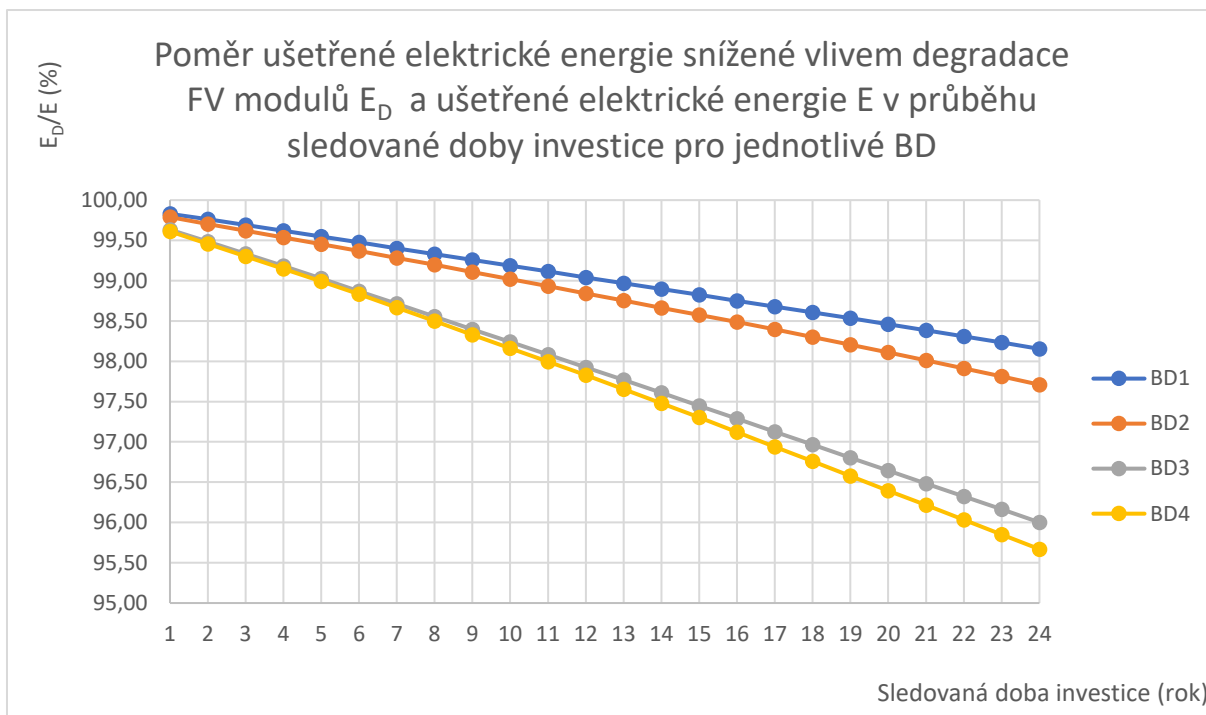
Tabulka 4: Množství ušetřené a prodané elektrické energie jednotlivých BD

Hodnoty ušetřené a prodané elektrické energie, které jsou uvedeny v tabulce 4 platí pouze pro první rok fungování FVE. V dalších letech bude docházet ke snižování výkonu vlivem degradace FV modulů. Tato degradace je součástí výpočtového ekonomického modelu.

Dle technického listu FV modulu je definovaný pokles výkonu po prvním roce provozu roven 1 %. Od druhého do třicátého roku provozu je definovaný pokles výkonu roven 0,4 %.

Tyto hodnoty nejsou zanedbatelné, tudíž bylo nutné provést simulaci, která popisovala, k jak výraznému poklesu ušetřené a prodané elektrické energie bude docházet vlivem degradace FV modulů. Předpokládaný instalovaný výkon po 24 letech by měl být na přibližně 90 % počátečního instalovaného výkonu. Této hodnoty bylo dosaženo i provedením simulace degradace panelu.

Poměr ušetřené elektrické energie snížené vlivem degradace FV modulů E_D a ušetřené elektrické energie E na počátku investice je možné pozorovat v Grafu 13.

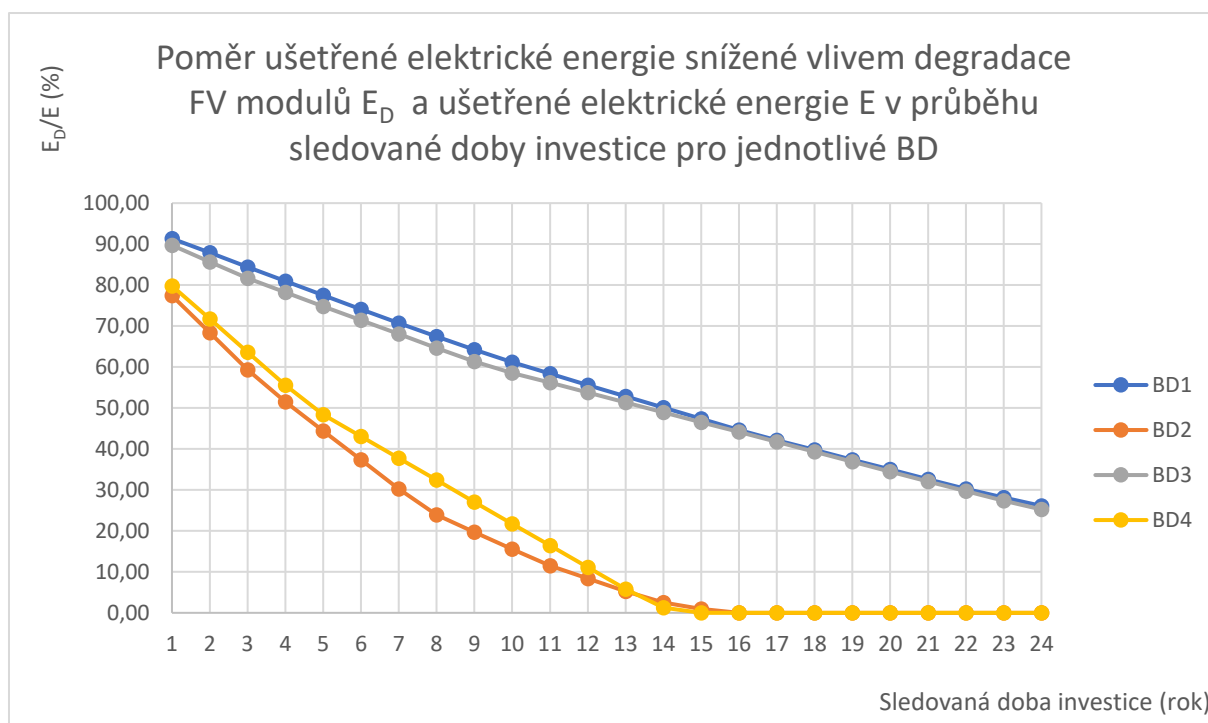


Graf 13: Poměr ušetřené elektrické energie snížené vlivem degradace FV modulů E_D a ušetřené elektrické energie E v průběhu sledované doby investice pro jednotlivé BD

Z Grafu 13 bylo zjištěno, že BD s větší celkovou spotřebou jsou náchylnější na pokles ušetřené elektrické energie s pokračující degradací. V případě ušetřené elektrické energie dochází vlivem degradace k poklesu maximálně o 4,4 %.

Zatímco pokles instalovaného výkonu byl odhadován na 10 %. Pokles roční ušetřené elektrické energie se pohyboval mezi 1,5 % a 4,5 %. Tento rozdíl byl pravděpodobně způsoben instalovanými wattroutery, které při nadbytku elektrické energie v počátečních letech aktivně zvyšovaly spotřebu elektrické energie v BD. V pozdějších letech, kdy docházelo ke stále znatelnějšímu poklesu instalovaného výkonu wattroutery tento pokles v podstatě kopírovaly. Pokles ušetřené elektrické energie se projevoval spíše pozdějším počátkem výroby nebo dřívějším zastavením výroby v daném dnu.

Výnosy z ušetřené elektrické energie jsou hlavními zdroji příjmů, z tohoto důvodu i takto nízký pokles může mít výrazný vliv na celkové rozhodování se v rámci investice. Poměr prodané elektrické energie snížené vlivem degradace FV modulů E_D a prodané elektrické energie E na počátku investice je možné pozorovat v Grafu 14.



Graf 14: Poměr prodané elektrické energie snížené vlivem degradace FV modulů E_D a prodané elektrické energie E v průběhu sledované doby investice pro jednotlivé BD

Z Grafu 14 bylo zjištěno, že BD se nabíjecí stanicí EV od 16. roku investice neměly žádné přetoky elektrické energie do sítě, a tudíž tuto energii nemohli prodávat. Tento jev byl pravděpodobně způsoben tím, že v časech největších výkonů FVE docházelo k nabíjení EV, které tuto energii kompletně využilo. Avšak i u BD bez nabíjecí stanice EV došlo vlivem pokračující degradace k poklesu na 30 % prodávané elektrické energie oproti počátku investice. Výnosy z prodávané elektrické energie nemají oproti výnosům z ušetřené elektrické energie takovou váhu, jejich pokles je ale výrazný, tudíž by mohlo zanedbáním těchto vlivů k nepřesnostem.

Od 15. do 24. roku bude sice docházet k postupné výměně FV modulů za nové, ale bude docházet pouze k výměně nefunkčních FV modulů. Nové FV moduly budou pořád zapojeny do série se staršími, již degradovanými moduly, tudíž se předpokládá, že vliv nových modulů bude mít zanedbatelný vliv na množství ušetřené a prodané elektrické energie.

Po vypočtení NPV u jednotlivých BD, které je možné pozorovat v Tabulce 5, bylo možné vytvářet závěry týkající se ekonomické výhodnosti jednotlivých možností.

BD	NPV
č.1	-197 035 Kč
č.2	53 451 Kč
č.3	451 819 Kč
č.4	601 595 Kč

Tabulka 5: NPV investic na jednotlivých BD

Z vypočtených NPV bylo zjištěno, že ekonomicky nejvýhodnějším řešením bylo na BD s TČ a nabíjecí stanicí pro EV. Bylo zjištěno, že zvýšením spotřeby elektrické energie během dne dochází k efektivnějšímu využití FVE. K největším úsporám docházelo v kombinaci FVE s TČ, kdy i s nižší výrobou elektrické energie v zimním období docházelo k uspořené značné části spotřeby elektrické energie. Avšak je zde nutné připomenout, že existence stávajících TČ v BD č.3 a v BD č.4 byl jedním z předpokladů. Při nutnosti instalace TČ společně s FVE by tyto varianty nebyly takto výhodné. Také bych chtěl zmínit, že ani jedna z možností nečerpá žádnou z možných dotací od státu. Tento předpoklad jsem zvolil, protože jsem chtěl zjistit, jakým způsobem je investice do instalace FVE výhodná bez umělého zlepšování podmínek. S dotacemi by se totiž NPV všech BD zdatelně zvýšila.

KAPITOLA 3: TVORBA VÝPOČETNÍHO NÁSTROJE PRO VYTVOŘENÍ ŽÁDOSTI O REGISTRACI SDÍLENÍ ELEKTŘINY

3.1 Úvod do problematiky

Jedním z bodů zadání mé diplomové práce bylo vytvořit výpočetní nástroj prostřednictvím programu MS Excel, který by byl snadný, přehledný a usnadnil by vyplňování žádostí o registraci sdílení elektřiny v BD. Každá distribuční společnost má pro svoje zákazníky k dispozici formuláře, prostřednictvím kterých lze o registraci sdílení elektřiny žádat. Rozhodl jsem se tedy vytvořit nástroj v programu MS Excel, pomocí kterého by bylo možné tyto formuláře vyplňovat.

Nejprve jsem se pokoušel získat formuláře jednotlivých distribučních společností. Povedlo se mi získat formuláře od společnosti EG.D, a.s. a PREDistribuce, a.s., jelikož tyto společnosti mají své formuláře veřejně k dispozici. Společnost ČEZdistribuce, a.s. tyto formuláře veřejně k dispozici nemá, z tohoto důvodu jsem se rozhodl vytvořit nástroje pouze pro formuláře společností EG.D, a.s. a PREDistribuce, a.s.

Následně bylo potřeba zajistit vyplnění formulářů prostřednictvím programu MS Excel. Získané formuláře byly v elektronické podobě ve formátu PDF, přičemž bylo možné do těchto PDF zapisovat informace prostřednictvím připravených polí. Data, jež bylo nutné zapsat do formuláře, sestávala zejména z identifikace osob, jež se sdílení elektrické energie bude týkat, dále z technických údajů OMv a OMP. Formuláře jednotlivých společností nejsou shodné, některá pole ve formulářích jsou řešena odlišným způsobem. Z tohoto důvodu jsem se rozhodl vytvořit pro každou společnou zvláštní list, ve kterém by bylo možné vyplňovat informace požadované konkrétní distribuční společností.

3.2 Tvorba výpočetního nástroje

V programu MS Excel je možné prostřednictvím programovacího jazyka Visual Basic vytvořit makra, která pomáhají například s vytvořením uživatelského rozhraní v MS Excel. Mým cílem bylo vytvořit soubor, který je možné exportovat do příslušného formuláře. Jelikož nemám mnoho užitečných zkušeností s programováním, požádal jsem pana Ing. Lukáše Korela z fakulty informačních technologií ČVUT o konzultaci v oblasti tvoření maker v programu MS Excel a v oblasti vytváření správné XML notace. S jeho pomocí jsem mohl vhodně zanalyzovat formuláře jednotlivých distribučních společností. Zde jsem narazil na problém, když bylo zjištěno, že PDF soubory s formuláři jsou pravděpodobně z bezpečnostních důvodů zamčené. To znamenalo, že vytvoření pouze souboru v programu MS Excel k vyplnění formuláře nestačilo. Zároveň ale bylo zjištěno, že pokud by byl vytvořen XML soubor s potřebnými informacemi, bylo by možné tento soubor importovat do formuláře.

Nejprve byly zjištěny názvy jednotlivých polí ve daném formuláři. Následně bylo v programu MS Excel vytvořeno uživatelské rozhraní, které zároveň přiřazovalo vyplněné hodnoty ke skutečným názvům získaných z formuláře. Následně byly pomocí excelovské funkce „TEXTJOIN“ vytvořeny XML elementy. Tyto elementy byly vytvořeny kombinací názvu pole a přidělené hodnoty. Následně byly tyto elementy složeny do jednoho celkového stringu v buňce funkcí „CONCAT“. Tento string již bylo pouze nutné exportovat do textového souboru. Samotný export stringu do textového souboru byl proveden jednoduchým makrem v excelu, kdy jsem si do proměnné uložil obsah buňky a tuto proměnnou jsem následně uložil do nově vytvořeného souboru. Následně bylo potřeba určit umístění souboru. Toto určení bylo součástí již zmíněného makra. Nejprve byla zjištěna cesta zdrojového programu v MS Excel a následně byla cesta nově vytvořeného souboru nastavena do stejného adresáře, v jakém byl zdrojový program v MS Excel. Takto se všechny vygenerované soubory vždy vygenerovaly v adresáři, jež byl shodný s adresářem, v němž je uložený program v MS Excel. Aby export fungoval požadovaným

způsobem, doporučuji mít program v MS Excel uložený na lokálním úložišti. Není garantováno, že se na sdíleném úložišti (např. One Drive) budou textové soubory generovat. Jelikož jsem potřeboval vytvořit export pro obě distribuční společnosti do dvou separátních souborů, vytvořil jsem si pro každý formulář separátní makro.

Součástí programu byla i kontrola alokačního rozsahu. Pokud součet alokačních rozsahů všech OMP nebyl roven 100 %, v pravé horní části na tento fakt bude uživatel upozorněn zprávou „Špatně alokováno“. Pokud bude součet všech alokovaných rozsahů roven 100 %, zpráva bude znít „Správně alokováno“. Zároveň jsem pro snazší používání přidal do programu tlačítko s názvem „Export do textového souboru“, které spouštělo výše zmíněné makro.

Výstupem z programu v MS Excel byl textový soubor, který bylo možné importovat do formuláře a tím došlo k jeho vyplnění. Vytvořený program v MS Excel je součástí této diplomové práce.

KAPITOLA 4: PROVEDENÍ INSTALACE FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU A ELEKTROINSTALACE S NÍM SPOJENÉ

4.1 Potřebné informace

Návrh instalace FVE je prováděn prostřednictvím projektové dokumentace. Rozsah projektové dokumentace je závislý na jejím stupni. V diplomové práci jsem se rozhodl pro vytvoření projektové dokumentace pro část FVE ve stupni dokumentace provedení stavby (dále jen DPS). Jedná se o dokumentaci technologického zařízení (značena D.1.4.4), jež je součástí celkové technické dokumentace.

Pro vytvoření tohoto projektu je potřeba získat co největší množství informací od zadavatele. Důležitost jednotlivých podkladů je různá. Nejdůležitějšími podklady jsou: SOP, technologické provedení FVE, identifikační údaje dotčeného objektu s půdorysy a popis stávající elektrické sítě v dotčeném objektu. S těmito podklady lze bez problému vytvořit návrh instalace FVE. Dodatečně je možné přikládat i fotodokumentaci objektu, která může doplnit informace ohledně oblastí, ve kterých bude umístěn fotovoltaický systém.

4.2 SOP

SOP je naprosto zásadním dokumentem, bez něhož nelze dokončit projektovou dokumentaci. Ze SOP je možné získat informace o odběrném místě objektu, podmínky připojení FVE do distribuční soustavy, rezervovaný výkon, použité měřicí transformátory proudu (dále jen MTP).

4.2.1 Rezervovaný výkon

Rezervovaným výkonem se rozumí výkon, který je povoleno dodávat do distribuční soustavy. Tato povolení vydává vždy distributor elektřiny pro příslušnou oblast. Zákazník si nejprve podá žádost na připojení FVE k distribuční síti. Distributor se následně může zachovat třemi způsoby. Může povolit žádaný rezervovaný výkon v plném rozsahu, nebo může povolit nenulový rezervovaný výkon, který je ale nižší než žádaný instalovaný výkon zákazníkem, nebo může povolit pouze nulový rezervovaný výkon. V oblastech s větší koncentrací již připojených FVE je větší šance, že distributor jakýmkoliv způsobem omezí žádaný rezervovaný výkon zákazníkem. V případě, kdy distributor z jakéhokoliv důvodu omezí hodnotu rezervovaného výkonu, je zákazník povinen zajistit, aby nedošlo k překročení limitu stanoveného distributorem. Splnění této podmínky se zpravidla řeší instalací smartmeteru do fotovoltaického systému, kdy při překročení zadaného výkonu měřicími cívkami smartmeteru dojde k omezení výkonu střídače. V situaci, jež je uvažována v této práci je rezervovaný výkon shodný s instalovaným výkonem FVE.

4.2.2 Chování FVE v distribuční soustavě, připojovací podmínky a nastavení ochrany

Podmínky připojení FVE do distribuční soustavy jsou detailně popsány v příloze č.4 Pravidel provozování distribučních soustav (dále jen PPDS).¹² Pokud distributor nedefinuje připojovací podmínky FVE ve SOP, platí připojovací podmínky FVE z přílohy č. 4 PPDS. Připojovací podmínky obsažené ve SOP většinou nepřidávají pravidla, jež nejsou v příloze č.4 PPDS, mění pouze hodnoty níže popsaných veličin. Z tohoto důvodu bude předpokládáno, že hodnoty sledovaných veličin budou odpovídat hodnotám z přílohy č. 4 PPDS.

¹² Pravidla provozování distribučních soustav, příloha 4. 2022.

Výrobní moduly (dále jen VM) jsou rozdělovány podle instalovaného výkonu do výkonových kategorií definovaných v nařízení komise (EU) 2016/631¹³. Rozdělení výkonových kategorií je možné pozorovat v Tabulce 6.

Kategorie VM	Podkategorie VM	Rozsah výkonů VM
A	A1	$\geq 800 \text{ W}$
		$\leq 11 \text{ kW}$
	A2	$> 11 \text{ kW}$
		$< 100 \text{ kW}$
B	B1	$\geq 100 \text{ kW}$
		$> 1 \text{ MW}$
	B2	$\geq 1 \text{ MW}$
		$< 30 \text{ MW}$
C	C	$\geq 30 \text{ MW}$
		$< 75 \text{ MW}$
D	D	$\geq 75 \text{ MW}$

Tabulka 6: Rozdělení výkonových kategorií VM

Instalovaný výkon VM, který je zpracováván v této práci, spadá do kategorie A2. Z tohoto důvodu se zde budu pouze věnovat požadavkům na VM kategorie A2 s připojením do sítě na nízkém napětí. V příloze 4 jsou vypsány články z nařízení komise (EU) 2016/631, které jsou pro sestavení požadavků pro výrobu nejdůležitější. V tomto nařízení se definuje požadované chování VM v síti. Všechna tato pravidla se aplikují prostřednictvím vhodného nastavení střídače ve FV systému.

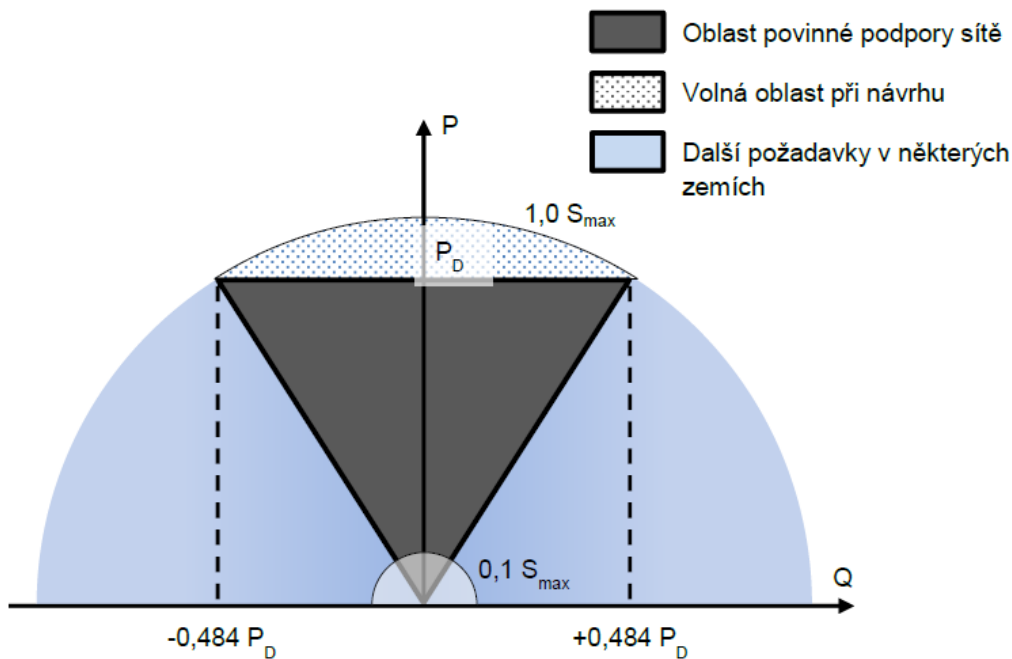
Požadované chování VM v síti se zaměřuje zejména na robustnost VM. VM musí vydržet pracovat po definovanou dobu při frekvencích mimo povolený rozsah, v případě kontinentální Evropy je povoleným rozsahem myšleno 49 Hz až 51 Hz. VM musí zároveň vydržet pracovat na napěťových hodnotách v rozsahu $U_n - 15 \%$ a $U_n + 10 \%$, kde U_n je v tomto případě 400 V.

Zároveň je po VM požadováno, aby do určité míry prováděl podporu sítě, do níž je připojen. Tuto podporu lze provádět buď statickým řízením napětí nebo dynamickou podporou sítě.

Všechny obrázky týkající se připojovacích podmínek do DS jsou převzaty z přílohy č. 4 PPDS.

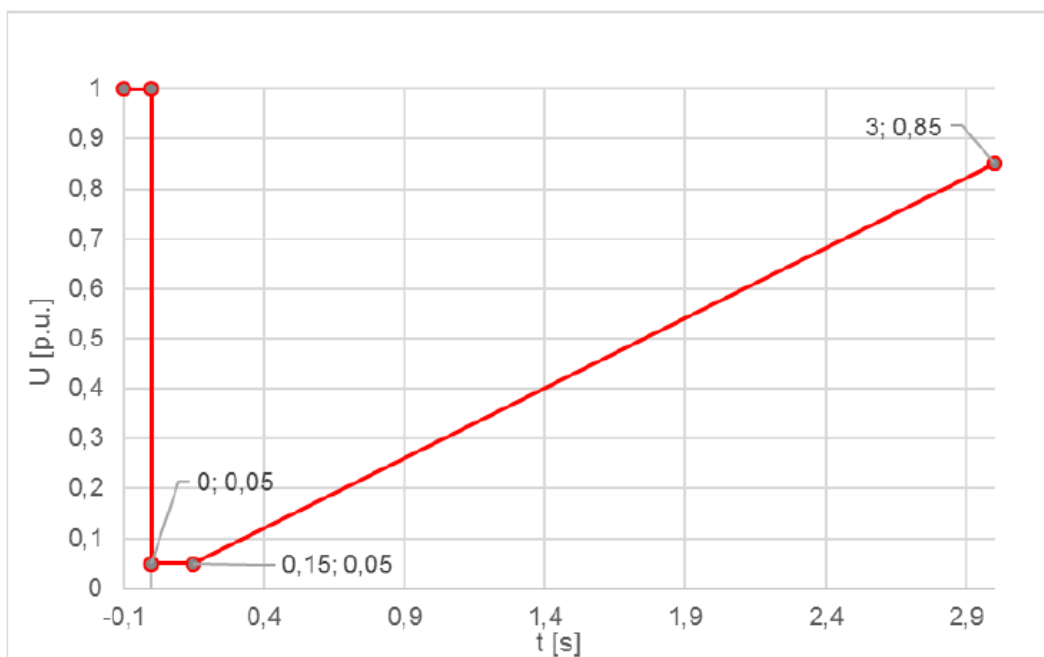
Statické řízení napětí má za normálního provozu v síti udržovat napětí ve smluvně stanovených mezích, pokud dochází k pomalým změnám napětí. Tento proces je řešen dodávkou nebo odběrem jalového výkonu do sítě. Na Obrázku 4, je možné pozorovat grafické znázornění minimálních i nepovinných požadavků dodávky nebo odběru jalového výkonu. Veličinou P_D je myšlený navrhovaný výkon VM.

¹³ Nařízení Komise (EU) 2016/631 ze dne 14. dubna 2016, kterým se stanoví kodex sítě pro požadavky na připojení výroben k elektrizační soustavě (Text s významem pro EHP). In: . 2016.



Obrázek 4: Grafické znázornění minimálních i nepovinných požadavků dodávek nebo odběrů jalového výkonu¹⁴

V případě poruchy, při které dochází k rychlé změně napětí sítě statické řízení není dostatečné. Pro tyto případy je využíváno dynamické podpory sítě. Dynamická podpora sítě probíhá na napěťových hladinách velmi vysokého napětí a zvláště vysokého napětí, při poruše se snaží udržovat napětí v síti, aby nedošlo k odpojení výkonů, které napájejí síť na nízkém a vysokém napětí a následnému rozpadu sítě. FVE je kategorizována jako nesynchronní VM. Z tohoto důvodu je nutné, aby v případě krátkodobého poklesu napětí nedošlo k odpojení VM od sítě. Posuzování, zda se VM smí, nebo nesmí odpojit od sítě, probíhá prostřednictvím FRT křivky. Tuto křivku, je možné pozorovat na Obrázku 5.



Obrázek 5: Časový průběh napětí v místě připojení za podmínek poruchy pro nesynchronní VM kategorie A2 (FRT křivka)¹⁵

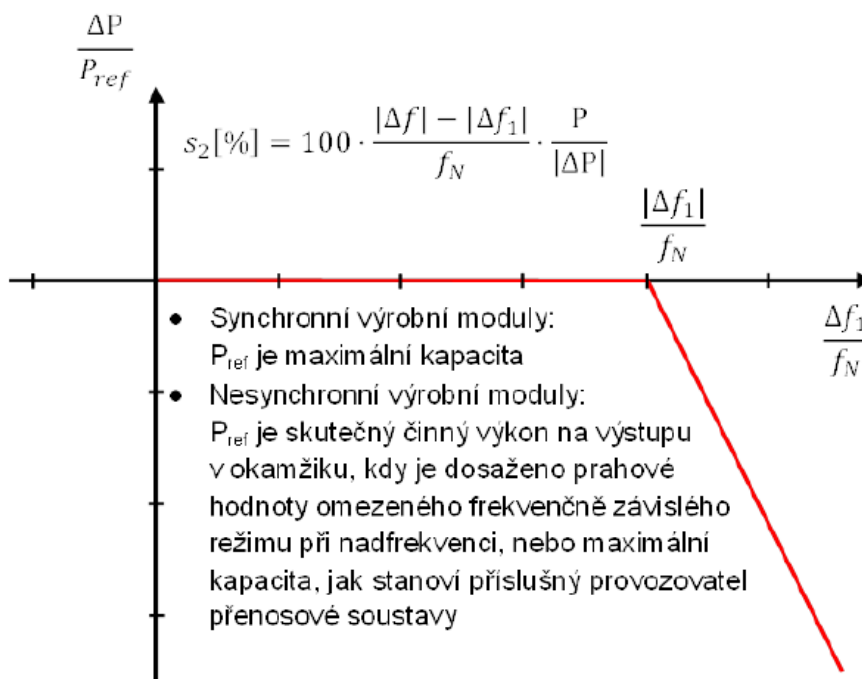
¹⁴ Pravidla provozování distribučních soustav, příloha 4. 2022.

¹⁵ Pravidla provozování distribučních soustav, příloha 4. 2022.

Pokud je napětí v místě připojení v oblasti nad FRT křivkou, nesmí dojít k odpojení VM od sítě. Pokud je naopak napětí v místě připojení pod FRT křivkou, k odpojení již dojít může.

VM musí zároveň umět překlenout poruchu, při které dojde k nadpětí. Pokud vlivem poruchy dojde k nadpětí o hodnotě 120 % dohodnuté hodnoty napětí maximálně po dobu 1 s nebo k nadpětí o hodnotě 115 % dohodnuté hodnoty napětí maximálně po dobu 60 s, VM se nesmí odpojit od sítě. Při překročení těchto časových úseků se již VM může od sítě odpojit.

Zároveň je po VM požadováno, aby případě výskytu nadfrekvencí automaticky snižoval svůj činný výkon dle Obrázku 6.

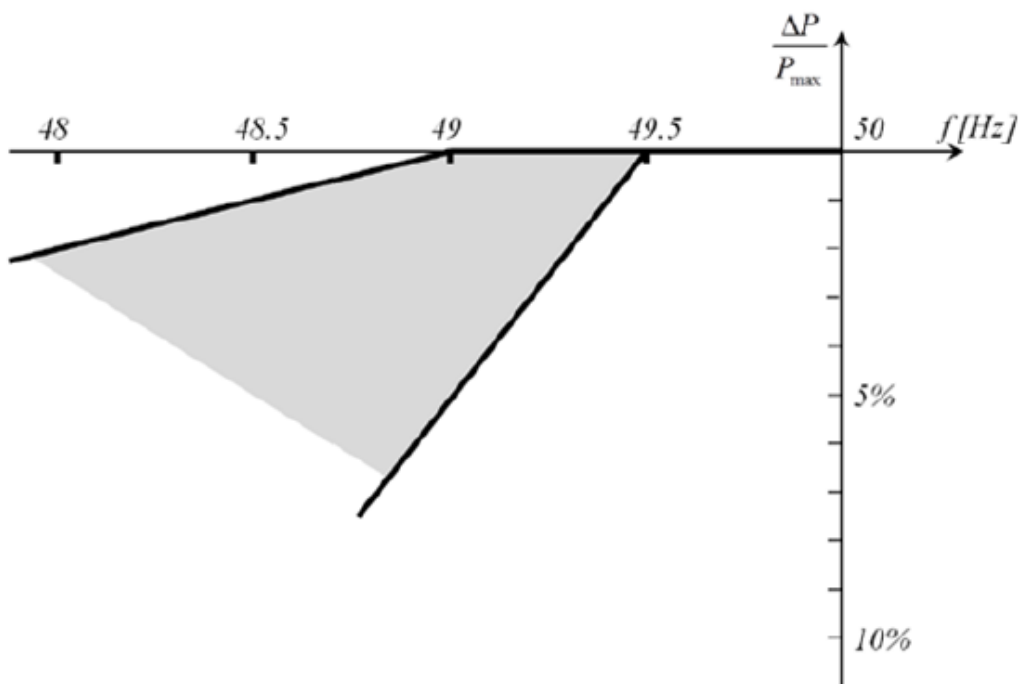


Obrázek 6: Schopnost frekvenční odezvy činného výkonu u VM v omezeném frekvenčně závislém režimu při nadfrekvenci¹⁶

Kde Δf_1 je prahová frekvence (v ČR zpravidla $\Delta f_1 = 50,2$ Hz), s_2 je statika (v ČR zpravidla $s_2 = 5$ %), f_N je jmenovitá frekvence sítě (v ČR zpravidla $f_N = 50$ Hz) a Δf je odchylka frekvence v soustavě.

S klesající frekvencí musí VM klesat činný výkon v předepsaných mezích, které je možné pozorovat na Obrázku 7.

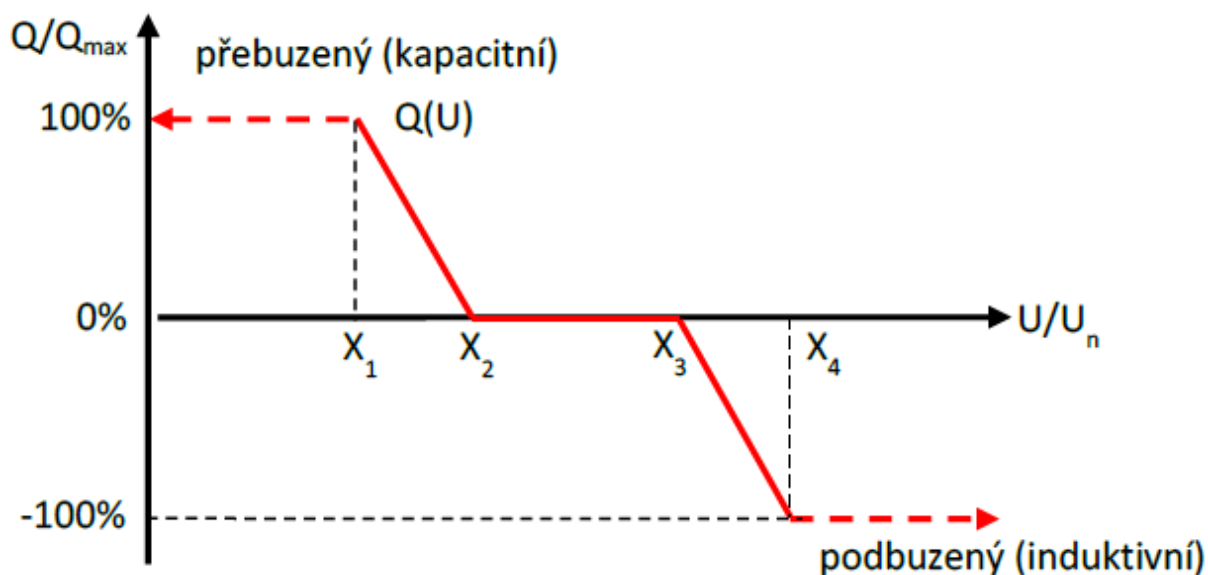
¹⁶ Pravidla provozování distribučních soustav, příloha 4. 2022.



Obrázek 7: Maximální snížení činného výkonu s klesající frekvencí¹⁷

VM kategorie A2 musí být vybaven komunikačním rozhraním, prostřednictvím kterého by provozovatel distribuční soustavy (dále jen PDS) mohl snižovat činný výkon VM v závislosti na provozních podmínkách sítě. Zároveň gradient zvyšování, nebo poklesu činného výkonu musí být minimálně $2 \%P_n$ za jednu minutu a maximálně $40 \%P_n$ za jednu minutu.

U VM kategorie A2 je jalový výkon řízen autonomně, PDS zadá podle jakých kritérií bude VM dodávat jalový výkon do sítě. V případě této práce bude předpokládáno, že žádaná hodnota jalového výkonu bude závislá na napětí. Požadovaná závislost jalového výkonu na napětí je znázorněna pomocí funkce $Q(U)$, kterou je možné pozorovat na Obrázku 8.



Obrázek 8: Požadovaná závislost jalového výkonu na napětí¹⁸

¹⁷ Pravidla provozování distribučních soustav, příloha 4. 2022.

¹⁸ Pravidla provozování distribučních soustav, příloha 4. 2022.

Funkce $Q(U)$ je definována pomocí bodů X_1 až X_4 . V bodech X_3 a X_4 VM začíná dodávat jalový výkon. V bodech X_1 a X_2 VM dodává maximální jalový výkon. O pozicích těchto bodů na ose x rozhoduje PDS. V rámci této práce bude předpokládáno, že $X_1 = 0,94$, $X_2 = 0,97$, $X_3 = 1,05$ a $X_4 = 1,08$. Při skokové změně napětí musí VM dosáhnout 90 % požadovaného jalového výkonu za dobu, jež je definována PDS.

Pokud z jakéhokoliv důvodu došlo k odpojení VM od sítě. Je možné se připojit až po splnění definovaných kritérií. Jestliže se po dobu 5 minut napětí pohybuje mezi $85 \%U_n$ a $110\%U_n$, VM smí postupně najíždět svůj výkon od nuly s maximálním gradientem $10 \%P_n$ za minutu. Pokud není VM schopen postupného najetí na výkon, může se výrobně připojit do sítě s plným výkonem v čase, jež je stanovený PDS, a zároveň je na intervalu 0 až 20 minut. V průběhu čekání na automatické spuštění bude probíhat stejné měření napětí a frekvence jako v případě postupného najíždění výkonu, které by potenciálně mohlo zastavit proceduru automatického spuštění VM do sítě.

Aby se mohl VM připojit do distribuční soustavy, nesmí vyvolávat v síti nežádoucí jevy. Z toho důvodu jsou PDS stanoveny podmínky, za kterých se VM může připojit do sítě. Jedná se zejména o připojení do sítě až v momentě, kdy jsou na všech fázích sítě jmenovité hodnoty napětí. Dále musí být zabráněno zvyšování napětí v síti po připojení VM nad povolenou mez. Pro síť nízkého napětí je maximální povolený nárůst roven 3 % jmenovité hodnoty napětí. Následně je nutné zajistit dostatečnou míru symetrie napětí a při spínání generátorů do sítě nesmí docházet k nepřijatelným zpětným vlivům. Jelikož uvažovaný VM není schopen ostrovního provozu, při připojení VM do sítě musí být AC strana VM bez napětí.

Další důležitou oblastí je nastavení ochran rozpadového místa. Rozpadovým místem je myšlený prvek, jež odděluje VM od distribuční soustavy. V mém případě se tento prvek nachází ve střídači. Tyto ochrany lze nastavit přímo v systému střídače a jsou v souladu s přílohou č.4 PPDS, ve které jsou definovány možné rozsahy nastavení ochran v případě nadpětí, podpětí, nadfrekvencí, podfrekvencí a směru jalového výkonu s podpětím. Zároveň jsou v příloze č. 4 PPDS doporučeny nastavení jednotlivých ochran. Tuto tabulku, jež byla převzatá z přílohy č. 4 PPDS je možné pozorovat na Obrázku 9.

funkce	Rozsah nastavení	Doporučené nastavení ochrany ⁽²⁾	
Nadpětí 3. stupeň U >>	1,00 – 1,30 U _n	1,25 U _n	0,1 s
Nadpětí 2. stupeň U >>	1,00 – 1,30 U _n	1,2 U _n	5s
Nadpětí 1. stupeň U >	1,00 – 1,30 U _n	1,15 U _n ⁽¹⁾	≤ 60 s
Podpětí 1. stupeň U <	0,10 – 1,00 U _n	0,7 U _n	0 – 2,7 s
Podpětí 2. stupeň U <<	0,10 – 1,00 U _n	0,3 U _n (0,45 U _n) ⁽³⁾	≥ 0,15 s
nadfrekvence f >	50 – 52 Hz	51,5 Hz	≤ 100 ms
podfrekvence f <	47,5 – 50 Hz	47,5 Hz ⁽⁴⁾	≤ 100 ms
směr jalového výkonu a podpětí (Q _→ & U<) ⁽⁵⁾	0,70 – 1,00 U _n	0,85 U _n	t ₁ = 0,5 s

- (1) Pro 1. stupeň nadpětí se použijí 10-minutové hodnoty odpovídající ČSN EN 50160. Výpočet 10- minutové hodnoty musí odpovídat 10 minutové agregaci podle ČSN EN 61000-4-30, třídy S. Tato funkce musí být založena na průměrné efektivní hodnotě napětí v intervalu 10 minut. Odchylka od ČSN EN 61000-4-30 spočívá v klouzavém měřicím okně. Pro porovnání s vypínací mezí postačí výpočet nové 10-minutové hodnoty nejméně každé 3 s.
- (2) Vypínací časy u nadpětí a podpětí je zapotřebí koordinovat s parametry FRT křivek části 9.2.2.1 a 9.2.2.2
- (3) Tento napěťový stupeň vyvolá rychlé odpojení od sítě při blízkých zkratech. Nastavení 0,3 U_n se volí pro výrobní připojené do sítě 110 kV a napětí měřené na straně vn (odpovídá mu cca 15 % U_n v přípojném bodě. Nastavení 0,45 U_n se volí pro výrobní připojené do sítě vn a při měření napětí na straně nižšího napětí.
- (4) Toto nastavení je závislé na výkonu výrobní a kmitočtově závislém přizpůsobení výkonu.
- (5) Ochrana se použije u výroben s instalovaným výkonu nad 30 kVA, nestanoví-li PDS jinak

Obrázek 9: Ochrany rozpadového místa s VM A2¹⁹

V posledním sloupci se nacházejí doby, za které je povoleno se automaticky odpojit od distribuční soustavy. Pokud není ve SoP řečeno jinak, doporučuje se nastavit ochrany rozpadového místa na hodnoty pozorovatelné na Obrázku 9. V případě uvažované FVE v této práci je předpokládáno, že PDS stanovil vlastní povinné nastavení ochrany. Ochrany, jež nebyly PDS zmíněny budou nastaveny dle doporučeného nastavení ochrany z Obrázku 9. Nastavené ochrany je možné pozorovat v Tabulce 7.

¹⁹ Pravidla provozování distribučních soustav, příloha 4. 2022.

Veličina	Nastavení pro vypnutí	Vypínací čas t
Nadpětí 1. stupeň	$U > 115 \% U_n$ (264,5V)	≤ 60 s
Nadpětí 2. stupeň	$U > 120 \% U_n$ (276 V)	5 s
Nadpětí 3. stupeň	$U > 125 \% U_n$ (287,5V)	0,1 s
Podpětí 1. stupeň	$U < 70 \% U_n$ (161 V)	0 až 2,7 s
Podpětí 2. stupeň	$U < 30 \% U_n$ (69 V)	0,15 s
Nadfrekvence	$f > 50$ až 52 Hz	$\leq 0,1$ s
Podfrekvence	$f < 47,5$ až 50 Hz	$\leq 0,1$ s
Jal. výkon/podpětí: (Q->& U<)	85 % U_n (195,5V)	0,5 s

Tabulka 7: Nastavení ochran střídače dle SoP

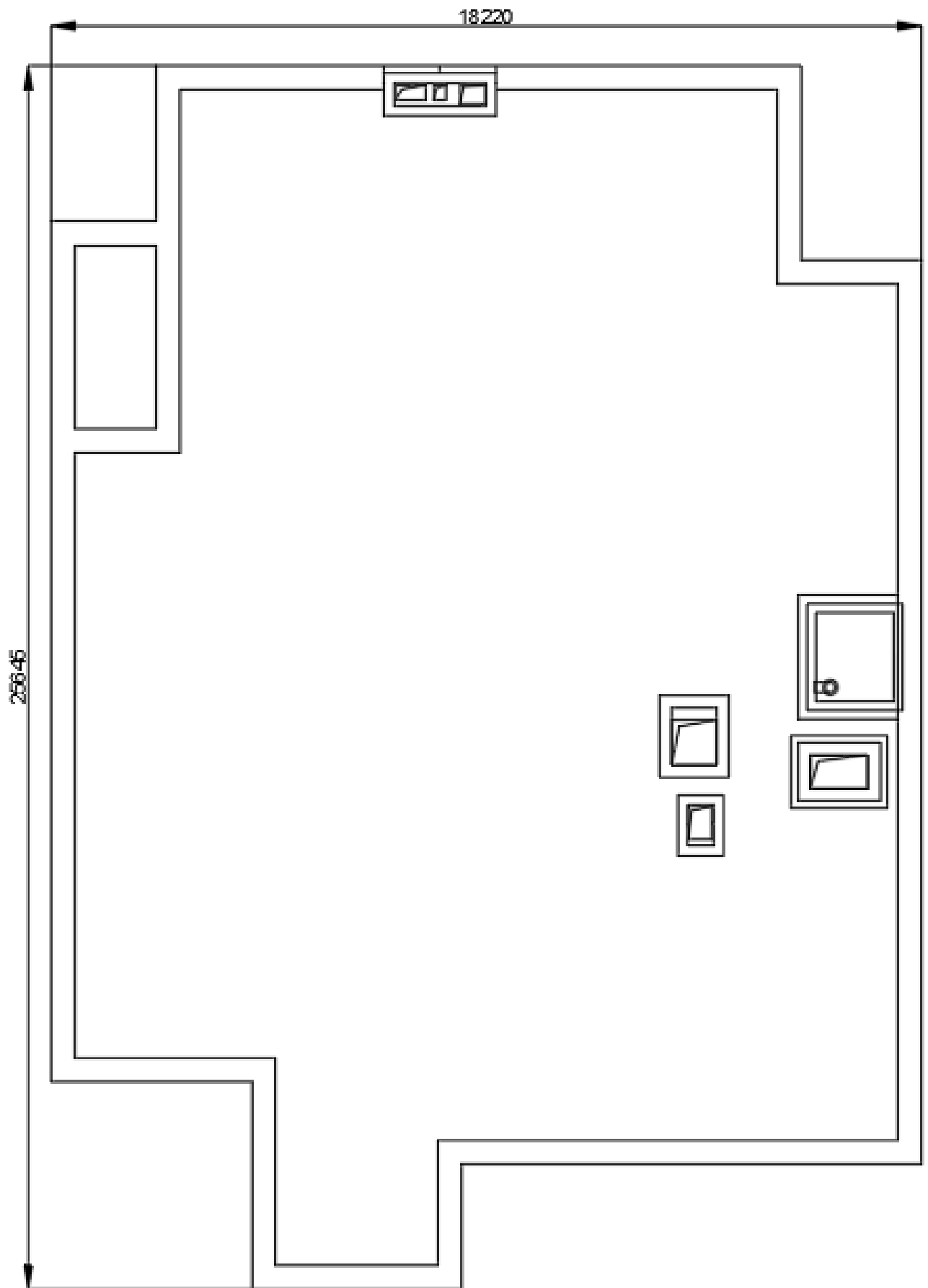
Pokud by chtěl investor provozovat VM v ostrovním režimu, musel by dle SoP zajistit galvanické oddělení VM od zbytku sítě. Zároveň musí být VM propojen kabelem s Hromadným dálkovým ovládáním (dále jen HDO). Prostřednictvím HDO by pak PDS mohl v případě potřeby odstavit VM od distribuční soustavy.

4.3 Popis stávajícího stavu BD

BD, na kterém bude instalována FVE se nachází v obci Praha v katastrálním území Hloubětín.

Střecha je vybavena jímací soustavou, na střeše se také nachází přístroje vzduchotechniky. Ve východní části střechy se nachází střešní poklop, kterým je umožněn přístup na střechu objektu. Po obvodu střechy je vedená atika, která má vrchol 30 cm nad horizontální rovinou střechy. Půdorys střechy je možné pozorovat na Obrázku 10.

Stávající elektrická síť BD je složena z elektroměrového rozvaděče RE, ve kterém jsou umístěny elektroměry všech bytů. V tomto rozvaděči je zároveň umístěno i HDO a hlavní jistič 3x40 A. Hranicí vlastnictví mezi PDS a BD jsou pojistkové spodky, které jsou umístěny v pojistkové skříni, jež je umístěna na vnější fasádě BD. Elektroměrový rozvaděč RE se nachází v technické místnosti, jež je umístěna v prvním podzemním podlaží.



Obrázek 10: Půdorys střechy BD

4.4 Technologické provedení FVE

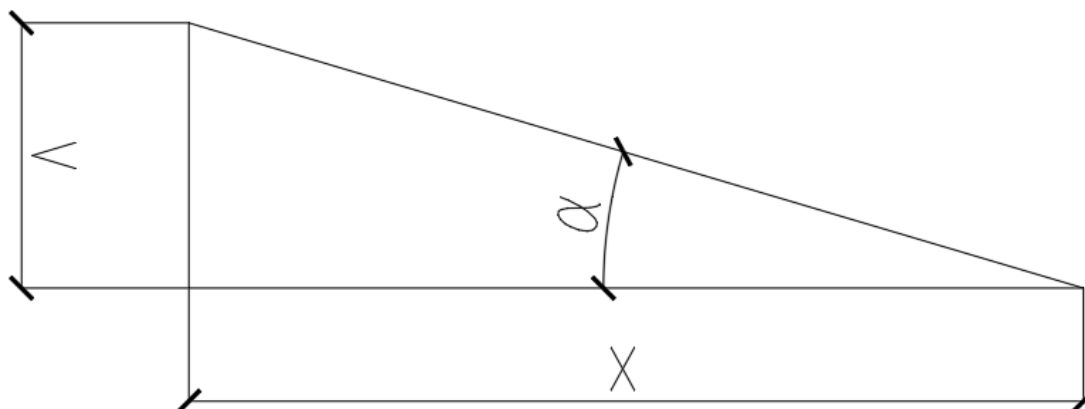
Na střechu budovy bude umístěno 86 ks FV panelů o celkovém instalovaném výkonu 36,55 kWp. Je požadováno, aby střídač a rozvaděč FV systému RFVE byly umístěny na střeše objektu. Použitý střídač bude od výrobce SolarEdge. Tento výrobce dodává i optimizéry, které budou instalovány na samotné FV panely. Odpínání stejnosměrné části obvodu v případě požáru bude řešeno prostřednictvím systému SolarEdge Firefighter Gateway, na který bude připojeno STOP tlačítko s aretací. Počet STOP tlačítek a jejich pozice v objektu by měla být definována v Požárně bezpečnostním řešení stavby (dále jen PBŘ). U FVE s instalovaným výkonem menším než 50 kWp však PBŘ není povinnou součástí dokumentace. Pokud není PBŘ k dispozici, zpravidla se STOP tlačítka umísťují do oblasti vchodu do objektu nebo do oblasti rozvodny/místnosti s technologiemi. Detailní provedení instalace FVE bude popsáno v následujících kapitolách.

4.5 Umístění FV panelů na střechu BD

Při umísťování FV panelů na střechu jakéhokoliv objektu je obvykle nutné řešit překážky na střeše a s tím spojené stínění a umístění jímací soustavy.

Z půdorysu střechy z Obrázku 10 je možné vypočítat, že hlavním zdrojem stínění bude atika, jež je vedená po obvodu střechy a následně zařízení technologie vzduchotechniky a poklop na střechu. Vrchol atiky se dle zadání nachází 30 cm nad horizontální rovinou střechy, zařízení technologie vzduchotechniky budou mít své výškové maximum ve 40 cm. Pro výpočet zastínění FV panelů je zde nutné definovat návrhový úhel α_d , který se určuje podle pozice slunce v poledne v den zimního slunovratu²⁰ a je tedy silně závislý na zeměpisné šířce, ve které se dotčená střecha nachází. Pro Prahu je uvažovaný návrhový úhel $\alpha_d = 16,5^\circ$.

Po zjištění návrhového úhlu je již možné vypočítat oblast, ve které bude docházet ke stínění. Vzhledem k tomu, že navrhovaný úhel odpovídá pozici slunce na obloze v poledne, touto metodou lze počítat stínění pouze z jižního směru. Pro stínění z východního a západního směru z tohoto důvodu tyto výpočty nejsou platné a nebudou prováděny. Jediným opatřením vůči stínění z východního a západního směru bude vytvoření oblasti v dané vzdálenosti od východních a západních okrajů budovy, aby bylo snížena pravděpodobnost stínění z těchto směrů. Pro výpočet vzdálenosti stínění z jižního směru bylo následně využito goniometrických funkcí. Příklad výpočtu stínění z jižní strany, které vytvořila atika vysoká 30 cm, je možné pozorovat na Obrázku 11.



Obrázek 11: Příklad výpočtu stínění

²⁰ STANĚK, Kamil. Fotovoltaika pro budovy. Praha: Grada Publishing, 2012. ISBN 978-80-247-4278-6.

Vzorec

pro

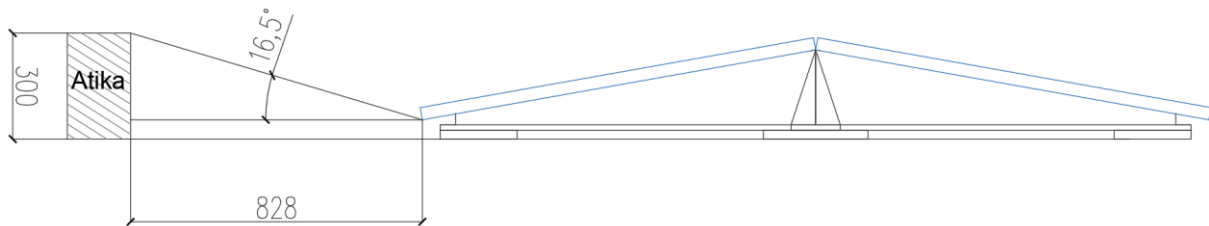
$$x = \frac{v}{\tan \alpha}$$

byl

tedy:

(2)

Výsledné umístění FV panelů mimo zastíněnou je možné pozorovat ve zjednodušujícím grafickém znázornění na Obrázku 12.

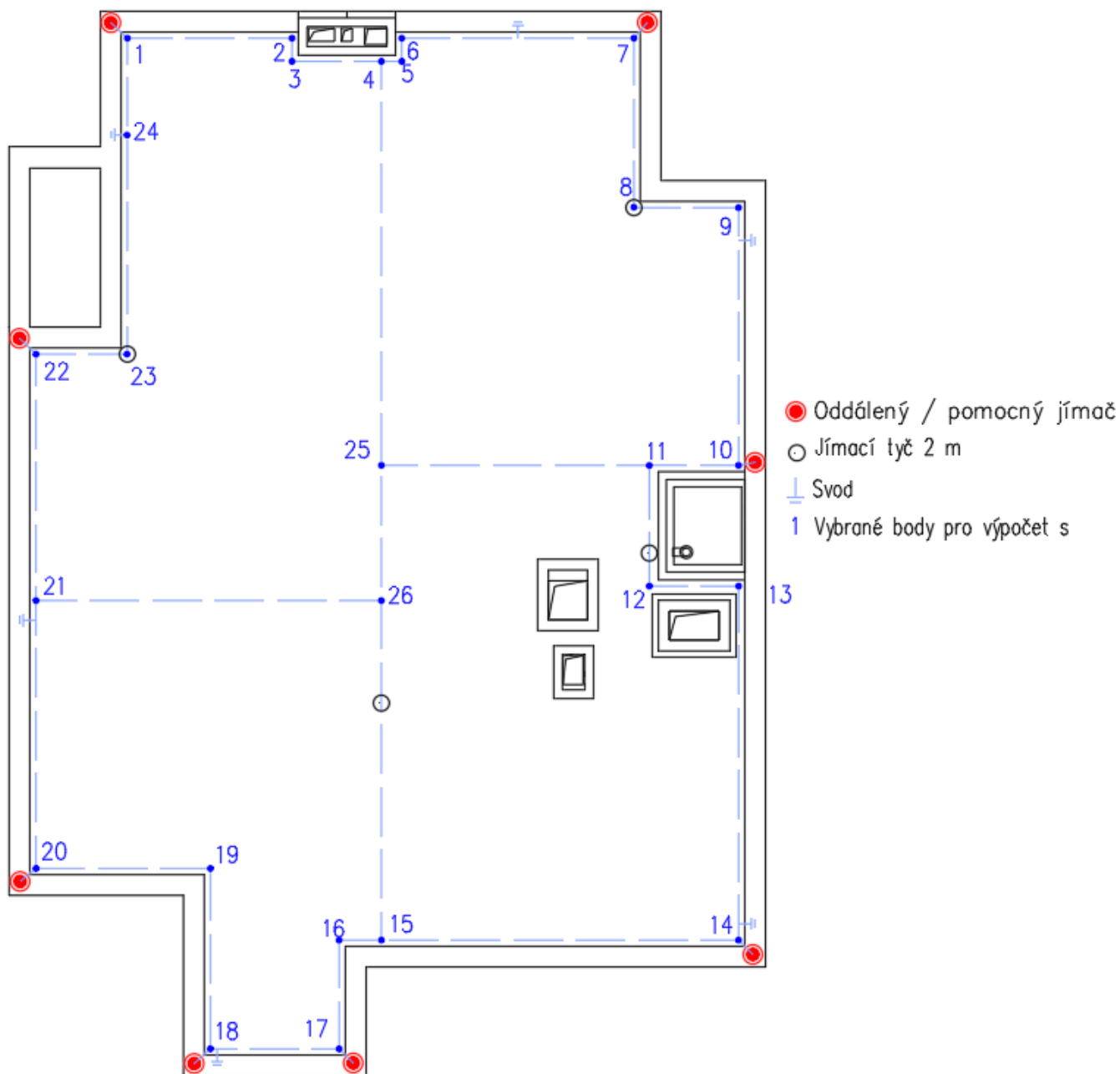


Obrázek 12: Výpočet stínění způsobeného atikou

Výška v z rovnice (2) nebyla rovna výšce atiky vůči horizontální rovině střechy, ale byla rovna výšce atiky vůči horizontální rovině procházející nejnižším bodem FV panelu. Z tohoto důvodu nebyla výška $v = 300 \text{ mm}$, ale pouze $v = 245 \text{ mm}$, jelikož je předpokládáno, že FV panel je uchycen 55 mm nad zemí.

Střecha je z nevodivého materiálu a je vybavena jímací soustavou. Jelikož se jedná o BD, předpokládaná kategorie systému ochrany před bleskem (dále jen LPS) je LPS III. Jedná se o novostavbu, tudíž se předpokládá, že ocelové armování železobetonu v objektu je elektricky propojené. Z tohoto důvodu je ocelové armování považované za náhodný svod. Tato skutečnost má za následek výrazný pokles dostatečné vzdálenosti konstrukcí FV systému od jímací soustavy s . Důvody těchto poklesů budou popsány níže.

Jímací soustava na uvažovaném BD je složena z jímačů a pomocných jímačů a z vodičů AlMgSi o průměru 8 mm. Všechny kovové konstrukce jsou v ochranném prostoru jímací soustavy, pokud by jakákoliv kovová část byla vzdálena od jímací soustavy ne vzdálenost nižší, než je dostatečná vzdálenost s , musí být s jímací soustavou vodivě propojeny. Stávající stav jímací soustavy je možné pozorovat na Obrázku 13.



Obrázek 13: Stávající stav jímací soustavy

Obecným doporučením v oblasti ochrany FV systému před přímým úderem bleskem je řešit tuto ochranu jako izolovaný LPS. To znamená, že je nutné všechny kovové části FV systému držet v dostatečné vzdálenosti s od všech kovových částí propojených s LPS. Důvodem tohoto doporučení je zejména snaha o zamezení vpuštění elektrického proudu do vnitřních chráněných prostor objektu (dále jen LPZ1). Výpočet dostatečné vzdálenosti s je možné provést prostřednictvím rovnice (3), z technické normy ČSN EN 62305-3 ed. 2²¹

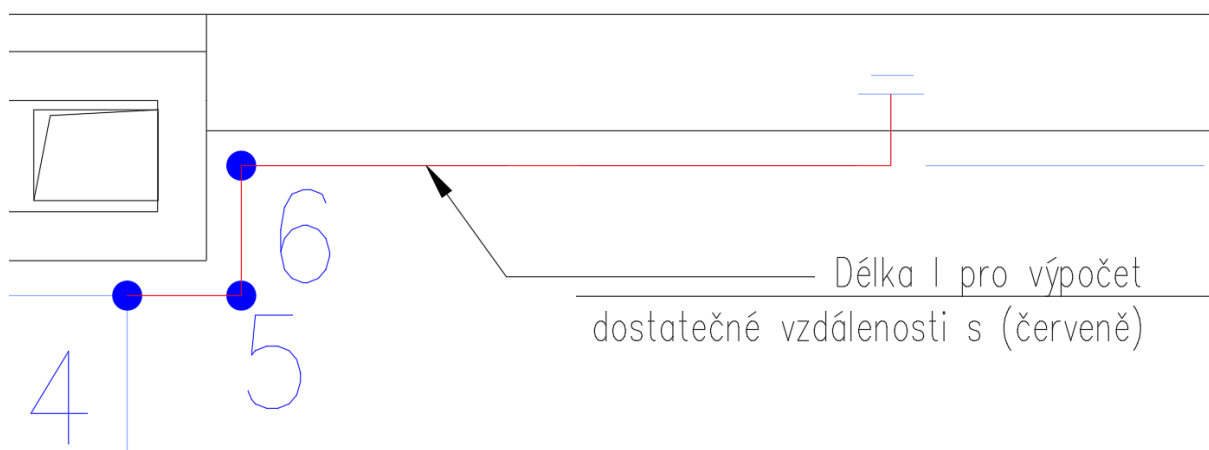
$$s = \frac{k_i}{k_m} \cdot k_c \cdot l$$

(3)

²¹ ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ. ČSN EN 62305-3 ed. 2, Ochrana před bleskem - Část 3: Hmotné škody na stavbách a ohrožení život.

Koeficient k_i je určený třídou LPS daného objektu. Jelikož je předpokládáno, že uvažovaný BD je kategorie LPS III, $k_i = 0,04$. Koeficient k_m je určený materiálem, jež je mezi jímací soustavou a bodem vůči kterému je zjišťována dostatečná vzdálenost. Jelikož všechny kovové části FV systému budou umístěny na střeše, je možné předpokládat, že mezi kovovými částmi a jímací soustavou bude pouze vzduch. Z tohoto důvodu je $k_m = 1$. Koeficient k_c je závislý na celkovém počtu svodů na pozorovaném objektu. Na sledovaném BD bylo vypořazováno, že počet svodů byl větší nebo rovný třem a z tohoto důvodu je $k_c = 0,44$. Na závěr délkou l , je myšlena délka z místa, ve kterém je sledována dostatečná vzdálenost až k nejbližšímu bodu ekvipotenciálního pospojování. Tato délka není měřená vzdušnou čarou mezi těmito dvěma body, ale vede po vodičích jímací soustavy nejkratší možnou trasou. Jelikož je ocelové armování železobetonu elektricky propojené, jako bod ekvipotenciálního pospojování se počítá místo, ve kterém je jímací soustava propojená s ocelovým armováním. Tím se délka l výrazně sníží.

Jelikož jsou všechny koeficienty pro daný objekt konstantní, dostatečná vzdálenost je lineárně závislá na délce l . Díky tomu není nutné počítat dostatečnou vzdálenost ve všech bodech, ale pouze ve vybraných bodech. Vybrané body pro výpočet dostatečné vzdálenosti s je možné pozorovat na Obrázku 13. Na Obrázku 14 je možné pozorovat, jak by probíhalo měření délky l pro bod č.4.



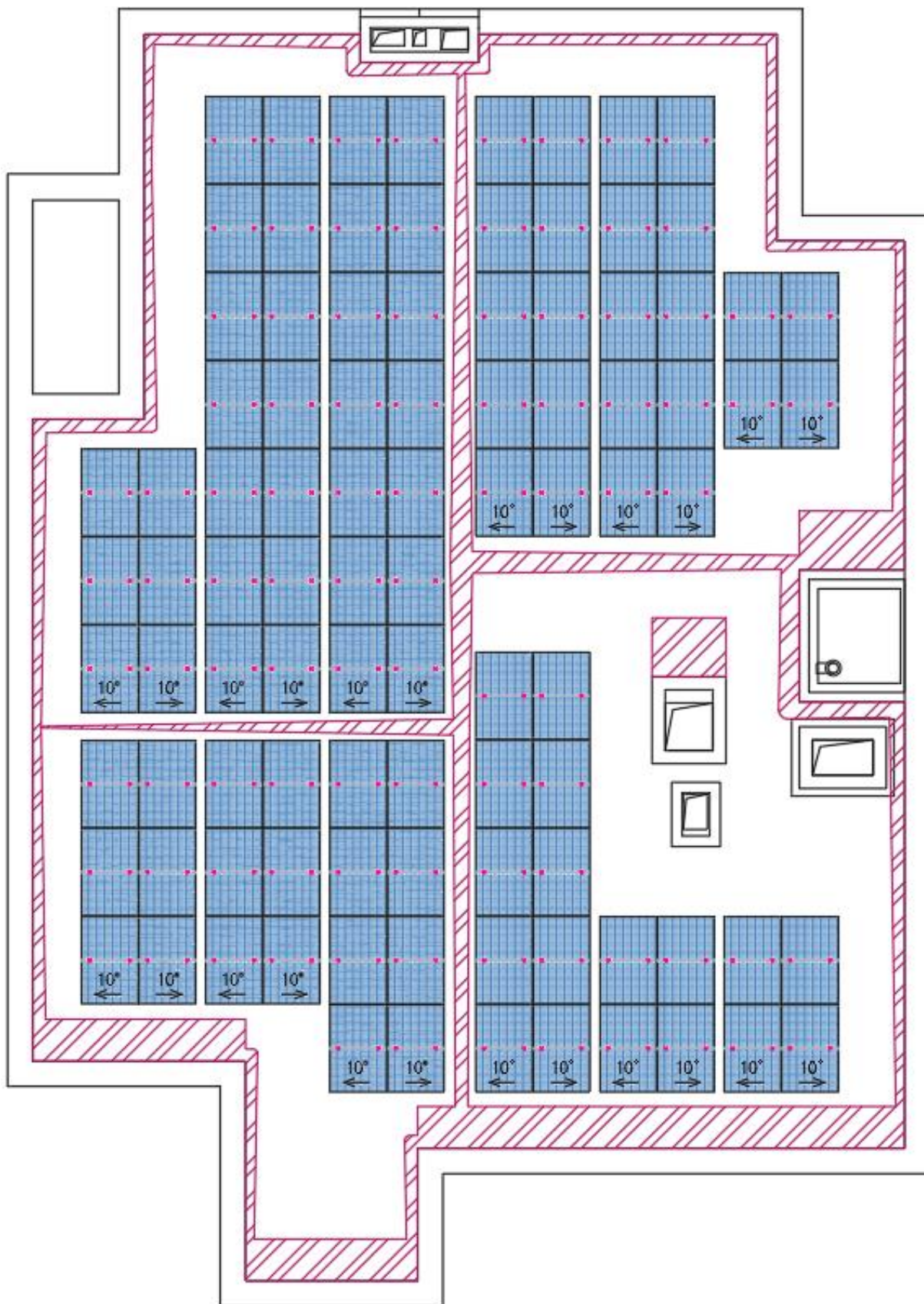
Obrázek 14: Příklad měření délky l pro výpočet dostatečné vzdálenosti s pro bod č.4

Vypočtené dostatečné vzdálenosti s pro jednotlivé body je možné pozorovat v Tabulce 8.

Bod č.	Dostatečná vzdálenost s (m)
1	0,048
2	0,118
3	0,113
4	0,074
5	0,060
6	0,055
7	0,056
8	0,063
9	0,021
10	0,100
11	0,139
12	0,188
13	0,150
14	0,014
15	0,121
16	0,104
17	0,058
18	0,011
19	0,086
20	0,111
21	0,014
22	0,120
23	0,099
24	0,005
25	0,218
26	0,160

Tabulka 8: Vypočítané dostatečné vzdálenosti s pro jednotlivé body

Po vypočítání dostatečné vzdálenosti v jednotlivých bodech bylo možné na střeše znázornit zóny, ve kterých se nesmí nacházet žádný FV panel. Následně bylo provedeno samotné umístování FV panelů na střechu BD. Umístění FV panelů je možné pozorovat na Obrázku 15.



Obrázek 15: Konečné umístění FV panelů na střeše BD

FV panely byly umístěny spíše do středu střechy, aby zde byla vytvořena rezerva vůči stínění z východu a západu. Zároveň je zde důležité zmínit, že se jedná o půdorys, tudíž se nakloněné části na výkresu vyobrazují jako kratší, než ve skutečnosti jsou. S použitím základních goniometrických funkcí je možné vypočítat, jakou délku by měla nakloněná hrana při kolmém pohledu shora. Tento výpočet je možné pozorovat v rovnici (4).

$$d_{pohled} = \cos \alpha \cdot d$$

(4)

Kde α [°] je náklon FV panelu vůči horizontální rovině, d [m] je skutečná délka nakloněné hrany FV panelu a d_{pohled} [m] je přepočítaná délka nakloněné hrany.

Zároveň bylo nutné dodržet požadavky na umístění FV panelů na střechu dle normy ČSN P 73 0847²². Je předpokládáno, že projektovaný FV systém je uvažovaný jako FV systém s omezeným vývinem tepla. Z tohoto předpokladu je možné definovat některé požadavky na umístění FV panelů na střeše, v tomto případě zejména požadavky na volná místa, rozestupy a uličky. Pro přehlednost jsem se rozhodl zmínit jen ty požadavky, které se přímo týkají této práce.

Okolo výlezů a výstupů na střechu musí být volný prostor do vzdálenosti minimálně 1,5 m. Minimální vzdálenost kabelových spojů, kabelových vedení a FV panelů od střešních světlíků je 0,6 m.

Hloubkou FV pole je myšlena vzdálenost, kterou musí zasahující jednotky překonat od nejbližší uličky k okraji střechy. Tato hloubka je měřena v kolmém směru od okraje střechy. Pokud je zjištěná hloubka FV pole větší než 10 m, je nutné zajistit, aby mezi FV modulem a vnějším okrajem střechy byl zachován 1,1 m volného prostoru. Pokud by bylo na kraji střeše instalováno zábradlí, vzdálenost je možné snížit až na vzdálenost 0,9 m.

Zařízení FV systému nesmí bránit ve funkci systémům požární bezpečnosti staveb.

Maximální rozměr hrany pole je 40 m (tedy maximální plocha jednoho pole je 1600 m²). Mezi poli musí být ulička o minimální šířce 1,1 m.

4.6 Umístění kabelového vedení, střídače a rozvaděče technologií FV systému, úprava jímací soustavy

Je předpokládáno, že investor bude požadovat umístění technologií a rozvaděče RFVE na střechu BD. V závislosti na umístění těchto zařízení bude záležet umístění páteřní kabelové trasy. I v této oblasti jsou definovány požadavky z normy ČSN P 73 0847.

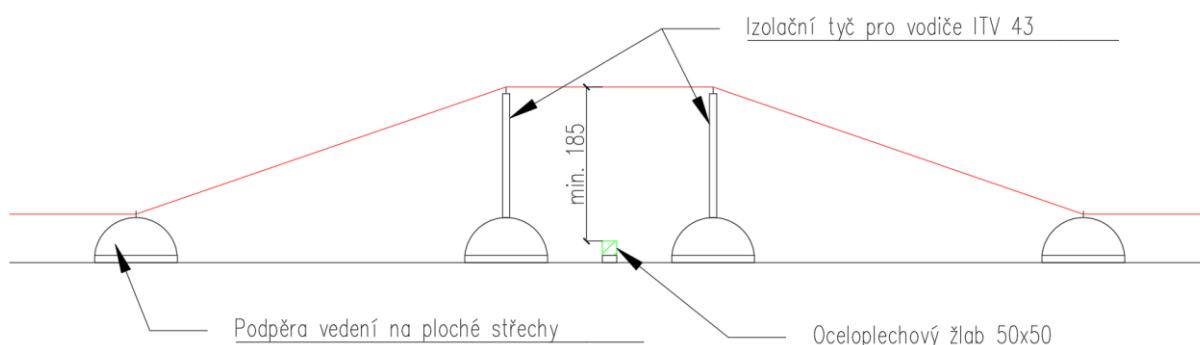
Kabelová vedení musí být vedena takovým způsobem, aby nedošlo k namáhání kabelu ostrým tahem nebo ohybem. Kabely musí být uloženy v plných oceloplechových žlabech s víkem třídy reakce na oheň A1 nebo A2. Pokud to materiálové vlastnosti kabelů a střechy dovolují, je možné kabelové žlaby řešit jako otevřené, v případě této práce je ale předpokládáno, že kabely budou vedeny v uzavřených oceloplechových žlabech.

²² ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ. ČSN P 73 0847, Požární bezpečnost staveb - Fotovoltaické (PV) systémy. 2024.

Střídač a rozvaděč technologií RFVE bude instalován vně objektu a sice na střeše BD. Střídač a rozvaděč RFVE budou umístěny na kovových konstrukcích se zastřešením a s třídou reakce na oheň A1 a A2. Na střeše objektu musí být tepelná izolace střešního pláště provedena z výrobků třídy reakce na oheň A1 nebo A2 a střešní plášť musí vyhovovat klasifikaci B_{ROOF}(t3) a to alespoň do vzdálenosti 300 mm od střídače nebo od rozvaděče RFVE. Pokud by střešní plášť nevyhovoval, je nutné ve vzdálenosti 300 mm od střídače nebo od rozvaděče mít umístěnou nehořlavou úkapovou podložku na nehořlavých podkladech, která by vytvořila mezi vanou a střešním pláštěm např. vzduchovou mezeru výšky 30 mm.

Zároveň je výrobcem střídače požadováno, aby byl rozvaděč RFVE od střídače vzdálen minimálně 100 mm.

Jelikož se páteřní kabelová trasa ze své podstaty nachází po celé ploše střechy, dojde s největší pravděpodobností s křížením jímací soustavy a ocelového žlabu. Jelikož je nutné dosáhnout dostatečné vzdálenosti i vůči oceloplechovým žlabům, je nutné v místě křížení provést úpravu jímací soustavy. Nejsnazší způsob úpravy jímací soustavy je pomocí izolačních tyčí pro vodiče. Na Obrázku 16 je možné pozorovat příklad úpravy jímací soustavy.



Obrázek 16: Příklad úpravy jímací soustavy

V tomto příkladu je nutné dodržet dostatečnou vzdálenost 185 mm. Jímací soustava je umístěna na izolační tyče, čímž dojde k lokálnímu zvednutí jímací soustavy nad kříženým žlabem. Tímto způsobem je možné zvýšit vzduchovou mezeru mezi jímací soustavou a oceloplechovým žlabem.

Výkresy umístění FV panelů a FV systému na střechu je možné pozorovat v Příloze č. 1.

4.7 Použitá technologie, stringování

Ve své diplomové práci jsem se rozhodl pro technologii FV systému od výrobce SolarEdge. Poznávacím znamením technologie od SolarEdge jsou optimizéry, které jsou povinně součástí FV panelů, zatímco u jiných systémů je možné používat FV systém bez optimizérů. Další odlišností je celkové elektrické napětí FV stringu. FV panely jsou zapojeny do série, tudíž by celkové elektrické napětí FV stringu mělo být závislé na počtu FV panelů. Ve FV systému od SolarEdge je ale celkové napětí FV stringu řízeno připojenými optimizéry, které odpovídá jmenovitému napětí střídače, v mém případě se jedná o 750 V. Při případném zastínění se snaží optimizéry udržovat stále stejné elektrické napětí za cenu snížení elektrického proudu. Tímto způsobem je možné dosáhnout co nejvyšší možné účinnosti samotného střídače. Jelikož elektrické napětí není závislé na počtu FV panelů, je možné do jednoho FV stringu zapojit výrazně větší množství FV panelů.

Tyto odlišnosti se projeví na následném „stringování“. „Stringováním“ je myšlen proces rozřazení jednotlivých FV panelů do příslušných FV stringů. Společnost SolarEdge nabízí svůj bezplatný nástroj pro návrh FV systémů. Pomocí tohoto nástroje bylo možné sestavit jednotlivé FV stringy, jež byly připojeny do střídače. Optimálním řešením byl nakonec FV systém, který byl složen z dvou FV stringů.

4.8 Jednopolové schéma, dimenzování kabeláže a přístrojů

Po úspěšném „stringování“ bylo možné sestavit jednopolové schéma celého FV systému a elektrické sítě BD, jež bude instalovaným FV systémem dotčena. Úkolem jednopolového schématu je zejména přehledným způsobem dodat informaci o vybrané kabeláži, použitých přístrojích a jejich následném dimenzování. Zároveň také zprostředkovateli naznačuje, do jakého místa v elektroinstalaci BD se bude FV systém připojovat.

Nejprve jsem provedl dimenzování stejnosměrné části FV systému. Stejnosemárná část je složena z FV panelů, kabeláže, přepětových ochran a pojistkových odpínačů s pojistkami. Pro lepší manipulaci je navíc obecně doporučeno instalovat za pojistkové odpínače vačkový DC vypínač, který zajistí odpojení zátěže, jež je potřebná pro manipulaci s pojistkovými odpínači. V mé práci ale nebudu tento vypínač uvažovat, jelikož není nezbytný pro provoz FV systému.

V případě dimenzování kabeláže je hlavním parametrem úbytek elektrického napětí, který je závislý na délce kabelového vedení. Pro vedení stejnosměrné elektrické energie se zpravidla využívají vodiče s označením H1Z2Z2-K. Jádrem vodiče je složeno z měděných lanek, izolační plášť je odolný vůči UV záření. Zpravidla se využívají kabely o průřezu 4 mm^2 , 6 mm^2 a 10 mm^2 , přičemž platí, že vodiče s větším průřezem mají nižší úbytek elektrického napětí než vodiče s menším průřezem.

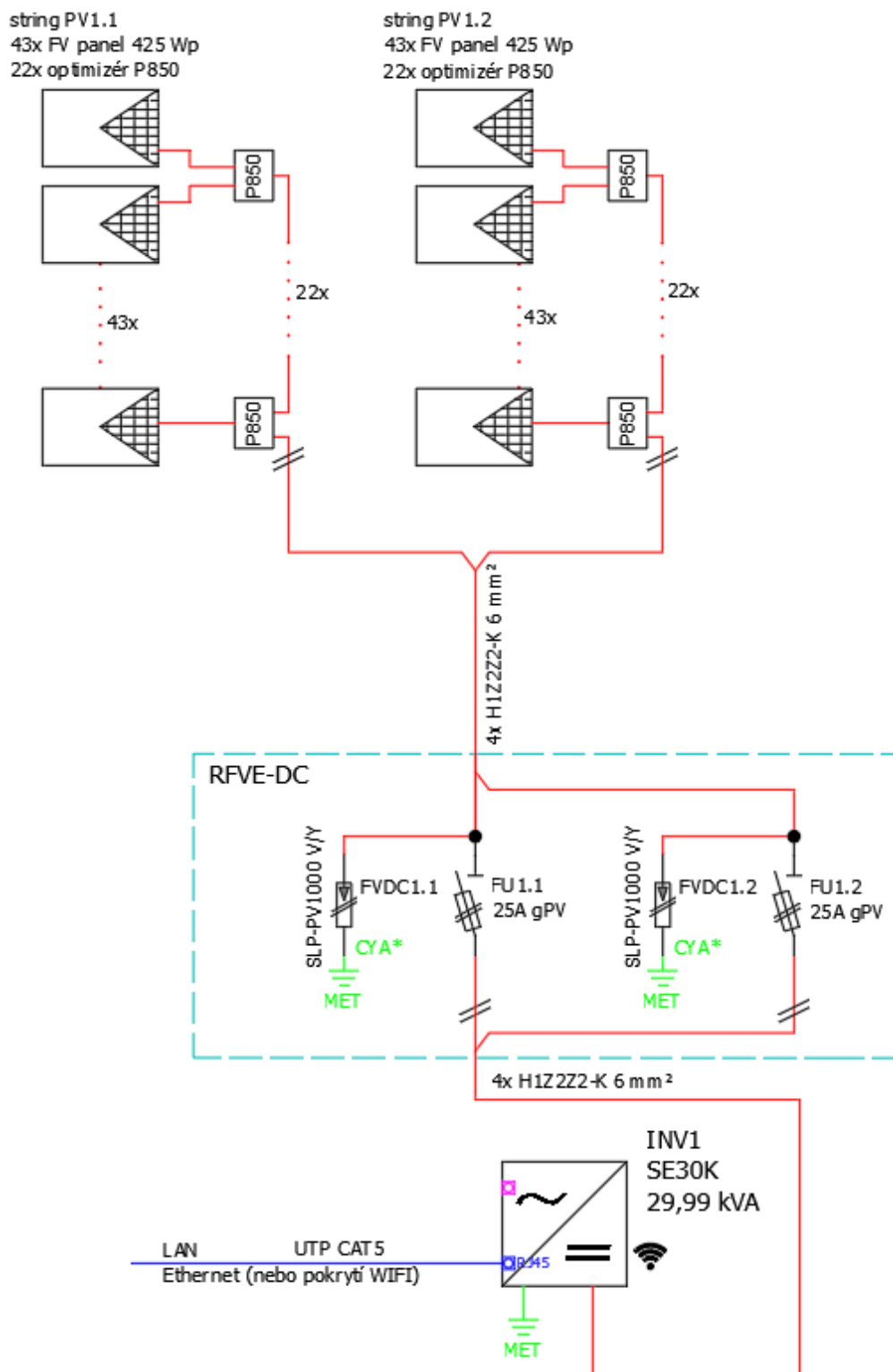
Maximální povolený úbytek elektrického napětí je roven 5 % jmenovitého napětí FV stringu, avšak cenový rozdíl mezi jednotlivými průřezy byl cca o 10 Kč za 1 m, přičemž se jedná o cenu s DPH. Je tedy možné použít vodič s větším průřezem i v případě, kdy není úbytek elektrického napětí větší než 5 % a to bez větší ekonomické škody. Ve své práci jsem se rozhodl pro kabel H1Z2Z2-K 6 mm^2 . Dle mého názoru se jedná o kompromis mezi cenou kabelu a úbytkem elektrického napětí.

V technickém listu střídače je maximální vstupní stejnosměrný elektrický proud $I_{DCMAX} = 43,5\text{ A}$. Pokud jsou do střídače připojeny dva FV stringy, předpokládaný maximální proud jedním stringem je $I = 21,75\text{ A}$. Za pojistky, jež budou umístěny do pojistkového odpínače, jsem tedy zvolil pojistky o jmenovitém elektrickém proudu 25 A typu gPV, jež je speciálně určen pro aplikace ve stejnosměrných obvodech FV systémů. Pro kontrolu jsem si vyhledal doporučené hodnoty jmenovitého elektrického proudu pojistek, které mohou být dobrovolně umístěny i do skříně samotného střídače a samotný výrobce také doporučuje osadit pojistky o jmenovité hodnotě 25 A. Pojistky jsou válcové s rozměry 10x38 mm. Je tedy nutné vybrat takové pojistkové odpínače, do kterých by bylo možné tyto pojistky osadit.

K FV panelům jsou připojeny výkonové optimizéry P850 od výrobce SolarEdge. Optimizéry optimalizují výstupní výkon a mají také bezpečnostní funkci. Na jeden optimizér je možné připojit až dva FV panely, jelikož je počet panelů v jednom FV stringu lichý, poslední optimizér bude připojen pouze na jeden FV panel. Optimizéry jsou plně kompatibilní s připojeným střídačem. Komunikace mezi optimizéry a střídačem probíhá prostřednictvím silových kabelů, které jsou primárně využívány k přenosu elektrické energie z FV panelů. Pokud optimizéry ztratí komunikaci se střídačem (což nastane i při vybavení střídače), upraví elektrické napětí každého FV panelu na $U_{DC} = 1\text{ V}$. Tímto způsobem dojde k zajištění elektrického napětí FV stringu $U_{DCSTRING} \leq 120\text{ V}$.

Pro svou práci jsem si vybral přepětové ochrany od výrobce Saltek. Důvodem je zejména široké spektrum návodů k jejich produktům, díky čemuž lze snadno zvolit vhodný produkt pro jakoukoliv situaci. Výběr přepětové ochrany je závislý na dvou parametrech. Prvním parametrem je celkové

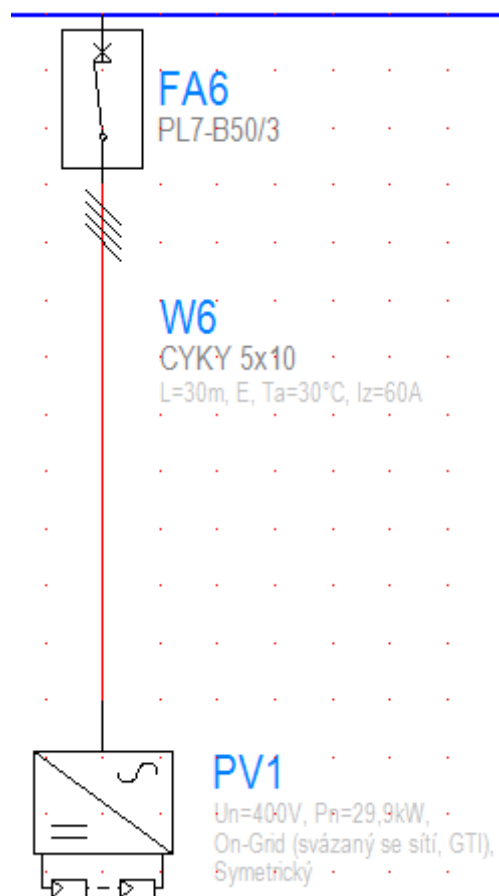
napětí FV stringu. Jmenovité napětí obou stringů je 750 V, jmenovité napětí přepěťové ochrany pro jeden FV string bude 1000 V. Druhým parametrem je vztah mezi jímací soustavou a FV systémem. Pokud by nebyla dodržena dostatečná vzdálenost jímací soustavy a FV systému, bylo by nutné vodiče spojit a zároveň by bylo nutné použít kombinované svodiče přepětí, které jsou robustnější, ale také dražší. Naštěstí byla dostatečná vzdálenost dodržena, tudíž nebylo nutné instalovat kombinované svodiče přepětí, ale pouze svodiče přepětí třídy T2, jež byly určeny pro FV aplikace. Ve své práci jsem se rozhodl pro přepěťovou ochranu Saltek SLP-PV1000 V/Y. Jednopolové schéma stejnosměrné části FV systému je možné pozorovat na Obrázku 17.



Obrázek 17: Jednopolové schéma stejnosměrné částí FV systému

Přepětové ochrany a pojistkové odpínače jsou součástí stejnosměrné části rozvaděče RFVE, přepětové ochrany jsou umístěny mezi FV panely a pojistkovými odpínači, čímž by mělo dojít k ochraně pojistkových odpínačů před možným přepětím.

Následně bylo možné přejít na AC část FV systému. Prvním úkolem bylo dimenzovat kabelové vedení, jež propojovalo střídače s AC částí rozvaděče RFVE. K dimenzování jsem použil program xSpider od společnosti Eaton. V tomto programu je možné vytvořit jednoduchý model FV systému. V uživatelském rozhraní jsem následně doplnil výkon střídače, zvolil účinnost, zvolil způsob uložení kabelu a vyplnil předpokládanou délku kabelu. Zvolený účinník měl hodnotu 0,95. Tato hodnota byla zvolena zejména za účelem vytvoření proudové rezervy při dimenzování vodiče i zbylých přístrojů. Kabel byl uložen v kabelovém žlabu a předpokládaná délka byla 5 metrů. Předpokládané elektrické napětí sítě bylo 400 V, po zadání všech parametrů program sám vypočítal jmenovitou hodnotu elektrického proudu $I_N = 45,4$ A. Dle jmenovitého proudu bylo možné vložit do modelu také navrhovaný kabel a také jistič, jež bude umístěn v rozvaděči RFVE v místě přivedení výkonu ze střídače. Bylo zjištěno, že vyhovujícím kabelem je CYKY 5x10 a vyhovujícím jističem je třífázový jistič o jmenovitém elektrickém proudu $I_N = 50$ A. Z důvodu lepší manipulace při montáži jsem se rozhodl provést změnu kabelu, kde místo kabelu CYKY 5x10 by byl použit kabel s pryžovou izolací H07RN-F 5Gx10. Průřez obou vodičů byl stejný, změnil se pouze materiál, ze kterého byla provedena izolace. Část výpočetního modelu, jež se týkala FV systému z programu xSpider je možné pozorovat na Obrázku 18.



Obrázek 18: FV systém v programu xSpider

Je předpokládáno, že rozvaděč RE se nachází v síti TN-C, zatímco rozvaděč RFVE je již v síti TN-C-S, tudíž k propojení těchto dvou rozvaděčů bude využit kabel CYKY 4x10. V místě vyvedení výkonu v rozvaděči RE byl osazen třífázový jistič s jmenovitým elektrickým proudem $I_N = 63$ A. Tímto krokem byla provedena selektivita systému v síti.

Na vstupu do rozvaděče RFVE ze směru od rozvaděče RE byl umístěn hlavní vypínač s jmenovitým elektrickým proudem $I_N = 63$ A a přepětová ochrana. Předpokládá se, že v místě přepětové ochrany je již síť TN-S, tudíž bude použita čtyřpólová přepětová ochrana od výrobce Saltek s typovým označením FLP-12,5 V/4. Jedná se o varistorový svodič bleskových proudů.

V rozvaděči RFVE je také umístěno relé, které je ovládáno provozovatelem elektrizační soustavy. Relé je napájeno z rozvaděče RFVE a je předjističeno jednofázovým jističem o jmenovitém proudu $I_N = 6 \text{ A}$. V rozvaděči RE se nachází přijímač HDO. Pokud provozovatel soustavy potřebuje vypnout FVE, vydá signál do přijímače HDO, který připojí k relé neutrální vodič, čímž dojde k sepnutí tohoto relé. Relé ovládá svorku PRI ve střídači, která při sepnutí vypne střídač a tímto krokem dojde k odpojení výrobní od sítě. Z tohoto důvodu se bod rozpadu nachází ve střídači.

FV systém bude navíc vybaven tlačítkem s aretací STOP FVE, které přes zařízení SolarEdge Firefighter Gateway vybaví připojený střídač a tím dojde k odpojení výrobní od sítě a také ke snížení elektrického napětí FV stringu pod 120 V. Toto zařízení potřebuje ke svému napájení spínaný stejnosměrný zdroj o jmenovitém napětí $U = 12 \text{ V}$. Tento zdroj bude předjističen jednofázovým jističem o jmenovitém proudu $I_N = 6 \text{ A}$. Zařízení, zdroj i jistič budou umístěny v rozvaděči RFVE. Tlačítko STOP FVE bude umístěno u vstupu do objektu.

Detailní zakreslení jednopólového schématu a s vyznačením hranice vlastnictví mezi zákazníkem a distributorem je možné pozorovat v Příloze č. 2.

4.9 Tvorba rozměrového výkresu rozvaděče RFVE

Pro tvorbu rozměrového výkresu rozvaděče RFVE jsem se rozhodl použít program E-Config od společnosti Eaton. Nejprve jsem si do modelu vložil příslušné přístroje a zařízení, které jsou umístěny v rozvaděči RFVE. Tyto položky zabraly určitý počet modulů v rozvaděči. Jedním modulem je myšlena šířka 17,5 cm, jedná se o rozměry jednoho standardního jednofázového jističe na DIN liště. Šířka přístroje je v tomto případě nejdůležitějším parametrem. Bylo zjištěno, že všechny uvažované přístroje zaberou prostor o velikosti 33 modulů. Následně jsem vybral vhodnou skříň, do které by mohly být umístěny vybrané přístroje. Vhodnou možností byla skříň z Obrázku 19, do které se vešlo až 48 modulů, tudíž zde bylo možné v případě potřeby vložit další přístroje nebo zařízení. AC a DC část rozvaděče RFVE by měla být při montáži viditelně oddělena.

Značení přístrojů bylo následovné:

KA1 je relé, jež po sepnutí vybaví střídač

FA1, FA2 a FA3 jsou jističe

ZDROJ 12V je spínaný stejnosměrný zdroj, který napájí zařízení Firefighter Gateway

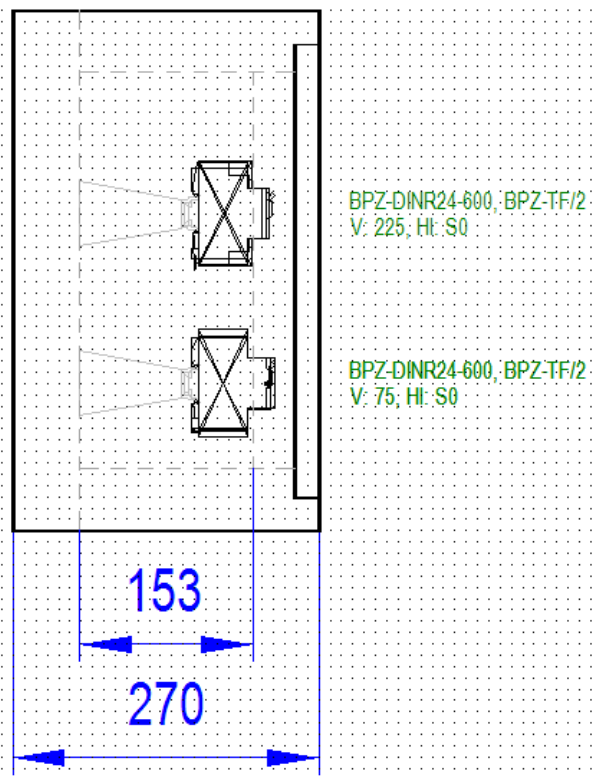
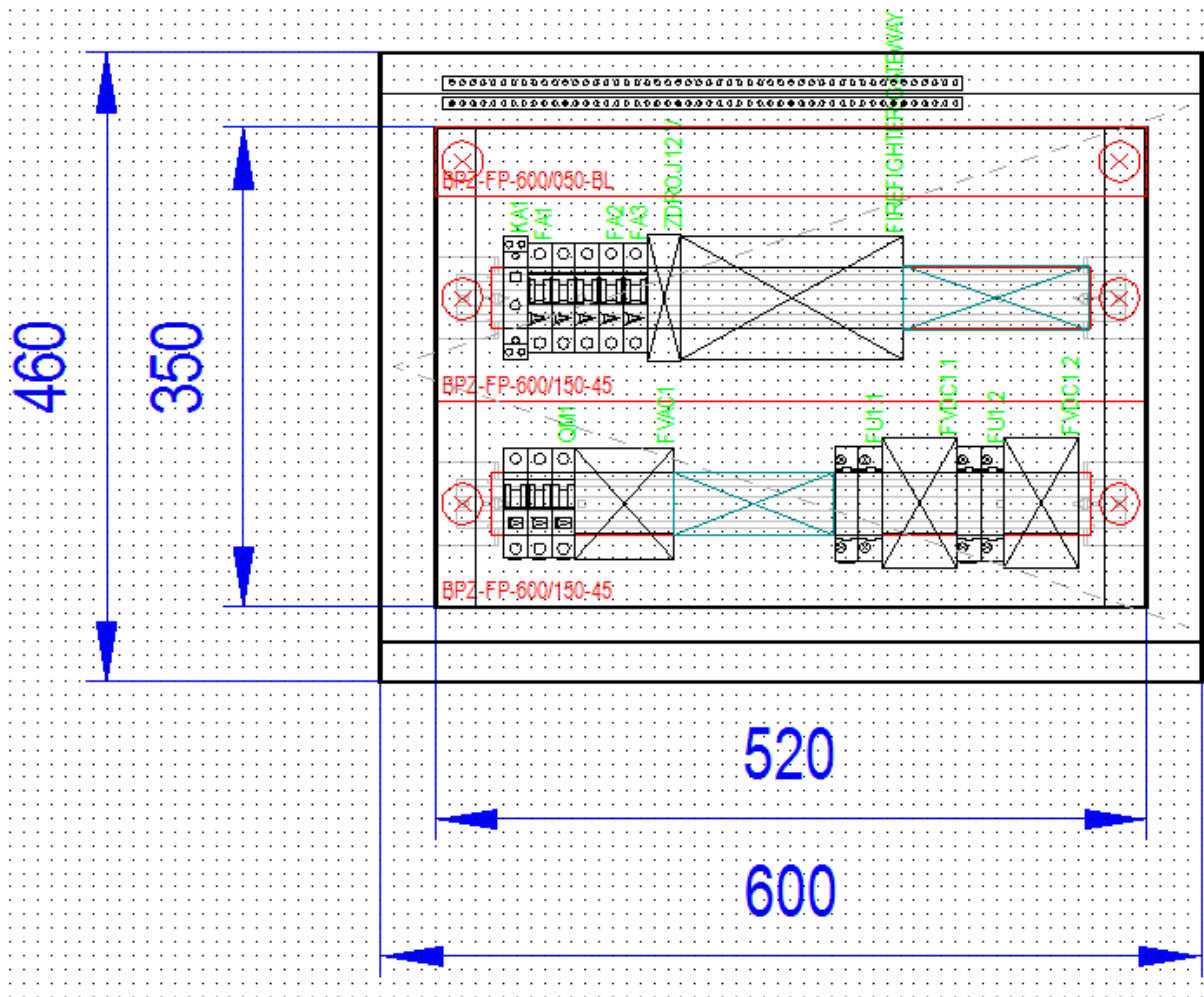
FIREFIGHTER GATEWAY je zařízení, které po sepnutí tlačítka STOP FVE vybaví připojený střídač

QM1 je hlavní vypínač

FVAC1 je svodič přepětí v AC části rozvaděče RFVE

FU1.1 a FU1.2 jsou pojistkové odpínače pro válcové pojistky o rozměrech 10 x 38 mm

FVDC1.1 a FVDC1.2 jsou svodiče přepětí v DC části rozvaděče RFVE



Obrázek 19: Rozměrový výkres rozvaděče RFVE

4.10 Tvorba položkového rozpočtu

V ukázce tvorby položkového rozpočtu vytvořím rozpočet pro BD s instalovanou nabíjecí stanicí pro EV.

Pro vytvoření položkového rozpočtu jsem si nejprve vytvořil slepý výkaz výměr. Slepý výkaz výměr je soupis všech položek, které jsou k instalaci FV systému potřeba. Po vytvoření slepého výkazu výměr dojde k doplnění cen za jednotlivé položky.

Výkaz výměr jsem pro přehlednost rozdělil do několika kapitol. První dvě kapitoly se zabývaly FV panely, konstrukcemi pro uchycení FV panelů na střechu, konstrukcí pro zavěšení střídače a rozvaděče RFVE, připojeními výkonovými optimizéry, nabíjecí stanicí pro EV a samotným střídačem. Konstrukce pro uchycení FV panelů byla realizována od společností K2 systems, která prodává konstrukční systémy pro uchycení FV panelů. FV panely nebudou přichyceny ke střeše, ale budou zajištěny pomocí betonových dlaždic. Následně bude potřeba zavěsit střídač a rozvaděč RFVE na kovovou konstrukci, jež bude nutné vytvořit na míru.

Třetí a čtvrtá kapitola se zabývaly kabelovým vedením a tlačítkem STOP FVE. Pro správné určení délky kabeláže se vždy nejprve změříla kabelová trasa příslušného kabelu ve výkresu a následně se změřená délka vynásobila konstantou $k_{lom} = 1,35$. Tato konstanta zde vyjadřuje zvětšení potřebné délky kabelového vedení vlivem lomu kabelu v trasách.

Pátá kapitola se zabývala kabelovými žlaby, jež bylo nutné umístit na střechu a také kabelové žlaby, jež vedly ke stoupacímu vedení, které vedlo až k rozvaděči RE. K vytvoření soupisu použitých produktů jsem použil Konfigurátor KNS od výrobce KOPOS Kolín a.s. V konfigurátoru bylo nutné vybrat typ kabelové trasy, rozměry, typ povrchové úpravy a délku trasy. V mé práci byl použit oceloplechový neděrovaný žlab s víkem, jehož rozměry byly 50 x 60 mm. Povrchová úprava byla provedena Sendzimirovou metodou. Předpokládaná délka trasy byla 60 m. Kompletní soupis položek bylo následně možné exportovat do programu MS Excel.

Šestá kapitola se zabývala rozvaděčem RFVE. Zde bylo možné získat soupis produktů z již vytvořeného modelu v programu E-Config, ve kterém je možnost exportovat soupis produktů do programu MS Excel.

Sedmá kapitola se zabývala wattrouterem, SSR relém a elektrickým bojlerem. Tato technologie se bude instalovat přímo do bytu těm obyvatelům, kteří o tento způsob ukládání elektrické energie projeví zájem. V práci je předpokládáno, že o tuto technologii projeví zájem vždy polovina obyvatel BD. Také je předpokládáno, že tato instalace bude součástí společných nákladů na instalaci FVE s tím, že si obyvatelé s wattrouterem budou muset alokovat větší rozsah, čímž přispějí větším peněžním obnosem do rozpočtu.

Závěrečná kapitola se zabývá především realizací a náklady spojenými se spotřebním zbožím, dopravou, revizemi a dokumentací skutečného provedení. Výsledná částka investičních nákladů byla následně použita v ekonomickém modelu z druhé kapitoly.

Po vytvoření slepého výkazu výměr byly následně pro jednotlivé položky vyhledávány jejich ceny bez DPH. Naprostou většinu materiálu bylo možné najít v obchodu s elektroinstalačním materiálem ELFETEX, spol s r.o. Materiál, jež nebylo možné najít na tomto obchodě jsem byl nucen vyhledat u jiných prodejců.

Položkový rozpočet je možné najít v Příloze č. 3.

4.11 Situační výkres a technická zpráva

V situačním výkresu dochází k umístění stavby do kontextu s okolním prostředím. Ze situačního výkresu kromě umístění stavby v katastrální mapě by mělo být možné zjistit informace o dotčených parcelách. Samotné provedení výkresu je jednoduché, Český úřad zeměměřický a katastrální vydává katastrální mapy pro jednotlivá katastrální území ve formátu dxf, které lze spustit v programu AutoCAD. Tímto způsobem je následně možné získat dostatečný podklad pro vypracování situačního výkresu.

Technická zpráva je nejdůležitějším dokumentem celé projektové dokumentace. V technické zprávě by se měly nacházet veškeré potřebné informace pro provedení instalace FV systému. V této kapitole bych zde více do detailu popsal, co by měla obsahovat technická zpráva.

Na začátku technické zprávy by mělo být vysvětlen předmět a rozsah projektu. Zároveň by mělo být jasně definováno, co projekt zahrnuje a co již ne. Dále by mělo být popsáno umístění stavby, buď prostřednictvím adresy nebo prostřednictvím parcelního čísla v daném katastrálním území.

Dále by měl být proveden technologický popis domovní sítě BD a systému, jež bude do této sítě připojen. Tímto je myšlena zejména definice proudové soustavy a napěťových hladin, definice druhu prostředí a popsání energetické bilance po provedení instalace FV systému.

Následně by mělo být definováno, jakým způsobem bude instalovaný FV systém chráněn proti přepětím, proti zkratům, proti bleskům a proti síti do níž bude připojen. Tento vztah k síti by však měl být oboustranný, tudíž by mělo být i popsáno, jakým způsobem se FV systém bude chovat v síti. Nemělo by se zároveň zapomenout na řešení ochrany před úrazem elektrickým proudem.

Dále by mělo být detailně popsáno technologické řešení s popisem jednotlivých komponent, jež budou použity v FV systému. Do těchto technologických řešení je zahrnut i popis samotné elektroinstalace a provedení fakturačního měření.

Součástí technické zprávy by měly být i všechny použité normy, které by mohly, jakkoliv zasahovat do samotného projektu.

Na závěr by se měly v technické zprávě objevit pokyny ohledně krytí zařízení, uzemnění jednotlivých technologických celků, jakou odolnost vůči vnějším podmínkám by měla mít jednotlivá zařízení, ale také jakým způsobem bude probíhat obsluha nebo údržba samotného FV systému. V místě instalace by měly být přítomny také bezpečnostní tabulky, a to zejména v místě umístění rozvaděče RFVE nebo střídače.

ZÁVĚR

Má práce s v první kapitole zabývala sdílením elektřiny v BD. V této kapitole byly definovány pojmy, které byly spojeny s problematikou sdílení elektrické energie v BD, následně byl vysvětlen princip sdílení elektřiny v BD a popsán proces, který je nutné splnit, aby bylo možné v BD domě zavést sdílení elektřiny.

Ve druhé kapitole jsem zpracoval ekonomický model investice do FVE na BD. Vytvořil jsem si diagramy spotřeby elektřiny pro vybrané situace, diagram výroby elektřiny pro FVE na definované střeše. Následně jsem pomocí těchto diagramů simuloval roční průběh celkové roční spotřeby elektřiny se započtením všech uvažovaných technologických celků. Tento model jsem vytvářel pro čtyři BD, pro určení ekonomické výhodnosti jsem zvolil parametr NPV, kterým jsem porovnával ekonomickou výhodnost investic na jednotlivých BD.

Třetí kapitola byla věnována tvorbě výpočetního nástroje v programu MS Excel pro snadné vyplnění formulářů. V této kapitole jsem popsal problematiku tvorby výpočetního nástroje, možná řešení a následně jsem představil konečný stav mého výpočetního nástroje.

Ve čtvrté kapitole jsem se pokusil nastínit, jak by vypadala tvorba projektové dokumentace pro FVE na BD v části technologických zařízení stavby a ve stupni DPS. V této kapitole jsem popisoval zejména postup při tvorbě této projektové dokumentace.

Dle mého názoru největším přínosem je výpočetní nástroj, který je součástí této práce, společně s čerstvým zpracováním technických norem požární bezpečnosti a vytvořenými diagramy spotřeb BD.

Mou snahou bylo vždy vytvořit hlavní kapitolu, která by odpovídala jednomu bodu zadání, čímž bylo možné si udržet přehled o plnění jednotlivých bodů zadání. Z tohoto důvodu věřím, že jsem splnil všechny body zadání.

Hlavním přínosem pro mě bylo získání zkušeností v oblasti projektování FVE na střeších větších rozměrů. Věřím, že některé poznatky z jednotlivých kapitol nebo samotný výpočetní nástroj mohou být v budoucnu přínosné jak pro univerzitu, tak pro např. projektanta nebo distribuční společnost.

Myslím si, že v budoucnosti by měla být možné rozšířit výpočetní nástroj i o distribuční společnost ČEZ Distribuce, a.s. Musela by ale pravděpodobně nejprve proběhnout jednání s touto společností, která by zpřístupnila jejich formulář k vyplnění.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

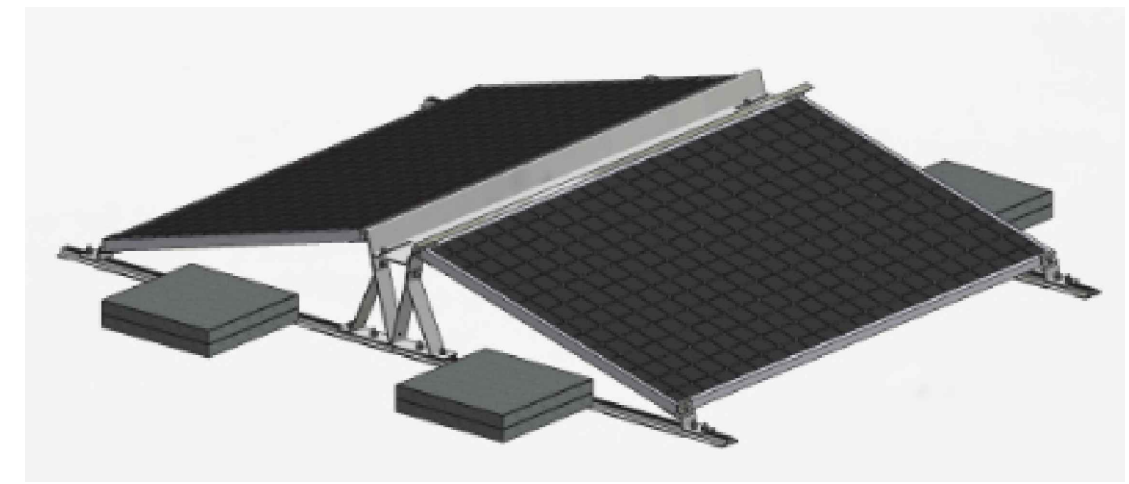
- 1) Sdílení elektřiny pro bytové domy. Online. EG.D Sdílení elektřiny. 2023. Dostupné z: <https://www.egd.cz/sdileni-elektriny>. [cit. 2023-12-28].
- 2) Helioware. Online. Jak funguje energetická komunita v bytovém domě? 2023. Dostupné z: <https://www.helioware.cz/jak-funguje-energeticka-komunita-v-bytovem-dome/>. [cit. 2023-12-29].
- 3) Vyhláška č. 408/2015 Sb.: Vyhláška o Pravidlech trhu s elektřinou. In: . 2015, 169/2015. Tato vyhláška nyní podléhá změnovému řízení.
- 4) Přepočtené TDD [online]. 2023 [cit. 2024-01-02]. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/typove-diagramy-dodavek-elektriny/prepoctene-tdd?date=2023-02-01>
- 5) Půdorys bytu. Prodej bytu 2+kk 55 m² Praha 9 [online]. 2024 [cit. 2024-02-03]. Dostupné z: <https://stredo.ceskereality.cz/byty/byty-2-kk/?id=DVO422291362>
- 6) Plotýnka vaří pomalu. Online. 2020. Dostupné z: <https://www.electrolux.cz/support/support-articles/vareni/varne-desky/plotynka-vari-pomalou/>. [cit. 2024-01-02].
- 7) Electric vehicle database. Current and Upcoming Electric Vehicles [online]. 2024 [cit. 2024-02-03]. Dostupné z: <https://ev-database.org/>
- 8) Vyhláška č. 194/2007 Sb. In: . 2007.
- 9) Pravidla provozování distribučních soustav, příloha 4. 2022.
- 10) Nařízení Komise (EU) 2016/631 ze dne 14. dubna 2016, kterým se stanoví kodex sítě pro požadavky na připojení výroben k elektrizační soustavě (Text s významem pro EHP). In: . 2016.
- 11) STANĚK, Kamil. Fotovoltaika pro budovy. Praha: Grada Publishing, 2012. ISBN 978-80-247-4278-6.
- 12) ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ. ČSN EN 62305-3 ed. 2, Ochrana před bleskem - Část 3: Hmotné škody na stavbách a ohrožení život.
- 13) ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ. ČSN P 73 0847, Požární bezpečnost staveb - Fotovoltaické (PV) systémy. 2024.

SEZNAM PŘÍLOH

- 1) Dispozice střechy
- 2) Jednopolové schéma
- 3) Položkový rozpočet
- 4) Výpočtový nástroj pro vyplnění formulářů k vytvoření žádosti o registraci sdílení elektřiny

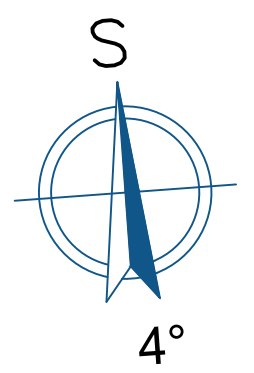
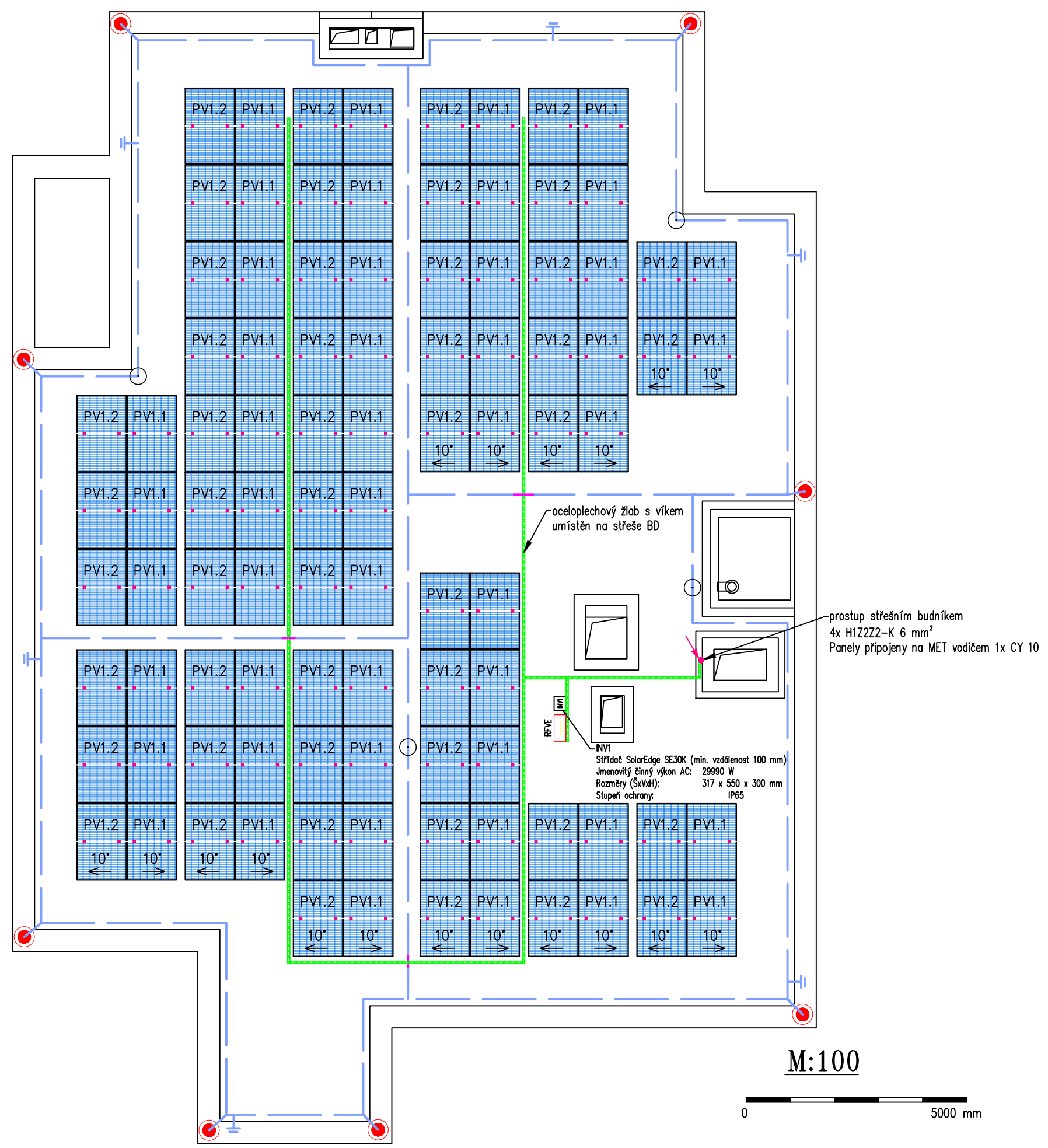
PŘÍLOHA Č. 1 – DISPOZICE STŘECHY

VZOR KONSTRUKCÍ – PLOCHÁ STŘECHA



POZNÁMKY

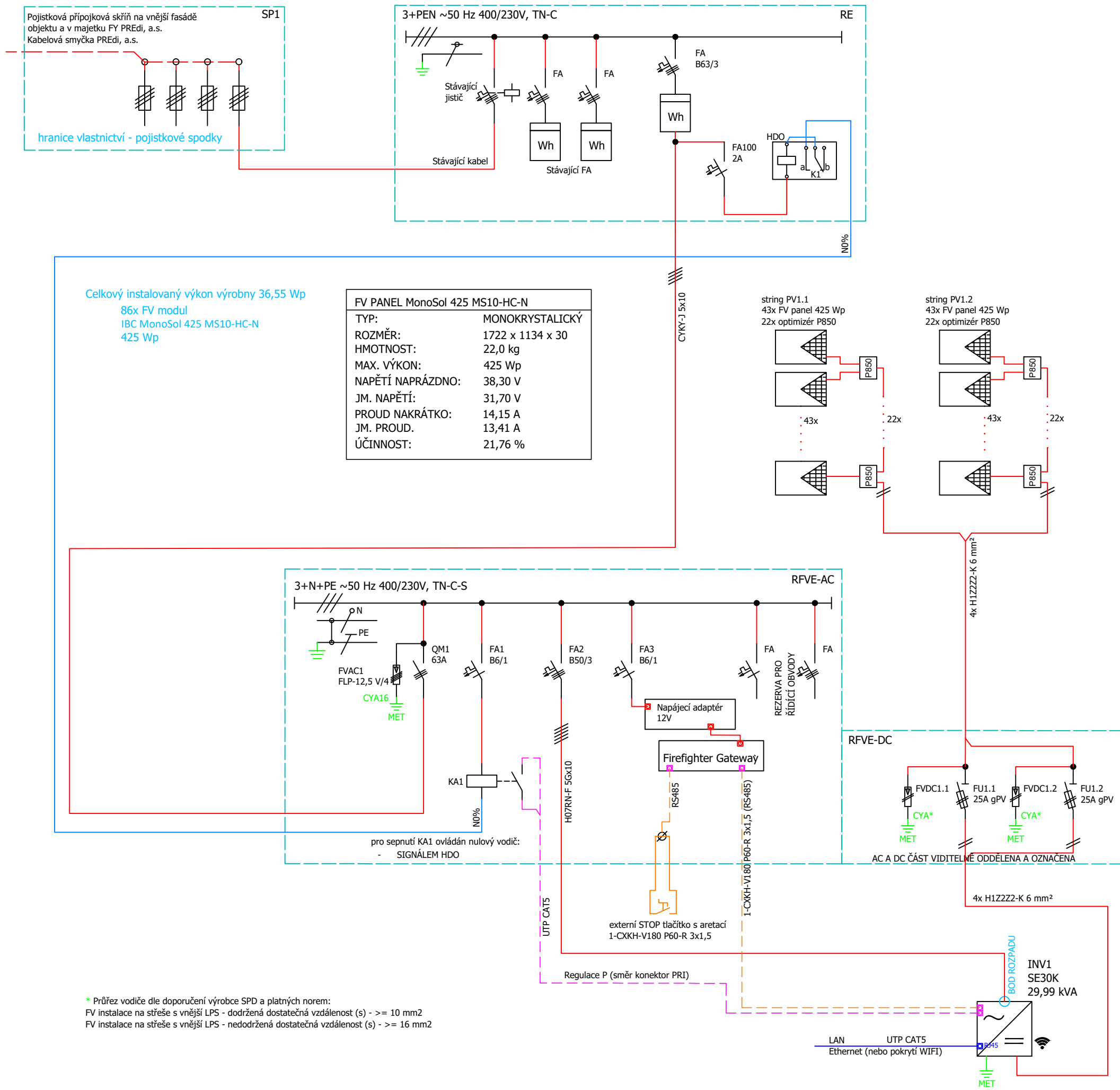
- celkový instalovaný výkon výroby 36,55 kWp
 - 86x IBC MonoSol 425 MS10-HC-N 425 Wp
 - rozměry 1722 x 1136 x 30 mm
 - panely stringu PV1.1 a PV1.2 umístěny na ploché střeše se sklonem 10° vůči horizontální rovině
 - mezi FV panely mezera 20 mm
 - (dle konstrukčního systému)
 - Na dva panely je vždy umístěn jeden optimizér Solaredge P850, tyto optimizéry jsou následně mezi sebou zapojeny do dvou řetězců PV1.1 a PV1.2
 - řetězec PV1.1 orientován jihovýchodně s odklonem -86° od jihu a řetězec PV1.2 orientován severozápadně s odklonem +94°
- Na střeše prostupy pro kabeláž:
- 4x H1Z2Z2-K 6
 - 1x CY 10



LEGENDA

- | | | |
|---------------------------------------|--|-------|
| Střídač | | DC/AC |
| MET | | |
| Vodič H1Z2Z2-K, 6 mm ² | | |
| Vodič H1Z2Z2-K, 6 mm ² , + | | |
| Vodič H1Z2Z2-K, 6 mm ² , - | | |
| Stávající vodič AlMgSi | | |
| Úprava hromosvodu | | |
| Oceloplechový žlab | | |

PŘÍLOHA Č. 2 – JEDNOPÓLOVÉ SCHÉMA



* Průřez vodiče dle doporučení výrobce SPD a platných norem:
FV instalace na střeše s vnější LPS - dodržena dostatečná vzdálenost (s) - >= 10 mm2
FV instalace na střeše s vnější LPS - nedodržena dostatečná vzdálenost (s) - >= 16 mm2

PŘÍLOHA Č. 3 - POLOŽKOVÝ ROZPOČET

P.Č	Popis	MJ	Množství celkem	Jednotková cena (bez DPH)	Celková cena (bez DPH)
FVE-střecha					
	Solární panel MonoSol 425 MS10-HC-N	ks	86	4 462 Kč	383 732 Kč
	LCTEC Konektor MC4 solární na kabel 4-6mm2 1000V IP67 (1 pár)	ks	30	46 Kč	1 380 Kč
	Montážní systém D-Dome 6.10 Classic pro umístění 1 FV panelu	ks	86	1 500 Kč	129 000 Kč
	Optimizér Solar Edge P850	ks	44	1 796 Kč	79 044 Kč
	Konstrukce na míru pro zavěšení střídače a RFVE, se stříškou, 1685x1270 mm (VxŠ), galvanicky zinkované jekly 50x50 mm	ks	1	8 000 Kč	8 000 Kč
	Spojovací materiál	soubor	1	3 000 Kč	3 000 Kč
Střídač a nabíjecí stanice pro EV					
	Solární měnič SolarEdge SE30K	ks	1	42 200 Kč	42 200 Kč
	Nabíjecí stanice pro EV + kabeláž	ks	1	36 179 Kč	36 179 Kč
	Spojovací materiál	soubor	1	2 000 Kč	2 000 Kč
Kabely					
	Solar kabel 6 H1Z2Z2-K černý	m	100	25 Kč	2 500 Kč
	Solar kabel 6 H1Z2Z2-K rudá	m	100	25 Kč	2 500 Kč
	Kabel H07V-U 10 zž (CY)	m	55	34 Kč	1 896 Kč
	1-CXKH-V-O 2x1,5 FE180/P60-R B2cas1d0 (201,5) (v případě napojení na total/central stop)	m	50	27 Kč	1 350 Kč
	H07RN-F 5G10 (CGTG)	m	10	232 Kč	2 320 Kč
	CYKY-J 4x10 (4Bx10)	m	50	122 Kč	6 100 Kč
	SOLARIX Kabel UTP 4x2x0,5 CAT5E PE venkovní (balení 305m/box)	m	10	10 Kč	100 Kč
	Spojovací materiál	soubor	1	3 000 Kč	3 000 Kč
Požární tlačítko STOP FVE					
	SCHNEIDER Tlačítko nouzového zastavení Harmony XALK178E	ks	1	1 080 Kč	1 080 Kč
	KOPOS Přichytka kabelů PO	ks	100	5 Kč	500 Kč
	KOPOS Šroub SB 6,3x35 ZNCR do betonu	ks	100	8 Kč	800 Kč
	Spojovací materiál	soubor	1	200 Kč	200 Kč
Kabelové žlaby-střecha					
	KOPOS Držák DS 100 pozink	ks	5	126 Kč	629 Kč
	KOPOS Oblouk KO 90x60x50 pozink	ks	1	352 Kč	352 Kč
	KOPOS Kotva KPO 10x95 zinek	ks	20	33 Kč	662 Kč
	KOPOS Žlab KZIN 60x50x0.75, JUPITER, pozink, délka 3m	m	60	181 Kč	10 879 Kč
	KOPOS Šroub vratový NSM 6X10 spojovací, 1 ks	ks	162	5 Kč	750 Kč
	KOPOS Oblouk O 90x60x50 pozink	ks	5	337 Kč	1 686 Kč
	KOPOS Víčko OKSPL ochranné PVC	ks	5	12 Kč	59 Kč
	KOPOS Matice PM 41 M10 Electroly	ks	10	11 Kč	113 Kč
	KOPOS Šroub se šestihlannou hlavou M10x20 Electroly	ks	10	7 Kč	65 Kč
	KOPOS Profil SPL 200 žárový zinek	ks	5	321 Kč	1 606 Kč
	KOPOS T kus T 60x50 pozink	ks	2	392 Kč	783 Kč
	KOPOS Víko V 50 pozink, délka 2m	m	60	64 Kč	3 820 Kč
	KOPOS Víko VKO 90x60x50, oblouku klesajícího 90° pozink	ks	1	129 Kč	129 Kč
	KOPOS Víko VO 90x50, oblouku 90°, pozink	ks	5	84 Kč	418 Kč
	KOPOS Víko VT 50, T-kusu, pozink	ks	2	128 Kč	256 Kč
	KOPOS Úchyt VU_GMT pro uchycení víka kabelového žlabu, 1 ks	ks	156	10 Kč	1 585 Kč
	Spojovací materiál	soubor	1	5 000 Kč	5 000 Kč
Rozvaděč RFVE					
	Skříň s dveřmi, zámečková Doppelbart (motýleč 3mm), IP55, šedá, NA omítku, ŠxVxH=600x460x270	ks	1	7 469 Kč	7 469 Kč
	Držák krycích desek, výška 350 (sada)	ks	1	189 Kč	189 Kč
	Kabelová příruba IP66, plastová, s otvory pro průchodky 4xM16, 6xM25/16, 8xM32/20	ks	2	1 050 Kč	2 100 Kč
	Sada pro montáž rozvaděče na stěnu	ks	1	444 Kč	444 Kč
	Lišta pro uchycení N/PE svorek, Š=600	ks	1	217 Kč	217 Kč
	Držák bočnice zkrácený (pár)	ks	1	183 Kč	183 Kč
	Nosič svorkovnice KL-7...KL-60 na lištu, horizontální	ks	2	200 Kč	400 Kč
	Svorkovnice: Rozbočovací můstek N/PE 2x25+27x16mm2	ks	3	1 449 Kč	4 347 Kč
	DIN lišta přístrojová hliníková, šířka skříně = 600, šířka lišty = 488 (24 modulů)	ks	3	297 Kč	891 Kč
	Držák DIN lišty, pevná hloubka (sada 1pár)	ks	3	258 Kč	774 Kč
	Krycí deska, s výřezem 45mm, plechová, šedá, Š=600, V=150	ks	2	626 Kč	1 252 Kč
	Krycí deska, bez výřezu, plechová, šedá, Š=600, V=50	ks	1	242 Kč	242 Kč
	Zaslepovací pás max. délka 1m, pro výřezy 45mm, šedý	ks	1	182 Kč	182 Kč
	Hlavní vypínač, 3-pól, In=63A	ks	1	622 Kč	622 Kč
	Svodič přepětí třídy T1+T2 (B+C), 4 pól sada pro TN-S	ks	1	4 769 Kč	4 769 Kč
	Pojistkový odpínač pro válcové pojistky C10 do 32A, 2-pól	ks	2	458 Kč	916 Kč
	Varistorový svodič přepětí, Typ T2, 1000 V, zapojen do Y - SLP-PV1000 V/Y	ks	2	2 280 Kč	4 559 Kč
	Instalační stykač, Uc=230V AC/DC, In=20A, 2zap. kont.	ks	1	612 Kč	612 Kč
	Jistič PL7, char B, 1-pólový, Icn=10kA, In=6A	ks	2	530 Kč	1 060 Kč
	Jistič PL7, char B, 3-pólový, Icn=10kA, In=63A	ks	1	3 135 Kč	3 135 Kč
	Zdroj stabilizovaný spínaný 230VAC/12V 1,25 A 15W	ks	1	351 Kč	351 Kč
	SolarEdge Firefighter Gateway	ks	1	9 730 Kč	9 730 Kč
	DC pojistka 1000V 10x38 mm pro solární systémy 25A	ks	4	63 Kč	252 Kč
	Spojovací materiál	soubor	1	5 000 Kč	5 000 Kč
Střídač a nabíjecí stanice pro EV					
	Regulátor a měřicí modul WATTrouter Mx 20A	ks	4	7 393 Kč	29 570 Kč
	Polovodičové relé SSR 600V 20A 4600W	ks	4	1 200 Kč	4 800 Kč
	Elektrický bojler 200 l s příkonem 3 kW	ks	4	9 705 Kč	38 820 Kč
	Spojovací materiál	soubor	1	2 000 Kč	2 000 Kč
Ostatní					
	Montáž silnoproud, slaboproud	soubor	1	347 225 Kč	347 225 Kč
	Drobný materiál - přichytky, pásky, sádra, spojovací materiál	soubor	1	5 000 Kč	5 000 Kč
	Revize elektro	soubor	1	10 000 Kč	10 000 Kč
	Doprava	soubor	1	5 000 Kč	5 000 Kč
	Skutečený stav	soubor	1	20 000 Kč	20 000 Kč
					1 247 787 Kč