

Diplomová práce



České  
vysoké  
učení technické  
v Praze

**F3**

Fakulta elektrotechnická  
Katedra mikroelektroniky

## Návrh zdroje elektřiny a tepla v průmyslovém podniku

**Bc. Radim Nejedlý**

Vedoucí: Mgr. Ing. Vít Klein, Ph.D.  
Květen 2024



## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Nejedlý** Jméno: **Radim** Osobní číslo: **492218**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávací katedra/ústav: **Katedra mikroelektroniky**  
Studijní program: **Elektronika a komunikace**  
Specializace: **Elektronika**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Návrh zdroje elektřiny a tepla v průmyslovém podniku**

Název diplomové práce anglicky:

**Electricity and Heat Source Design in an Industrial Company**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Popište principy a užití fotovoltaických elektráren a kombinované výroba elektřiny a tepla.
- 2) Charakterizujte průmyslový podnik a analyzujte jeho potřeby elektrické energie a tepla.
- 3) Zpracujte technický návrh nového zdroje elektřiny a tepla.
- 4) Proveďte technickou analýzu návrhu nového zdroje elektřiny a tepla.

Seznam doporučené literatury:

- 1) DVORSKÝ, Emil a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-118-7.
- 2) IBLER, Zdeněk. Technický průvodce energetika. Praha: BEN - technická literatura, 2003. ISBN 80-7300-026-1.
- 3) KRBEK, Jaroslav a Bohumil POLESNÝ. Kogenerační jednotky - zřizování a provoz. Praha: GAS, 2007. GAS. ISBN 978-80-7328-151-9.
- 4) 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: **23.01.2024**

Termín odevzdání diplomové práce: **24.05.2024**

Platnost zadání diplomové práce: **21.09.2025**

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

prof. Ing. Pavel Hazdra, CSc.  
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

Rád bych poděkoval svému vedoucímu práce, panu Mgr. Ing. Vítu Kleinovi, Ph.D., který byl při jejím vypracování vždy ochotný poskytnout užitečné rady, podněty i materiály. Především bych ale ocenil odborné vedení pana Mgr. Ing. Víta Kleina, Ph.D., a jeho ochotou podělit se o své odborné zkušenosti při zpracování této diplomové 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.

Datum: 20.05.2024

Podpis autora .....

## Abstrakt

Diplomová práce pojednává o návrhu nového zdroje elektrické a tepelné energie pro anonymizovaný průmyslový podnik, konkrétně návrhu fotovoltaické elektrárny a kogenerační jednotky. V práci je popsáno použití jednotlivých technologií samostatně i jako jejich kombinace. V druhé polovině práce je řešen jejich technický návrh. Poslední kapitola je věnována analýze nově navržených zdrojů elektrické a tepelné energie a jednotlivým doporučením pro průmyslový podnik.

**Klíčová slova:** fotovoltaika, kogenerace, kogenerační jednotka, kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie, technická analýza, průmyslový areál, PV\*SOL, akumulace

**Vedoucí:** Mgr. Ing. Vít Klein, Ph.D.

## Abstract

The thesis focuses on the design of a new source of electrical and thermal energy for an anonymized industrial company, specifically the design of a photovoltaic power plant and a cogeneration unit. The thesis describes the use of individual technologies separately as well as their combination. The second half of the thesis addresses their technical design. The last chapter is devoted to the analysis of the newly proposed sources of electrical and thermal energy and individual recommendations for the industrial company.

**Keywords:** photovoltaics, cogeneration, cogeneration unit, combined production of electrical and thermal energy, technical analysis, industrial area, PV\*SOL, accumulation

**Title translation:** Electricity and Heat Source Design in an Industrial Company

# Obsah

<b>1 Úvod</b>	<b>1</b>		
<b>2 Fotovoltaika</b>	<b>3</b>		
2.1 Solární článek	4		
2.2 Fotovoltaický panel	6		
2.3 Fotovoltaické elektrárny	7		
2.4 Rozdělení fotovoltaických systémů podle zapojení	8		
2.5 Orientace, sklon, stínění a jejich vliv na účinnost fotovoltaické elektrárny	8		
2.6 Konstrukce pro umístění fotovoltaických panelů	10		
2.7 Ochrana před bleskem a přepětím	11		
2.8 Využití fotovoltaických systémů	12		
2.9 Systémy pro ukládání elektrické energie	13		
2.9.1 Elektrochemická technologie	13		
2.9.2 Virtuální baterie	15		
2.9.3 Akumulace energie ve formě teplé užitkové vody	16		
<b>3 Kombinovaná výroba energie</b>	<b>17</b>		
3.1 Oddělená a kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie	18		
3.2 Konstrukční provedení kogenerační jednotky	19		
3.3 Základní prvky kogenerační jednotky	20		
3.3.1 Zařízení pro úpravu primárního zdroje energie (paliva)	20		
3.3.2 Primární jednotka	20		
3.3.3 Zařízení pro výrobu a úpravu elektrické energie	21		
3.3.4 Zařízení pro rekuperaci tepelné energie	21		
3.4 Paliva kogeneračních jednotek	22		
3.5 Využití kogeneračních jednotek	23		
3.6 Kombinace fotovoltaické elektrárny a kogenerační jednotky	23		
<b>4 Charakteristika průmyslového podniku</b>	<b>25</b>		
4.1 Infrastruktura průmyslového areálu a charakter provozu	25		
4.2 Analýza potřeby elektrické a tepelné energie	26		
4.2.1 Spotřeba elektrické energie	26		
4.2.2 Tepelná energie	27		
4.2.3 Zemní plyn	29		
<b>5 Návrh nového zdroje elektřiny a tepla</b>	<b>31</b>		
5.1 Návrh kogenerační jednotky	31		
5.1.1 Dimenzování kogenerační jednotky	33		
5.2 Návrh fotovoltaické elektrárny	37		
5.2.1 Navrhované varianty	38		
5.2.2 Technické řešení	43		
<b>6 Technická analýza nově navrženého zdroje elektřiny a tepla</b>	<b>57</b>		
6.1 Analýza nově navrženého zdroje tepla	57		
6.1.1 Posouzení umístění a technického řešení kogenerační jednotky	57		
6.1.2 Posouzení výkonu kogenerační jednotky a pokrytí spotřeby tepelné energie podniku	58		
6.2 Analýza nově navržených zdrojů elektrické energie	61		
6.2.1 Posouzení umístění a technického řešení nových zdrojů	61		
6.2.2 Pokrytí potřeb elektrické energie	62		
6.3 Posouzení navržených zdrojů vůči aktuálnímu stavu průmyslového podniku	67		
6.3.1 Teplo	67		
6.3.2 Elektřina	67		
6.4 Závěrečná doporučení	67		
<b>7 Závěr</b>	<b>69</b>		
<b>Literatura</b>	<b>71</b>		
<b>A Seznam symbolů a zkratk</b>	<b>73</b>		
<b>B Určení výkonu kogenerační jednotky</b>	<b>75</b>		
<b>C Datový list fotovoltaického panelu Canadian Solar CS6W-550MS</b>	<b>77</b>		
<b>D Datový list AC/DC střídače SolarEdge SE50K/SE100K</b>	<b>81</b>		
<b>E Schéma zapojení fotovoltaické elektrárny</b>	<b>85</b>		

## Obrázky

2.1 Sluneční mapa pro oblast České republiky, převzato [3] . . . . .	3
2.2 Princip fotovoltaického jevu, převzato [2] . . . . .	4
2.3 Využitelná elektrická energie, převzato [2] . . . . .	5
2.4 Standardní konstrukce FV panelu, převzato [4] . . . . .	6
2.5 Výnosy FV panelů v závislosti na jejich orientaci, vytvořeno autorem .	9
2.6 Typy konstrukcí pro a) ploché střechy, b) šikmé střechy, c) pozemní instalace, převzato z produktového katalogu společnosti K2 Systems . .	10
2.7 Názorné schéma zapojení FV systému, převzato [4] . . . . .	12
2.8 Li-ion akumulátor, převzato [6] .	14
2.9 Princip průtokového Li-ion akumulátoru, převzato [4] . . . . .	15
3.1 Porovnání účinností a ztrát při oddělené a kombinované výrobě elektřiny a tepla (ČEZ, a.s.), převzato [10] . . . . .	19
3.2 Modulové uspořádání KJ se spalovacím motorem, převzato [8] .	19
3.3 Průměrné měsíční využití fotovoltaické elektrárny (FVE) a kogenerační jednotky (KJ), upraveno [13] . . . . .	24
3.4 Porovnání průměrné spotřeby a výroby elektrické energie (KJ+FVE) v České republice, upraveno [13] . .	24
5.1 Možné umístění kogenerační jednotky, vytvořeno autorem . . . . .	32
5.2 Spotřeba elektrické energie v roce 2023, vytvořeno autorem . . . . .	32
5.3 Denní průběh spotřeby elektrické energie (leden 2023), vytvořeno autorem . . . . .	33
5.4 Průběh spotřeby tepelné energie v roce 2023, vytvořeno autorem . . . . .	33
5.5 Křivka trvání tepelného výkonu $P_t$ , vytvořeno autorem z poskytnutých dat od společnosti . . . . .	34
5.6 Aproximace křivky trvání tepelného výkonu $P_t$ , vytvořeno autorem . . . . .	34
5.7 Určení výkonu a doby provozu KJ z křivky tepelného výkonu, vytvořeno autorem . . . . .	35
5.8 Vybrané haly průmyslového areálu pro umístění FVE, vytvořeno autorem . . . . .	37
5.9 Průměrná intenzita slunečního záření, vytvořeno autorem . . . . .	39
5.10 Výroba elektrické energie FVE v průměrný červencový den, vytvořeno autorem . . . . .	42
5.11 Konstrukce pro FV panely K2 BasicRail System, převzato z katalogu společnosti K2 Systems [17] . . . . .	43
5.12 SolarEdge SE100K-EU, převzato z katalogu společnosti SolarEdge . .	50
6.1 Umístění navržené KJ s nákresem sítí, vytvořeno autorem . . . . .	57
6.2 Roční diagram odběru tepla, vytvořeno autorem . . . . .	58
6.3 Pokrytí spotřeby tepla v průběhu jednoho měsíce (Únor, 2023), vytvořeno autorem . . . . .	58
6.4 Pokrytí spotřeby tepla kogenerační jednotkou v průběhu roku 2023, vytvořeno autorem . . . . .	60
6.5 Pokrytí potřeby elektrické energie průmyslového podniku v roce 2023, vytvořeno autorem . . . . .	63
6.6 Pokrytí potřeby elektrické energie průmyslového podniku v roce 2023, vytvořeno autorem . . . . .	64
6.7 Porovnání využití jednotlivých zdrojů elektrické energie, vytvořeno autorem . . . . .	66

## Tabulky

4.1 Spotřeba elektrické energie průmyslového podniku v roce 2023	26
4.2 Spotřeba tepla průmyslového podniku v roce 2023	28
4.3 Spotřeba zemního plynu průmyslového podniku v roce 2023	29
5.1 Parametry kogenerační jednotky TEDOM Quanto 1000	36
5.2 Parametry fotovoltaického panelu CS6W-550MS	40
5.3 Varianta 1 - Intenzita solárního záření	41
5.4 Varianta 2 - Intenzita solárního záření	41
5.5 Výroba elektrické energie FV elektrárny za rok	42
5.6 Požadované parametry střídače	49
5.7 Parametry střídače SolarEdge SE100K a SE50K	50
6.1 Pokrytí potřeby tepla průmyslového podniku KJ v roce 2023	59
6.2 Pokrytí potřeby tepla průmyslového podniku kotelny K1 a K2 v roce 2023	59
6.3 Bilance pokrytí spotřeby elektrické energie průmyslového podniku za rok 2023	62



# Kapitola 1

## Úvod

V dnešní době je globální energetický sektor svědkem neustálých výzev spojených se zajištěním udržitelné a spolehlivé dodávky elektrické energie. Tradiční zdroje, jako jsou fosilní paliva a uhlí, jež dlouhá léta poháněly naše energetické potřeby, nyní vykazují své limity. Jejich výroba a spalování vedou k závažným ekologickým problémům, včetně zvýšených emisí skleníkových plynů, degradace životního prostředí a ohrožení klimatické stability planety.

Česká republika, stejně jako mnoho dalších zemí, čelí naléhavé potřebě transformace svého energetického sektoru. Dochází k nezbytnému posunu od neudržitelných zdrojů k obnovitelným a čistým energiím, což je klíčovým krokem směrem k udržitelnější budoucnosti. Tento posun přináší nespočetné výhody, jako je snížení emisí skleníkových plynů a diverzifikace energetického mixu. Nicméně s sebou nese i potenciální problémy spojené s nekonzistentností výroby a potřebou zvýšené stability a spolehlivosti energetické sítě.

Klíčovou součástí energetické transformace je potřeba zajištění stability a spolehlivosti energetické sítě. Jedním z významných aspektů, který je třeba zvážit, je riziko destabilizace sítě v důsledku nedostatků tradiční energetické infrastruktury. Nedostatečná flexibilita v distribuci a skladování energie vytváří riziko pro stabilitu sítě, zejména při zapojení nových zdrojů obnovitelné energie. Kvůli tomuto problému jsou v dnešní době, investoři mnohokrát značně omezováni v možnostech výstavby velkých fotovoltaických elektráren.

V případě nevyužívání pouze obnovitelných a čistých energií je při této energetické transformaci kladen důraz na zvýšení efektivity využívání neobnovitelných zdrojů energie. V tomto kontextu nabízí kogenerační jednotky významný potenciál. Jejich schopnost současné produkce elektřiny a tepla z jednoho zdroje výrazně zvyšuje celkovou efektivitu využití neobnovitelných zdrojů energie, čímž může přispět ke snížení zátěže na energetický systém a zároveň minimalizovat negativní dopady na životní prostředí.

Práce se věnuje využití technologií fotovoltaických systémů a kombinované výroby elektrické a tepelné energie, k dosažení energeticky úsporného řešení, pro konkrétní průmyslový areál nacházející se v České republice.



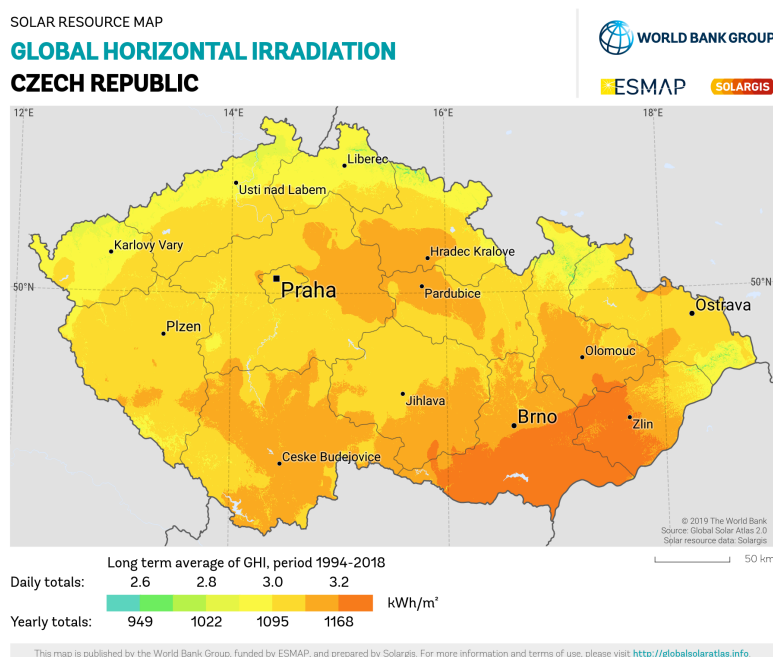


## Kapitola 2

### Fotovoltaika

Fotovoltaická technologie je založena na principu přeměny slunečního záření na elektrickou energii. Sluneční záření vzniká termonukleární reakcí v samotném jádru slunce, při které se za vysokého tlaku a teploty, přeměňuje vodíkové jádro na hélium. Při tomto procesu, dochází k uvolnění velkého množství energie ve formě elektromagnetického záření, které je v podobě fotonů vyzářeno do okolí. [1]

Teoretické množství energie slunečního záření, které dopadne na povrch atmosféry Země, je vyjádřeno pomocí tzv. Solární konstanty, jejíž hodnota je  $1360 \text{ W/m}^2$ . [2]



**Obrázek 2.1:** Sluneční mapa pro oblast České republiky, převzato [3]

Při interakci s atmosférou je tato energie částečně absorbována nebo odražena, a tudíž na povrch planety za ideálních klimatických podmínek dopadá energie

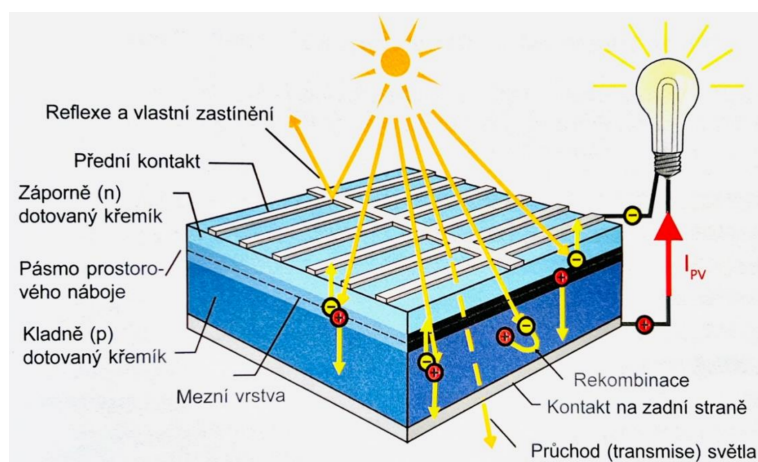
s hodnotou blízkou  $1000 \text{ W/m}^2$ . Tato hodnota je velice proměnná a je závislá na celé řadě okolních vlivů jako nadmořské výšce, počasí, zeměpisné poloze nebo míře znečištění atmosféry v dané oblasti. Na obrázku 2.1, je uvedena sluneční mapa zobrazující území České republiky, která demonstruje množství energie slunečního záření v závislosti na zeměpisné lokaci. [1][2] [3]

Proces, při kterém jsme schopni přeměnit elektromagnetické záření na využitelnou energii, se nazývá fotoelektrický jev. Tento jev popisuje situaci, kdy při dopadu světelného záření (fotonů) na povrch materiálu (např. kovu) dochází k emitaci elektronů a tím k vytvoření elektrického proudu. Tento jev nastává pouze v případě, kdy dopadající foton má dostatečnou energii k uvolnění elektronu z povrchu materiálu.[2][3]

## 2.1 Solární článek

Právě prostřednictvím solárních článků se uskutečňuje fotoelektrický jev. Fotovoltaický (FV) článek je tvořen dvěma typy polovodičových materiálů tak, aby byl vytvořen tzv. PN přechod. Polovodič typu P disponuje vyšší koncentrací kladně nabitých děr, zatímco polovodič typu N má vyšší koncentraci elektronů. [2][3]

Základním používaným materiálem pro realizaci PN přechodu je křemík. Dotací pětimocného prvku (např. arsen, fosfor) vznikne polovodič typu N, respektive třímocného prvku (bor, hliník) vznikne polovodič typu P. Spojením polovodiče typu P a polovodiče typu N dochází k rekombinaci volných elektronů a děr, načež v této oblasti vznikne vnitřní elektrické pole. Nově utvořené elektrické pole následně odděluje opačně nabitě částice. Díky dopadu fotonu na takovou strukturu dochází znovu k rekombinaci elektronů a děr, a tím k průchodu proudu strukturou. Proud je odebírán přidáním kovových elektrod na přední a zadní stranu povrchu.[2][3]



**Obrázek 2.2:** Princip fotovoltaického jevu, převzato [2]

Přední strana FV článku musí co nejvíce propouštět světelné záření, z tohoto důvodu jsou kontakty na přední straně rozmístěné v tenké mřížce. Článek je dále na přední straně vybaven antireflexní vrstvou pro zamezení odrazu fotonů a maximalizaci jejich absorpce.

Nicméně solární články jsou schopny přeměnit přibližně zhruba 21 % dopadající energie. Nízká efektivita přeměny je dána používanými materiály, které nedokážou absorbovat celé spektrum slunečního záření, částečnými ztrátami při přeměně (např. přeměna na teplo), nebo mírné ztráty odrazem či zastíněním předními elektrodami. Jednotlivé ztráty v solárním článku jsou zobrazeny na následujícím obrázku.[2]



**Obrázek 2.3:** Využitelná elektrická energie, převzato [2]

Fotovoltaický článek, lze vyrobit z několika materiálů, jako je galium-arsenid (GaAs), germanium (Ge) nebo z polykrystalického, popřípadě amorfního křemíku. Některé výzkumy ukázaly, že použití arsenidu galia lze dosáhnout účinnosti nabývajících až 40 %. Avšak využití tohoto materiálu pro komerční účely je z důvodu křehkosti a výrobních nákladů prozatím nepřijatelné, stejně jako u vícevrstvých FV článků, které zvyšují účinnost absorpcí širší škály spekter slunečního záření. Z těchto důvodů je drtivá většina solárních článků tvořena z materiálu monokrystalického křemíku.

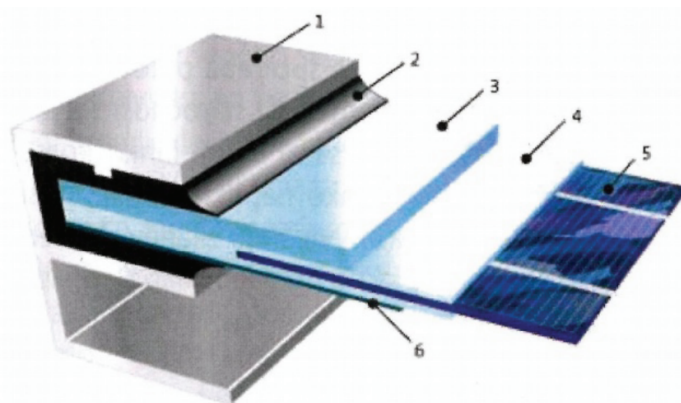
## 2.2 Fotovoltaický panel

Jednotlivé FV články jsou jako zdroj energie v praxi prakticky nevyužitelné. Kvůli nízkému výstupnímu napětí a proudu, jsou tyto články sériovo-parallelně pospojeny do tzv. FV (solárního) modulu. Při propojení několika FV panelů vzniká tzv. fotovoltaické pole.

Panel, který je běžně složený ze 36-72 sériově propojených modulů, tak dosáhne napětí v rozmezí 18 - 43 V. Pro zvýšení proudu protékajícího panelem se tyto sériově zapojené řetězce spojí paralelně.

Struktura takto propojeného FV panelu je složen z několika vrstev různých materiálů. Spojené články vkládáme do etylvinylacetátové fólie (EVA). Z přední strany panelu je umístěno speciální tvrzené sklo, které propouští sluneční záření, přičemž současně plní ochrannou funkci. Panel je tímto chráněn před nepříznivými vnějšími vlivy, kterými mohou být vlhkost, sněh, vítr a další.

Spodní vrstvy mohou být různé v závislosti od výrobce a dané aplikace. Ve všech případech plní tyto vrstvy, stejně jako tvrzené sklo, ochrannou funkci. V největším procentu případů jsou tyto vrstvy tvořeny vícevrstvou plastovou fólií s velkou pevností a mechanickou odolností. V některých aplikacích mohou být tyto vrstvy průsvitné. Taková struktura FV panelu je nakonec obklopena hliníkovým rámem, pro lepší mechanické vlastnosti a možnosti uchycení panelu k jeho nosné konstrukci.



1. hliníkový rám, 2. těsnění, 3. tvrzené sklo, 4. EVA, 5. fotovoltaický článek, 6. krycí fólie (tedlar)

**Obrázek 2.4:** Standardní konstrukce FV panelu, převzato [4]

## 2.3 Fotovoltaické elektrárny

FV elektrárny (systémy) jsou obvykle složeny z následujících komponent:

- Fotovoltaické panely
- DC rozvodná skříň
- DC/AC měnič (střídač)
- AC rozvodná skříň

V některých případech mohou být takové elektrárny vybaveny dalšími komponenty, které zmíním v následujících odstavcích.

Fotovoltaické panely bývají obvykle umístěny na střešní konstrukce (případně na zemi) v počtu, který vyhovuje záměru investora. FV panely jsou sériově pospojovány k dosažení minimálního stejnosměrného napětí, při kterém dokáže střídač, za normálních podmínek, pracovat. Konektory panelů (MC4 konektory) jsou umístěny na zadní straně každého z panelu a jsou vybaveny dostatečně dlouhými UV odolnými kabely, obvykle o průměru 4-6 mm<sup>2</sup>, pro sériové, či paralelní zapojení dalších FV panelů.

Jak bylo dříve zmíněno, sériové či paralelní propojení jednotlivých FV panelů vytváří FV pole. FV pole je složeno z minimálního/maximálního množství panelů, které odpovídá datasheetu výrobce použitého střídače. Kabeláž z těchto polí je vedena do DC rozvaděče a následně jsou zapojeny do AC/DC měniče. V případě rozlehlých FV polí, skládajících se z více větví, instalujeme další DC rozvaděč, tzv. připojovací skříň generátoru, kde jsou jednotlivé větve nejdříve spojeny.

DC/AC měnič transformuje stejnosměrný proud získaný z FV panelů na střídavý. Měniče jsou po FV panelech nejdůležitější komponentou FV systému. Jako takové ovlivňují efektivitu výroby elektrické energie a jsou odpovědné za dodání střídavého napětí a frekvence v požadovaných mezích. Měniče rozdělujeme na jednofázové, nebo třífázové. Třífázový střídač je na základě dodávání výkonu do jednotlivých fází rozdělen na symetrický a asymetrický. Každý střídač z tohoto rozdělení nalezne uplatnění v různých aplikacích.

## 2.4 Rozdělení fotovoltaických systémů podle zapojení

Fotovoltaické systémy můžeme rozdělit na tři základní typy: [4]

### 1. Autonomní systémy

Autonomní systémy jsou použity převážně v případech, kdy propojení s distribuční soustavou není možné nebo je velmi obtížné.

Jsou složeny z FV modulů, prvků pro akumulaci elektrické energie a ve většině případů i měniče, který napájí spotřebu objektu. V ojedinělých případech může být použito stejnosměrné napájení, jako napájení spotřebičů, přičemž napětí takového systému je obvykle 12 či 24 V. Tyto systémy se obvykle využívají jako zdroj napájení pro menší objekty (chaty), nebo telekomunikační zařízení, zahradní osvětlení a další. [4]

### 2. Hybridní systémy s akumulací

Hybridní fotovoltaický systém je kombinací systému autonomního a síťového. Největší výhodou tohoto systému je maximální možná využitelnost elektrické energie přímo v daném objektu. Moderní hybridní FV systém je vybaven inteligentním řízením elektrické energie v domácnosti a je schopen, při správném dimenzování, pokrýt i energeticky náročné spotřebiče. Další nespornou výhodou oproti síťovým systémům, neboli "On-Grid", je možnost zálohy elektrického napájení budovy, či vybraných spotřebičů, v případě výpadku distribuční sítě.

### 3. Systémy připojené k elektrické síti (On Grid)

Jedná se o systémy přímo propojeny s distribuční soustavou, bez možnosti zálohování. Jsou složeny z obvykle většího množství FV panelů, síťového měniče, síťových ochranných zařízení a zařízení pro měření a regulaci.

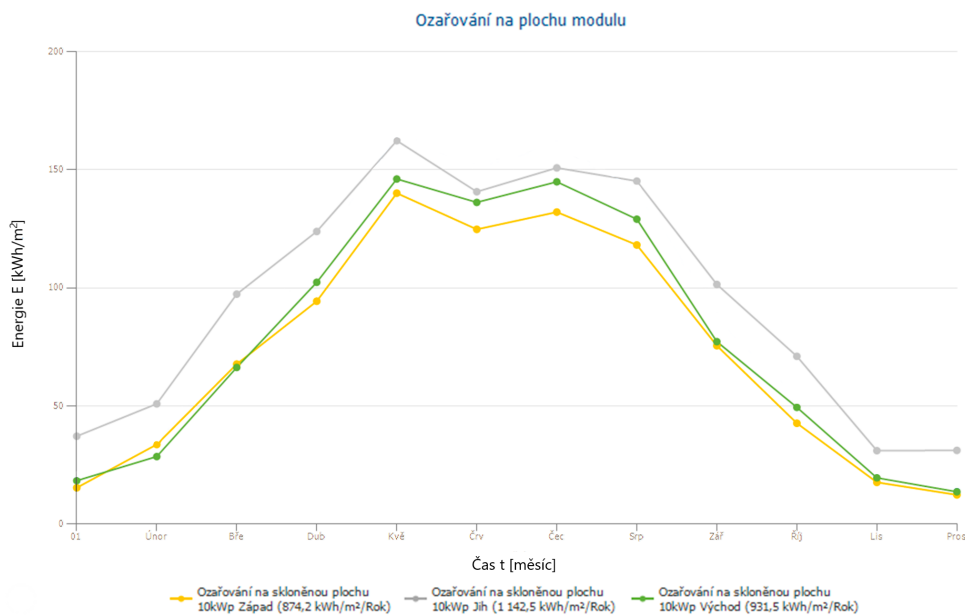
## 2.5 Orientace, sklon, stínění a jejich vliv na účinnost fotovoltaické elektrárny

Orientace, sklon i zastínění FV panelů má zásadní vliv na celkovou roční výrobu FV elektrárny.

Optimální orientace je dle [5] jižní. Nicméně, dle mého názoru je tento parametr velice diskutabilní. V případě, kdy je spotřeba elektrické energie v dopoledních a poledních hodinách u uživatele FV elektrárny minimální (klasický diagram spotřeby rodinného domu), je samozřejmě výhodnější FV panely instalovat na JZ až Z světovou stranu. Z tohoto důvodu se přikláním k názoru, že optimální orientace FV panelů závisí na diagramu spotřeby v instalovaném místě a na účelu investora.

Pokud pomineme diagram spotřeby a účel investora, jižní orientace je dle

[5] skutečně nejvýhodnější. Při odklonu panelu do 30° je rozdíl v účinnosti prakticky zanedbatelný. Srovnání instalovaných panelů o výkonu 10 kWp, po dobu jednoho roku, na světové strany jih, východ a západ je vyobrazena na následujícím grafu. Z grafu je patrné, že nejvýnosnější orientací instalace FV modulů je jih, následovaná instalací s východní orientací.



**Obrázek 2.5:** Výnosy FV panelů v závislosti na jejich orientaci, vytvořeno autorem

Ideální sklon FV panelů je pro území České republiky 35°, nicméně úbytky výkonu elektrické energie jsou při odlišných sklonech minimální, a tak se ve většině aplikací volí sklon, který vyhovuje dané aplikaci (střešní/pozemní konstrukce). Větší sklon dále disponuje výhodou samočistící schopností panelů. Vzhledem k poloze Slunce během zimního období, kdy sluneční záření dopadá na naši planetu pod mírnějším úhlem, je opačně vhodnější volit sklon nižší.

V případě, kdy jsou FV panely umístěny v lokacích, které jsou během dne částečně zastíněny, vybavujeme panely tzv. optimizéry výkonu. Zastínění FV panelů má značný vliv na výkon celé větve (stringu), neboť při sériovém propojení FV panelů je maximální výkon každého z panelů takový, jako nejmenší výkon jednoho z FV panelů. Optimizéry výkonu, díky paralelnímu propojení, zajišťují maximální výrobu každého z FV panelů nezávisle na ostatních. Pokud nebudou optimizéry výkonu v systému instalovány, je nutné se při návrhu umístění FV modulů vyvarovat zastíněným míst.



## 2.6 Konstrukce pro umístění fotovoltaických panelů

Vzhledem k poznatkům z kapitoly 2.5 je zřejmé, že nosné konstrukce pro umístění FV panelů hrají významnou roli v efektivitě využití slunečního záření. Existuje mnoho typů konstrukcí. Některé jsou uzpůsobeny pro maximální využití slunečního záření, jiné pro minimalizování nákladů. Tyto konstrukce lze rozřadit následovně:

### ■ Pevné konstrukce

Konstrukce sloužící pouze k bezpečnému uchycení FV panelů. Tento typ je nejvíce používaný, především díky své nízké ceně, jednoduché instalaci a spolehlivosti. Nicméně, je nutné vybrat vhodný sklon i orientaci vůči světovým stranám. Obecně pevné konstrukce nedosahují takové účinnosti jako fotovoltaické systémy využívající níže popsané typy.

Tento typ konstrukce lze dále rozdělit dle typu instalace. Na střešní (ploché/šikmé) nebo pozemní.

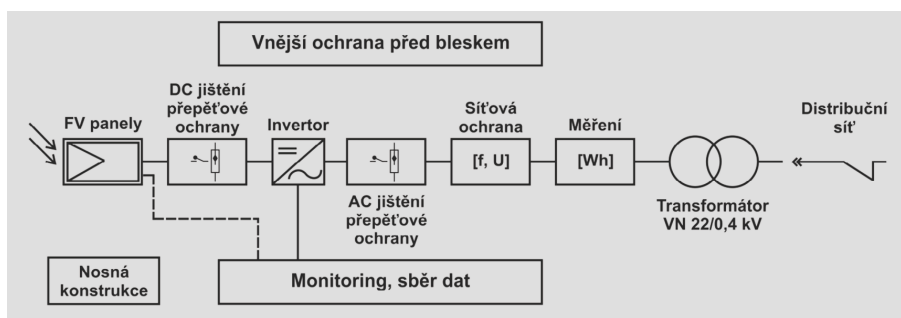
Pozemní i střešní typy konstrukcí lze instalovat v jakékoli orientaci i úhlu sklonu, nicméně pro střešní instalace se obvykle volí úhel, kopírující úhel sklonu střešní krytiny. Optimální úhel pro geografické umístění České republiky je 35°. U instalací týkajících se plochých střech nevolíme úhel příliš velký kvůli zatížení konstrukce budovy. V praxi existují ještě další typy konstrukcí, které v závislosti na poloze slunce během denní doby upravují svoji orientaci, aby výnos z FV panelů byl co možná největší. Jednotlivé typy jsou vyobrazeny na následujícím obrázku.



**Obrázek 2.6:** Typy konstrukcí pro a) ploché střechy, b) šikmé střechy, c) pozemní instalace, převzato z produktového katalogu společnosti K2 Systems







**Obrázek 2.7:** Názorné schéma zapojení FV systému, převzato [4]

Vnější ochrana před bleskem je zajištěna prostřednictvím bleskosvodů a ochranného uzemnění. Účelem bleskosvodů je odvést bleskový proud do země, přičemž minimalizují riziko přímého zásahu objektu či technologií, které se na objektu vyskytují. Pro jejich správnou činnost je klíčové jejich rozmístění. Společně s bleskosvodem hraje důležitou roli ochranné uzemnění, které minimalizuje odpor a zajišťuje efektivní odvod bleskové energie do země.

Při navrhování (FV) systému je nezbytné provést kontrolu existujícího bleskového zabezpečení. V případě, že stávající opatření nesplňují požadavky, je nezbytné nainstalovat nový nebo rozšířený hromosvod v rámci instalace nového FV systému, přičemž se projektant řídí normami uvedenými v ČSN EN 62305-1-4 ed. 2 pojednávající o návrhu hromosvodů.

## 2.8 Využití fotovoltaických systémů

Fotovoltaické systémy lze využít hned v několika různých oblastech. Některé, jako je industriální využití nebo pro rodinné domy, slouží především pro zmírnění nákladů na energie a zvýšení energetické soběstačnosti budovy. Jiné, mohou mít pouze investiční účely a jejich primárním cílem je prodej vyrobené elektrické energie. Nicméně i tento cíl přispívá ke snížení závislosti na fosilních palivech a snižuje emise skleníkových plynů.

Další uplatnění najdou FVE v oblasti distribuované energie, kdy fotovoltaické panely umístěné přímo v odběrném místě, sníží náklady přenosové sítě. Tyto systémy mohou být doplněny bateriovým uložištěm, které následně poslouží v odlehlých oblastech, kde je vybudování elektrické rozvodné sítě nemožné či velice nákladné.

Fotovoltaická energie může taktéž sehrát významnou roli v rozvojových zemích, kde by poskytla elektrickou energii lidem, kteří nemají přístup k elektrické rozvodné síti. Tato skutečnost by mohla mít v těchto oblastech významný ekonomický dopad a ovlivnit jejich další rozvoj.

## 2.9 Systémy pro ukládání elektrické energie

Při výrobě elektrické energie z neobnovitelných zdrojů nebylo nutné se příliš zabývat systémy pro ukládání elektrické energie, neboť tyto systémy jsou velice dobře regulovatelné. Problematické jsou obnovitelné zdroje energie, které jsou charakteristické právě rázovými zisky el. energie. To znamená, že aktuální výroba FV elektrárny často neodpovídá hodinovému diagramu spotřeby v daném čase. Pro maximální využití elektrické energie, především během nočních hodin (FVE), je zapotřebí instalovat prvky pro akumulaci vyrobené elektrické energie.

V dnešní době existuje mnoho způsobů ukládání přebytečné energie. Mezi ty tradiční, ve spojení s fotovoltaickým systémem, patří technologie elektrochemická a tepelná. Dalším způsobem uchování vyrobené elektrické energie je využití virtuálních baterií.

### 2.9.1 Elektrochemická technologie

Elektrochemická technologie je v tomto případě vnímána jako bateriová uložení, pracující na principu přeměny elektrické energie na energii chemickou. Použití bateriového uložení v kombinaci s výrobou elektrické energie může mít různé důvody jako:

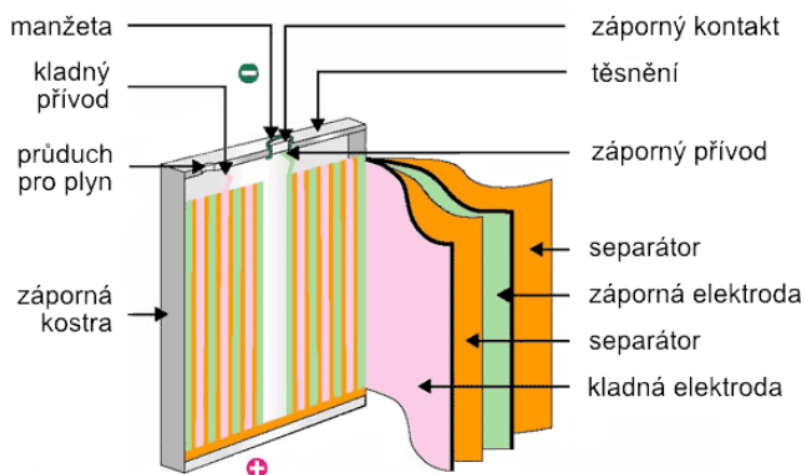
- Autonomní systém - elektrická energie pokrývá veškerou spotřebu
- Stabilizace sítě - použití baterií pro vyrovnání špiček spotřeby (např. rozběh motorů)
- Uchování vyrobené elektrické energie - elektrická energie nemusí být spotřebována v daném časovém okamžiku, může být spotřebována např. během večerních hodin

Obecně by bateriová uložení, používaná v kombinaci s fotovoltaickou elektrárnou, měla mít dlouhou životnost, disponovat vysokou hustotou energie a dobrou cyklickou odolností. Někteří z nynějších výrobců bateriových systémů zaručují, že jmenovitá kapacita baterie neklesne, za ideálních podmínek (stálá okolní teplota 25°C), pod 80% během 10 let provozu. V solární energetice se používá několik hlavních typů baterií jako lithium-iontové (Li-ion), nikl-kadmiové (NiCd), průtokové a dlouhodobě používané olověné akumulátory. [4]

Olověné akumulátory jsou velice často používaným a nejvíce rozšířeným typem elektrochemických systémů. Oblíbeným a využívaným je především díky nízké ceně a vysoké spolehlivosti.

U obnovitelných zdrojů jsou díky vysoké hustotě energie a nízké hmotnosti článků, častěji používané lithium-iontové, či lithium-polymerové akumulátory. U akumulátorů tohoto typu byl vyřešen problém samovybíjení a je možné je téměř úplně vybit beze ztrát. Mezi další hodnotné přednosti těchto typů patří

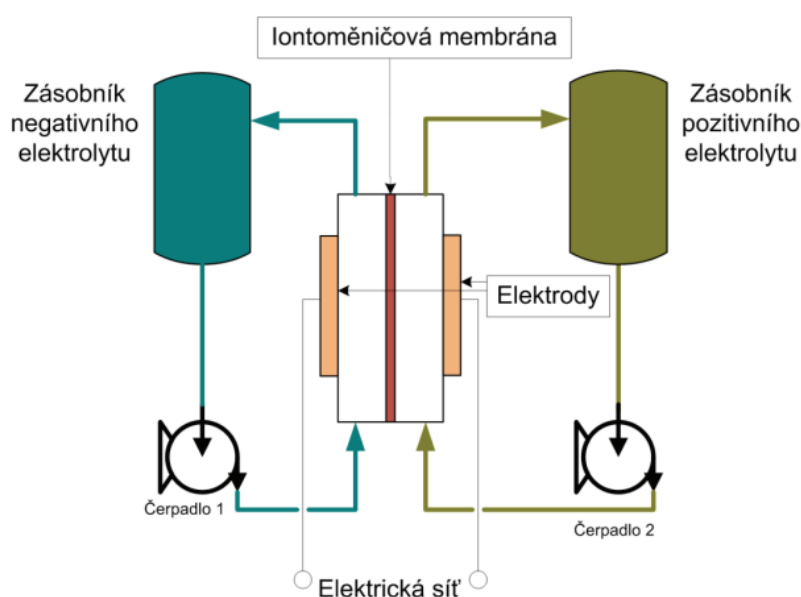
bezúdržbový provoz, rychlé nabití, či vybití a šetrnost k životnímu prostředí. Nevýhodou je vyšší pořizovací cena. Anoda Li-ion článku je tvořena uhlíkem, katoda z oxidu kovů a jako elektrolyt je využívána lithiová sůl. Konstrukce Li-ion akumulátoru je vyobrazen na Obr. 2.8. [4][6]



**Obrázek 2.8:** Li-ion akumulátor, převzato [6]

Nikl-kadmiové akumulátory jsou svoji vnitřní strukturou i přednostmi velice podobné Li-ion. Avšak jejich výhodou je možnost použití tohoto typu ve velkém teplotním rozmezí. NiCd baterie jsou schopné pracovat v rozmezí  $-40^{\circ}\text{C}$  až  $+60^{\circ}\text{C}$  bez následné snížení životnosti či zkrácení počtu cyklů. Na druhou stranu, nevýhodou je možnost přebíjení baterie, kdy následně dojde k jejímu poškození či rychlému zkrácení její životnosti. [4]

Průtokové elektrické baterie jsou poměrně novou technologií. Rozdílem mezi klasickým akumulátorem a průtokovou elektrickou baterií je skladování energie pomocí tekutého elektrolytu, který se pomocí čerpadel přesouvá mezi chemickým článkem a zásobníky pro pozitivní a negativní elektrolyt. Množství naakumulované energie určuje právě velikost těchto zásobníků. Chemický článek je složen ze dvou elektrod a iontoměničové membrány, která zprostředkovává výměnu iontů mezi elektrolyty. Nejrozšířenějším typem průtokového akumulátoru je tzv. VRFB akumulátor (vanadový redoxní průtočný akumulátor), pracující na principu elektrochemické oxidace a redukce vanadu. Tento princip je vyobrazen na Obr. 2.9. [4]



**Obrázek 2.9:** Princip průtokového Li-ion akumulátoru, převzato [4]

Dalším potenciálním dlouhodobým uložištěm může být technologie zvaná Power to Gas (P2G). Jedná se o technologii zařazenou do elektrochemických systémů pro ukládání energie, avšak realizace je prostřednictvím výroby a skladování plynů. Technologie P2G využívá přeměny elektrické energie na energii ve formě plynu, jako je vodík, nebo metan. Tato technologie, oproti výše zmíněným, disponuje výhodou především v kapacitě akumulované elektrické energie, a za dodržení určitých podmínek, i dlouhodobé energetické skladovatelnosti. [7]

Plyn, který je vyroben lze akumulovat a v případě potřeby použít pro zpětnou transformaci na elektrickou energii prostřednictvím paroplynových elektráren nebo palivových článků. V souvislosti s obnovitelnými zdroji energie lze použít pro motorová vozidla či jako palivo pro kogenerační jednotky. [7]

### ■ 2.9.2 Virtuální baterie

Virtuální baterie nejsou systémem uchovávajícím elektrickou energii, ale jedná se spíše o nástroj či službu pro efektivnější využití elektrické energie.

Služba funguje na principu výměny elektrické energie s distribuční soustavou v době, kdy je výroba větší, než je spotřeba v místě s FV elektrárnou. Distributor za poplatek přenese vyrobenou energii z místa výroby do jiného odběrného místa. Množství energie přenesené distributorem je započítáno a později, kdy je spotřeba objektu větší než výroba elektrické energie, je distributorem poskytnuta zpět.

Velice významnou výhodou je absence počátečních nákladů na fyzické ba-

teriové uložení, které při využívání této služby nejsou potřebné. Zásadní nevýhodou je nemožnost ostrovního provozu, což znamená, že za výpadku elektrické sítě není objekt zásobován elektrickou energií. Další nevýhodou je variabilní cena za poskytování této služby, která se odvíjí od cen silové elektřiny, distribučních a dalších poplatků zadané distributorem. Tyto ceny jsou u každého distributora rozdílné. Někteří distributoři požadují i platbu za rezervovanou kapacitu v Kč/MWh. Z tohoto důvodu není možné obecně určit, zda-li bude tato služba pro investora výhodnější než pořízení fyzického bateriového uložení a je potřeba tuto možnost posuzovat u každého projektu individuálně.

### ■ 2.9.3 Akumulace energie ve formě teplé užitkové vody

Nejjednodušším a zároveň nejlevnějším způsobem ukládání přebytků vyrobené elektrické energie je ohřev vody a její následné využívání.

Elektrická energie z obnovitelných zdrojů je využita k ohřevu vody v nádrži prostřednictvím elektrických odporových spirál. Ohřátá voda se následně může využít jakýmkoli způsobem, například k vytápění objektu. Nevýhodou může být pouze místo k instalaci zásobníku pro akumulaci vody.

## Kapitola 3

### Kombinovaná výroba energie

Elektrická a tepelná energie jsou konečné formy energií dodávané spotřebitelům. Elektrická energie je považována za nejkvalitnější formu energie, kterou lze přeměňovat na libovolnou formu energie. Využití tepelné energie je vysoce závislé na parametrech, jako je teplota, a možnosti její přeměny jsou limitovány druhým termodynamickým zákonem. [8]

Teplárenská výroba, neboli kombinovaná výroba energie, či zkráceně kogenerace, je sdružená výroba elektřiny a tepla. Jedná se o proces, kdy z primárního paliva (nejčastěji zemní plyn, pára, fosilní paliva, nebo palivové články) je vyráběna elektrická a tepelná energie.

Základní rozdělení kogeneračních systémů je na horní a dolní kogenerační systém. Horní i dolní kogenerační systém je systém, při kterém je primární palivo nejprve přeměněno na vysokopotenciální tepelnou energii. U horního kogeneračního systému je tato energie využita k různým tepelně náročným technologickým procesům. Zbytková, nevyužitá tepelná energie je dále transformována na mechanickou energii a pomocí generátorů na energii elektrickou. U dolního kogeneračního systému je vyrobená tepelná energie určena k transformaci na energii elektrickou a následně je využitelná tepelná energie získána ze zbytkového tepla. [8][9]

Kogenerační jednotky naleznou uplatnění ve všech aplikacích, kde odběr tepla, případně chladu, je požadovaný po celý rok. Kvůli někdy nedostatečným požadavkům na odběr tepla, jsou ke kogeneračním jednotkám instalovány akumulární nádrže. Kogenerační jednotka pak pracuje pouze ve špičkách dodávky elektrické energie a vyrobené teplo je akumulováno v nádržích pro pozdější využití.

### 3.1 Oddělená a kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie

Uvažujeme-li klasickou výrobu elektrické energie v kondenzačních elektrárnách, potom teplo, které při výrobě vznikne je započteno ke ztrátám systému a je následně vypuštěno do okolí. V závislosti na typu zdroje elektrické energie jsou ztráty takového systému zhruba 65-70 %. V teplárnách se naopak žádná elektrická energie nevyrábí, a tak účinnost těchto systémů dosahuje zhruba 85-90 %. Vztah 3.1 vyjadřuje účinnost oddělené výroby elektrické energie. [8][10]

$$\eta^{ODV} = \frac{\eta_E^{PAL} + \eta_T^{PAL}}{Q_{PAL} + Q_{PAL}} = \frac{35 + 85}{100 + 100} = 0,6 \quad [-] \quad (3.1)$$

kde:

- $\eta^{ODV}$  [%] - účinnost oddělené výroby,
- $\eta_E^{PAL}$  [%] - účinnost transformace paliva při výrobě elektrické energie,
- $\eta_T^{PAL}$  [%] - účinnost transformace paliva při výrobě tepelné energie,
- $Q_{PAL}$  [%] - množství dodaného paliva.

Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie (KVET) je z hlediska efektivity využití primárního paliva, jako je uhlí, nebo zemní plyn nejvýhodnější. U systému, které využívá oba druhy energií, se může účinnost, v závislosti na použité technologii, pohybovat i nad hranicí 80 % (viz. 3.2). Na následujícím obrázku jsou vyobrazeny účinnosti oddělené a kombinované výroby elektřiny a tepla. [10][11]

$$\eta^{KVET} = \frac{\eta_{KVET,E}^{PAL} + \eta_{KVET,T}^{PAL}}{Q_{PAL}} = \frac{30 + 50}{100} = 0,8 \quad [-] \quad (3.2)$$

kde:

- $\eta^{KVET}$  [%] - účinnost kombinované výroby,
- $\eta_{KVET,E}^{PAL}$  [%] - účinnost transformace paliva při kogenerační výrobě elektrické energie,
- $\eta_{KVET,T}^{PAL}$  [%] - účinnost transformace paliva při kogenerační výrobě tepelné energie,
- $Q_{PAL}$  [%] - množství dodaného paliva.





**Obrázek 3.1:** Porovnání účinností a ztrát při oddělené a kombinované výrobě elektřiny a tepla (ČEZ, a.s.), převzato [10]

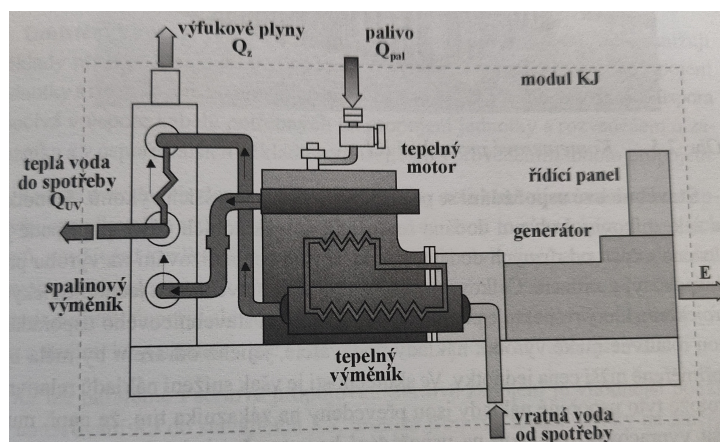
Zvýšením účinnosti přeměny primárního paliva, můžeme docílit menších nákladů při provozování zdroje a zmírnit znečištění životního prostředí. Další výhodou je decentrální umístění výroby v blízkosti spotřebitele, s čímž také souvisí snížení ztrát během přenosu a distribuce elektrické, či tepelné energie. [8]

### 3.2 Konstrukční provedení kogenerační jednotky

Na trhu existuje celá řada výrobců, nicméně konstrukční provedení KJ se v zásadě neliší. Mezi různými konstrukčními provedeními, se v dnešní době objevují nejčastěji tyto dva typy:

- Modulové uspořádání
- Stavebnicové uspořádání

Modulové uspořádání je používáno především u kogeneračních jednotek (KJ) menších výkonů, kdy veškeré části KJ jsou součástí jednoho modulu. Tyto části jsou kompaktně umístěny co nejbližší k sobě, což vede k úspoře investičních nákladů a jednoduššímu zapojení KJ. Instalace modulových KJ je velice rychlá a provoz automatizovaný. V případě umístění mimo budovy, jsou tyto modulové KJ dodávány v kontejnerovém provedení (viz. Obrázek 3.2). [8]



**Obrázek 3.2:** Modulové uspořádání KJ se spalovacím motorem, převzato [8]



být dále využito hned v několika aplikacích. Parametry jednotlivých forem energie jsou velmi ovlivňovány typem PJ a její použité technologie. PJ má největší vliv na celkové vlastnosti KJ. [8][9]

PJ se z pravidla rozděluje na PJ s vnitřním spalováním, vnějším spalováním a na PJ s přímou transformací. Primární jednotky s přímou transformací přeměňují primární energii přímo na energii elektrickou. Do tohoto typu se řadí zejména palivové články, které dále rozdělujeme dle použitého elektrolytu, typu iontové vodivosti (kationtová, aniontová), či pracovní teploty (studené, teplé). [8][9]

U primárních jednotek s vnitřním spalováním dochází v prostoru motoru k oxidaci paliva a následnému uvolnění tepelné energie. Tepelná energie je dále převáděna na energii mechanickou. Mezi tento typ se řadí spalovací motory, které na základě způsobu spalování rozdělujeme na zážehové, nebo vznětové. [8][9]

Primární jednotky s vnějším spalováním zpracovávají primární palivo mimo PJ. Do této skupiny patří parní turbíny, mikroturbíny, kondenzační turbíny a několik dalších. [8][9]

### ■ 3.3.3 Zařízení pro výrobu a úpravu elektrické energie

Zařízení pro výrobu a úpravu elektrické energie je tvořeno elektrickým generátorem, který přeměňuje mechanickou energii na energii elektrickou. Parametry elektrické energie nemusí být vždy vhodné pro další použití, a proto mohou být následně upravovány na základě použitého generátoru. Elektrický generátor může být střídavý nebo stejnosměrný, přičemž stejnosměrné pracují samostatně, bez spojení s distribuční soustavou. [8]

Dalším zařízením, které se může u tohoto prvku vyskytovat, je elektrický kondicionér (měnič). Měniče se používají v případě nutnosti úpravy elektrické energie pro další použití. V tomto případě může jít o změnu frekvence, napětí či samotnou transformaci stejnosměrného proudu na střídavý. [8]

### ■ 3.3.4 Zařízení pro rekuperaci tepelné energie

Toto zařízení je volitelné a je potřeba zvážit nutnost jeho instalace, na základě požadované formy tepla a jeho využití. Zařízení pro rekuperaci tepelné energie transformuje tepelné médium z KJ na požadované parametry a formu, jako nízkoteplotní voda o teplotě do 100°C, vysokoteplotní voda o teplotě 150-200°C, vodní pára nebo teplý vzduch. [8]

## 3.4 Paliva kogeneračních jednotek

Výběr paliva pro kogenerační jednotku zahrnuje několik aspektů. Velkým vlivem na jeho výběr má především výběr kogenerační technologie, ekonomické a ekologické požadavky, charakter provozu KJ a dostupnost konkrétního druhu paliva v dané lokalitě. V některých případech je druh paliva vybrán jako rozhodující prvek a na základě něj se přizpůsobují ostatní požadavky.

S ohledem na výše zmíněnou problematiku jsou paliva rozdělena dle:

1. **typu paliva**, které se, dle původu vzniku, rozdělují na:

- a. fosilní paliva
- b. biopaliva
- c. alternativní paliva

Mezi alternativní paliva řadíme vodík, nebo jaderné palivo, které mají nejlepší energetický obsah a nejšetrnější vliv na životní prostředí. Nicméně, vznikají za velmi náročných energetických procesů a kvůli vysokým investičním nákladům se v komerčních aplikacích běžně nepoužívá. Biopaliva se získávají z biomasy (organická hmota živočišného, popřípadě rostlinného původu), jsou ekologické, ale jejich energetický obsah není tak vysoký, jako u fosilních zdrojů. Do fosilních paliv řadíme např. uhlí, zemní plyn nebo ropu.

2. **druhu paliva**

Jednotlivé druhy paliva v tomto kontextu rozumíme jednotlivá skupenství, a jejich fyzikální vlastnosti.

- a. Pevná  
Pevná, či tuhá paliva, jsou kvůli jejich nízké energetické hustotě potřeba ve velkém objemu. Jejich dalším problémem je také množství příměsí a následné znečišťování životního prostředí. Případné náklady na provoz KJ s využitím tohoto typu paliva se zvyšuje s problematikou odvodu, či spalování těchto látek a dopravou samotného tuhého paliva do místa spotřeby.
- b. Kapalná  
Kapalná paliva se vyznačují vysokým energetickým obsahem a menší mírou emisí, než u spalování tuhých paliv. Nevýhodou jsou zvýšené bezpečnostní požadavky při jejich skladování a manipulaci. Typicky se jako kapalná paliva používají těžký topný olej, plynový olej, methanol, ethanol, ropy a další.
- c. Plynná  
Obsahují pouze stopové množství látek zodpovědné za vznik emisí. Mezi tuto skupinu se řadí zemní plyn, propan či butan nebo různé plynné produkty vzniklé zpracováním zemního plynu, ropy nebo uhlí. Výhodou je dokonalé promísení se vzduchem, které může proběhnout již před samotnými spalovacími procesy.

**3. dostupnosti**

Pořízení na trhu jednotlivých paliv vzniká na základě jejich poptávky. Rozlišujeme je na komerční a nekomerční. Některé druhy paliva jsou pro komerční účely nepřijatelné a jiné jsou vyráběny a zpracovávány pouze provozovatelem kogeneračního systému.

**3.5 Využití kogeneračních jednotek**

Některé z primárních důvodů k využívání technologie kogeneračních jednotek jsou stabilizace dodávky a ceny tepla, efektivita provozu a úspora financí. KJ mají nejlepší využití v místech, kde je odebíráno velké množství tepelné energie. Takové lokality mohou být například lokální komunální výtopny, systémy centrálního zásobování teplem, nemocnice, hotely, průmyslové podniky atd. [8][12]

Kogenerační technologie může být tedy využita pro pokrytí elektrické a tepelné energie objektu. Obvykle se jedná o tzv. dolní systémy, které jsou primárně určeny k výrobě elektrické energie. Teplo, které vzniká jako sekundární produkt, je využito pro účely vytápění.

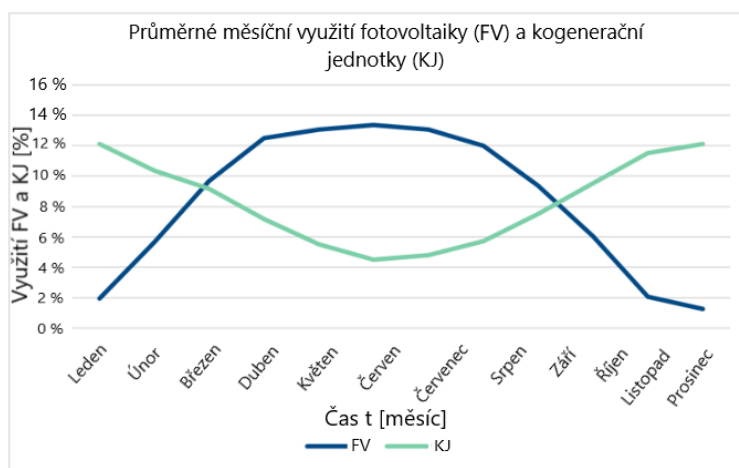
Horní kogenerační systémy jsou přednostně určeny k výrobě tepelné energie a její následné zpracování v různých technologických procesech. Výroba elektrické energie je v těchto systémech závislá na potřebě energie tepelné. Dále může být využita pro klimatizování jednotlivých místností a nebo celého objektu. [8]

**3.6 Kombinace fotovoltaické elektrárny a kogenerační jednotky**

Spolupráce kogenerační jednotky a instalované fotovoltaické elektrárny (FVE), k zásobování objektu elektrickou a tepelnou energií, se v České republice stává čím dál častější. Evropská unie očekává alespoň 40% zisk energie z obnovitelných zdrojů do roku 2030. Díky tomu se v posledních letech jeví velký zájem o obnovitelné zdroje elektrické energie a zároveň se vyskytly nové výzvy a odvětví pro výzkum. Kvůli nekonzistentnímu výkonu FVE jsou hledány systémy, k pokrytí energetických požadavků, během noci, špatného počasí či během zimních měsíců.

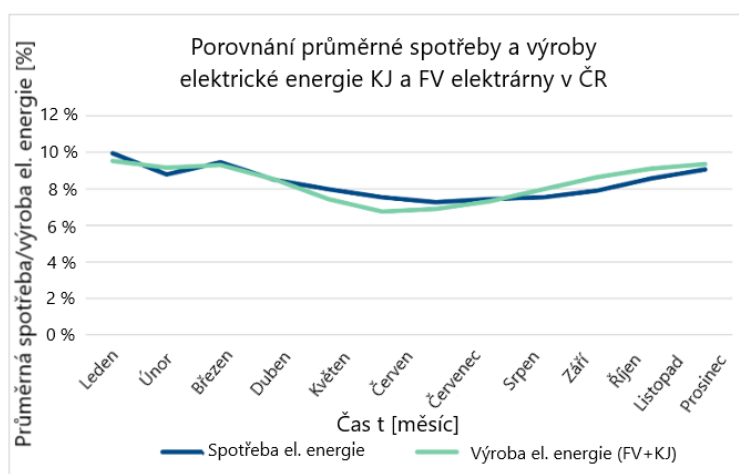
V současné době FV systémy nejsou, z velké většiny případů, schopny pokrýt energetické požadavky objektu. Především v zimních měsících, kdy spotřeba objektu je nejvyšší a FVE vyrábí minimální množství energie. Pro případy, kdy energie z FV panelů je nedostatečná, lze využít dříve zmíněná bateriová uložení nebo dodatečný zdroj elektrické energie.

Díky odlišným sezónním charakteristikám jsou kogenerační jednotky vy-  
nikajícím doplněním fotovoltaických elektráren. Na Obr. 3.3 je vyobrazeno  
průměrné měsíční využití fotovoltaické elektrárny (FVE) a kogenerační jed-  
notky (KJ). [13]



**Obrázek 3.3:** Průměrné měsíční využití fotovoltaické elektrárny (FVE) a kogenerační jednotky (KJ), upraveno [13]

Z obrázku lze jednoznačně vyvodit, že PV systémy jsou nejvíce efektivní  
v letních měsících, naopak KJ je využívána především v měsících zimních.  
KJ může být použita i v letních měsících pro pokrytí energetických špiček,  
pokrytí spotřeby za nepříznivých povětrnostních podmínek nebo v případě  
výpadku FVE. Fotovoltaická elektrárna doplněná kogenerační jednotkou, jako  
dodatečný zdroj energie a primární zdroj vytápění, je vhodná pro soběstačné,  
energeticky nezávislé budovy. [13] [14]



**Obrázek 3.4:** Porovnání průměrné spotřeby a výroby elektrické energie (KJ+FVE) v České republice, upraveno [13]

## Kapitola 4

### Charakteristika průmyslového podniku

Průmyslový podnik je tvořen ze dvou závodů nacházející se v odlišných lokalitách. Obě lokality se nachází v Ústeckém kraji, ve městě sestávající se ze třinácti tisíc obyvatel. Areál má dobré napojení na silniční komunikaci i dálnici, která je vedena jen několik kilometrů za městem. Zároveň městem prochází železniční koridor.

Společnost se specializuje na výrobu nádob na odpad, jako jsou velkokapacitní kontejnery, podzemní kontejnery, ale i kontejnery pro komunální a nebezpečný odpad. Dále společnost vyrábí sudy, kyslíkové dýchací přístroje, přenosné vařiče, grily a další.

Společnost pro výrobu využívá několik specializovaných pracovišť, lokalizovaných v několika halách, jako jsou montážní dílny, svařovna, lisovna nebo lakovna.

#### 4.1 Infrastruktura průmyslového areálu a charakter provozu

Průmyslový areál má lichoběžníkový tvar o celkové rozloze 34 385 m<sup>2</sup> a 10 410 m<sup>2</sup>, přičemž tyto dvě plochy jsou odděleny silniční komunikací. Hranice pozemku jsou oploceny, popřípadě zastavěny některou z výrobních hal či administrativní budovou. Celkem je tento areál složen ze 44 objektů, mezi které patří různé sklady materiálů, výrobní a administrativní budovy, montovny nebo i typy budov jako je vrátnice, trafostanice či jídelna s kantýnou.

V areálu je v současné době zaměstnáno zhruba 230 zaměstnanců. Provoz je dvousměnný a omezený pouze na pracovní dny. Pracovní hodiny jsou v době od 6:00 do 14:00 a od 14:00 do 22:00.

Vytápění jednotlivých budov je zajištěno přípravou teplé vody ve dvou kotelnách, které jsou umístěny v kontejnerech za administrativní budovou. Kotelny jsou vybaveny celkem třemi plynovými kotly na zemní plyn o celkovém tepelném výkonu 2 290 kW.

## 4.2 Analýza potřeby elektrické a tepelné energie

Průmyslový areál je v současné době vysoce závislý na dodávce elektrické i tepelné energie z jednotlivých distribučních společností.

Tato závislost je zcela jistě velice neekonomická a zároveň je zde riziko úplného zastavení výrobních procesů při výpadku elektrické rozvodné sítě.

### 4.2.1 Spotřeba elektrické energie

Elektrická energie je převážně využita pro napájení výrobních zařízení a zařízení použitých pro navazující výrobní procesy. Zbylá část elektrické energie je využita k osvětlení a administrativní činnosti.

Autorovi byla poskytnuta data spotřeby elektrické energie v hodinovém rozlišení z roku 2023.

Ze zpřístupněných dat lze usoudit, že společnost spotřebuje dostatečné množství energie k opodstatněné úvaze o vybudování samostatného zdroje elektrické energie, který společnosti zajistí zcela jedinečné ekonomické výhody ve formě úspor, které budou moci využít v odlišných odvětvích. Avšak tyto hodnoty jsou nadměrně vysoké na zvažení výstavby takového zdroje, který by byl schopen je zajistit.

Měsíc	Spotřeba elektrické energie (kWh)	Spotřeba elektrické energie (MWh)
Leden	7 415	7,4
Únor	6 639	6,6
Březen	7 107	7,1
Duben	7 022	7,0
Květen	7 123	7,1
Červen	6 887	6,9
Červenec	6 192	6,2
Srpen	4 117	4,1
Září	6 365	6,4
Říjen	6 648	6,7
Listopad	7 213	7,2
Prosinec	4 367	4,4
<b>Spotřeba celkem</b>	<b>77 096</b>	<b>77,1</b>

**Tabulka 4.1:** Spotřeba elektrické energie průmyslového podniku v roce 2023



### ■ Přípojka elektrické energie

Areál je z distribuční soustavy zásobován elektrickou energií od společnosti ČEZ Distribuce, a. s., z napěťové hladiny 22 kV.

Napájení průmyslového areálu je zajištěno prostřednictvím trafostanice 22/0,4 kV v majetku anonymizované společnosti. Trafostanice je umístěna zhruba uprostřed nádvoří, za administrativní budovou a disponuje celkem dvěma trafy o výkonu  $1 \times 630$  kVA a  $1 \times 100$  kVA. Z budovy trafostanice je elektrická energie rozvedena do celého průmyslového areálu.

### ■ Areálové rozvody elektrické energie

Hlavní rozvaděče areálu s napěťovou hladinou 0,4 kV jsou umístěny v budově trafostanice. V areálu anonymizované společnosti se dále nachází několik výrobních hal, přičemž každá z nich je vybavena vlastním podružným rozvaděčem odpovědným za napájení dané budovy.

### ■ 4.2.2 Tepelná energie

V současném stavu se v průmyslovém podniku nachází dvě kotelny disponující třemi plynovými kotly. Kotelny jsou v průmyslovém areálu umístěny na nádvoří za administrativní budovou a jsou napojeny na přípojku nízkotlakého vedení zemního plynu. Kotelny K1 a K2 zajišťují vytápění jednotlivých budov a výrobních hal, spolu s přípravou teplé vody pro celý závod.

Kotelna K1 je vybavena plynovým kotlem Viessmann VITOPLEX 200, jehož jmenovitý tepelný výkon dosahuje hodnoty 1 400 kW. Kotelna K2 disponuje dvěma plynovými kotly Viessmann VITOPLEX 300 o jmenovitých tepelných výkonech 720 kW a 170 kW. Kotle Viessmann VITOPLEX 200 a Viessmann VITOPLEX 300 o celkovém tepelném výkonu 2 290 kW zajišťují vytápění veškerých budov a hal, které se v areálu vyskytují. Zatímco kotel Viessmann VITOPLEX 300 s tepelným výkonem 170 kW je zodpovědný za přípravu teplé užitkové vody pro celý průmyslový areál.

Tyto kotelny jsou v současné situaci schopny pokrýt tepelné potřeby společnosti, avšak na úkor vysokých nákladů za koupi zemního plynu. V tabulce 4.2 jsou rozepsány hodnoty spotřeby tepla v roce 2023.



### ■ 4.2.3 Zemní plyn

V současném stavu poskytuje průmyslovému areálu zásoby zemního plynu společnost GasNet, s.r.o. Jedná se o vysokotlakou přípojku zakončenou v objektu regulační stanice (HUP - hlavního uzávěru plynu). Z objektu HUP je vedena nízkotlaká přípojka do stávajících kotelen K1 a K2.

Spotřeby zemního plynu, za rok 2023, jsou shrnuty v tabulce (4.3). Přepočet na MWh byl převeden prostřednictvím koeficientu  $1 \text{ Nm}^3 = 0,01055 \text{ MWh}$ .

Měsíc	Spotřeba zemního plynu (Nm <sup>3</sup> )	Spotřeba zemního plynu (MWh)
Leden	1 032 468	10 893
Únor	905 014	9 548
Březen	1 045 548	11 031
Duben	886 650	9 354
Květen	898 724	9 482
Červen	881 194	9 297
Červenec	761 729	8 036
Srpen	539 569	5 692
Září	819 210	8 643
Říjen	956 808	10 094
Listopad	1 113 045	11 743
Prosinec	719 144	7 587
<b>Spotřeba celkem</b>	<b>10 559 103</b>	<b>111 399</b>

**Tabulka 4.3:** Spotřeba zemního plynu průmyslového podniku v roce 2023



## Kapitola 5

### Návrh nového zdroje elektřiny a tepla

Vzhledem k charakteru spotřeby průmyslového areálu byly jako nové zdroje elektrické a tepelné energie vybrány technologie fotovoltaických článků a kogenerační jednotky.

Dimenzování jmenovitého výkonu kogenerační jednotky a návrh způsobu provozu je pro spojení těchto dvou zdrojů klíčové. Vzhledem k tomu, že existuje určitý limit mezi poměrem vyrobené elektrické a tepelné energie KJ, nelze navrhnout velikost KJ tak, aby přesně odpovídala potřebám elektrické i tepelné energie v daném průmyslovém podniku. Tento limit je s ohledem na velikost KJ v rozsahu hodnot 1:1,2 - 1:2, tepelnému:elektrickému výkonu.

#### 5.1 Návrh kogenerační jednotky

Kogenerační jednotka bude dimenzována s ohledem na potřeby tepelné energie během chladnějších měsíců v roce (tj. dle 4.2 zhruba 5 měsíců v roce). Případné přebytky tepelné energie budou akumulovány v zásobnících TUV a v případě potřeby většího tepelného výkonu, než je KJ schopna dodat, bude tato potřeba uspokojena dodávkou ze stávajících kotelen K1 a K2. Na základě velikosti KJ bude dimenzována fotovoltaická elektrárna k zásobování podniku elektrickou energií v průběhu zbývajících částí kalendářního roku. Špičková potřeba elektrické energie bude dodávána z distribuční soustavy.

Prostory průmyslového areálu jsou poměrně rozsáhlé, přičemž žádná z hal v areálu, nedisponuje takovou technickou místností, kde by bylo vhodné kogenerační jednotku umístit.

Současné kotelny jsou situovány zhruba uprostřed areálu v kontejnerech. V místě, kde jsou dovedeny i rozvody zemního plynu. Z tohoto důvodu je výhodné kogenerační jednotku, v kontejnerovém provedení, umístit v blízkosti těchto kotelen. Díky této lokalitě budou ušetřeny náklady na vybudování nového vedení a přípojky zemního plynu.

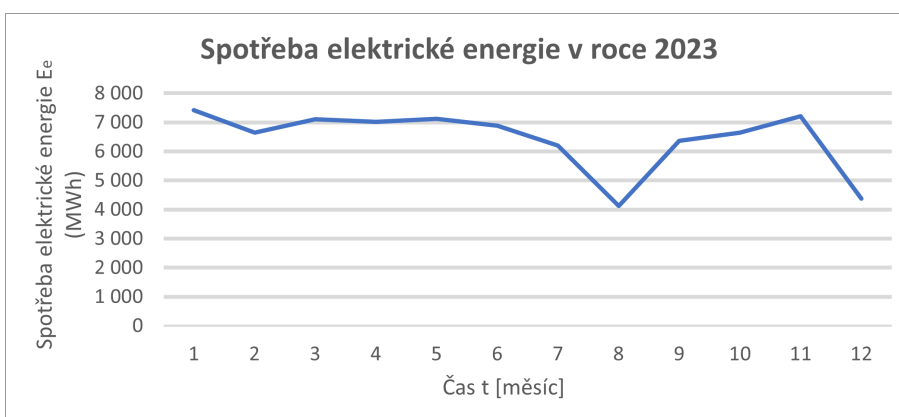
Na obrázku 5.1 je červeným mnohoúhelníkem vyobrazeno možné umístění kogenerační jednotky.



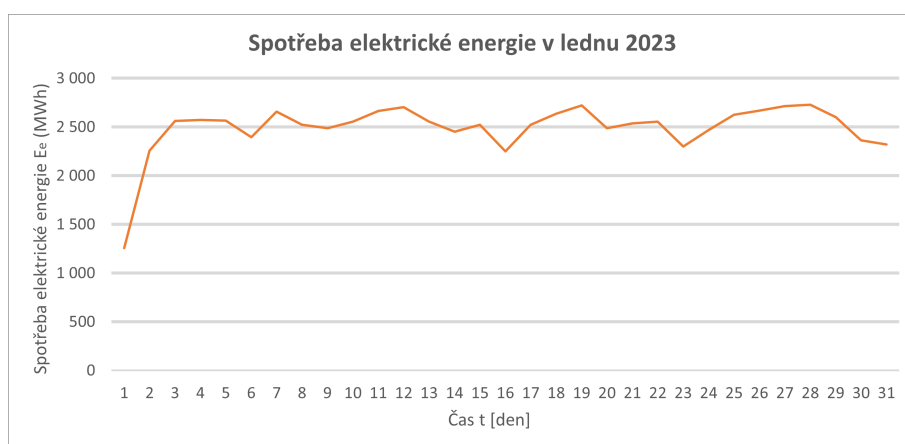
Obrázek 5.1: Možné umístění kogenerační jednotky, vytvořeno autorem

### ■ Pokrytí spotřeby elektrické energie kogenerační jednotkou

V měsících, ve kterých je uvažován provoz kogenerační jednotky, je průměrná spotřeba elektrické energie 6 627 MWh. Maximální potřeba elektrické energie je určena jako rozsah hodnot v rozmezí 1 500 - 2 000 kW v pracovních dnech. Denní a měsíční průběh spotřeb je znázorněn na následujících grafech.



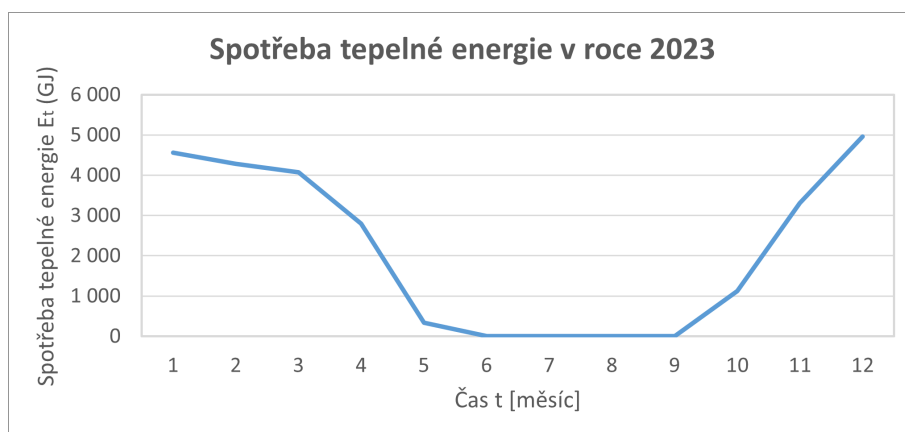
Obrázek 5.2: Spotřeba elektrické energie v roce 2023, vytvořeno autorem



**Obrázek 5.3:** Denní průběh spotřeby elektrické energie (leden 2023), vytvořeno autorem

### ■ Teplo pro vytápění a ohřev teplé vody

Množství tepla potřebné v zimním období, včetně ztrát v rozvodech areálu, dosahuje průměrné hodnoty zhruba 3 995 GJ. Tato hodnota odpovídá přibližně 1 110 MWh. Uvažováno je přitom s topnou sezónou v rozmezí listopad - duben, tedy s 6 měsíci. Z informací, které byly poskytnuty společností je níže sestaven graf ročního odběru tepla.



**Obrázek 5.4:** Průběh spotřeby tepelné energie v roce 2023, vytvořeno autorem

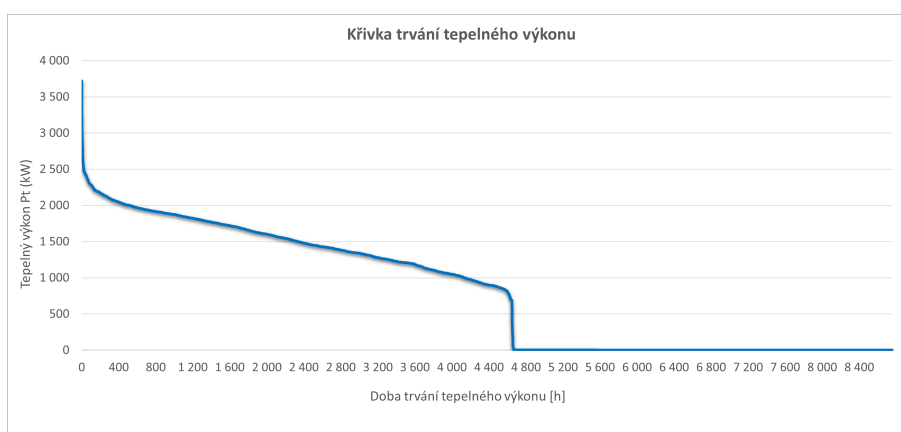
#### ■ 5.1.1 Dimenzování kogenerační jednotky

Velikost KJ se určuje na základě potřeby elektrické, popřípadě tepelné energie. Největší účinnosti dosahuje kogenerační jednotka v případě, kdy je využito veškeré vyrobené teplo. KJ tedy bude dimenzována tak, aby veškerá vyrobená tepelná energie byla spotřebována. Zbylá potřeba tepla, která nebude dodána KJ, bude uspokojena pomocí stávajících plynových kotlů.

Elektrická energie vyrobená KJ bude spotřebována v průmyslovém podniku a zbývající potřeba bude dodána z fotovoltaické elektrárny, popřípadě z distribuční soustavy.

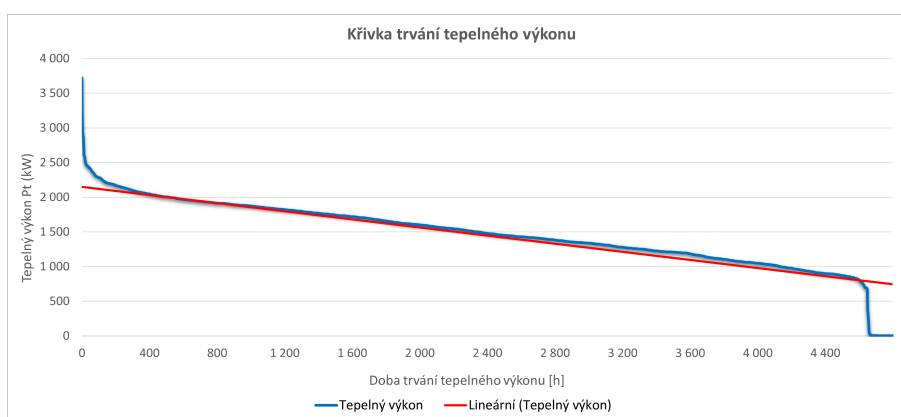
V kapitole 3 bylo popsáno základní rozdělení kogeneračních systémů. V průmyslovém podniku je teplo využíváno pouze pro vytápění a přípravu teplé užitkové vody, nikoliv pro technologické procesy. V takových případech je vhodný dolní systém, který primárně vyrábí elektrickou energii a jeho odpadním produktem je energie tepelná.

Výkon KJ je určen na základě doby trvání potřeby tepla. Ze získaných dat je níže sestavena křivka tepelného výkonu.



**Obrázek 5.5:** Křivka trvání tepelného výkonu  $P_t$ , vytvořeno autorem z poskytnutých dat od společnosti

Optimální hodnota výkonu KJ je získána maximalizací plochy, obdélníkového tvaru, pod křivkou. K určení takové plochy, je nutné znát funkci křivky tepelného výkonu. Funkce byla získána aproximací křivky.



**Obrázek 5.6:** Aproximace křivky trvání tepelného výkonu  $P_t$ , vytvořeno autorem



Následně byla řešena matematická úloha maximalizace funkce obdélníkového průběhu omezenou lineární funkcí. Hledáme vázané extrém funkce  $f(x,y)$  vzhledem k podmínce  $g(x)$ .

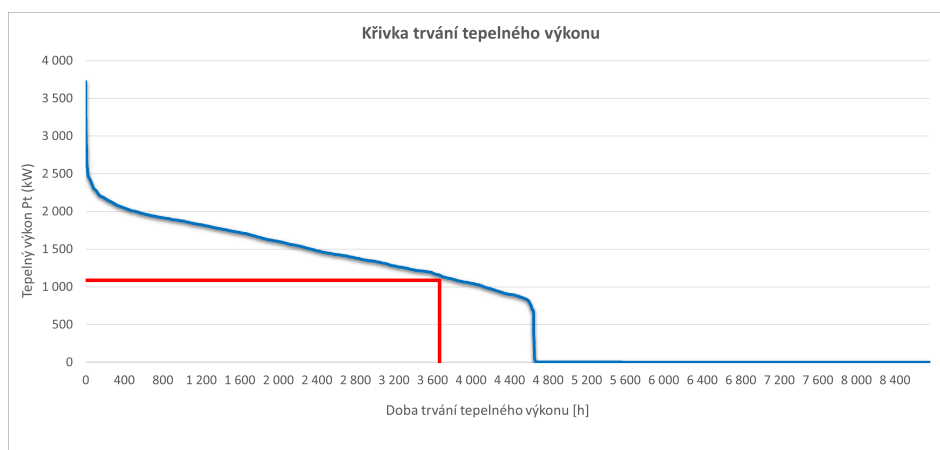
$$f(x, y) = x \cdot y \quad (5.1)$$

$$g(x) = -0,2927 \cdot x + 2\,150 \quad (5.2)$$

Řešení této matematické úlohy je zpracováno v příloze B. Výsledkem je extrém funkce:

$$x = 3\,672,70243 \quad (5.3)$$

Optimální výkon KJ ( $P_{KJ}$ ) pro průmyslový podnik je roven zhruba 1 075 kW. Optimální doba provozu KJ, při jejím jmenovitém výkonu, je 3 673 hodin ročně. Tato hodnota odpovídá zhruba 5 měsícům nepřetržitého provozu.



**Obrázek 5.7:** Určení výkonu a doby provozu KJ z křivky tepelného výkonu, vytvořeno autorem

Při známém jmenovitém výkonu určujeme kogenerační jednotku. KJ byla vybrána na základě:

- jmenovitého tepelného výkonu
- paliva
- nákladů na pořízení
- efektivity provozu

Pro daný průmyslový podnik byla vybrána kogenerační jednotka od výrobce TEDOM a. s.. Jedná se o kogenerační jednotku označenou Quanto 1000 spalující zemní plyn. Její jmenovitý tepelný výkon dosahuje hodnoty 1 106 kW a účinnosti až 90,6 %. Ostatní parametry jsou rozepsány v tabulce 5.1.

TEDOM Quanto 1000

Elektrický výkon $P_e$ (kW)	Tepelný výkon $P_t$ (kW)	Elektrická účinnost $\eta_e$ (%)	Tepelná účinnost $\eta_p$ (%)	Celková účinnost $\eta$ (%)
999	1 106	43,0	47,6	90,6

**Tabulka 5.1:** Parametry kogenerační jednotky TEDOM Quanto 1000

Množství vyrobené tepelné energie při provozu o jmenovitém výkonu:

$$Q_{KJ} = P_t \cdot t = 1\,106 \cdot 3\,673 = 4\,062,3 \text{ [MWh; W, h]} \quad (5.4)$$

$$Q_{KJ} = 14\,624,4 \text{ [GJ]} \quad (5.5)$$

kde:

- $Q_{KJ}$  [GJ] - množství vyrobené tepelné energie,
- $P_t$  [W] - tepelný výkon,
- $t$  [h] - doba provozu kogenerační jednotky.

Množství vyrobené elektrické energie:

$$E_{KJ} = P_e \cdot t = 999 \cdot 3\,673 = 3\,669,3 \text{ [MWh; W, h]} \quad (5.6)$$

kde:

- $E_{KJ}$  [Wh] - množství vyrobené tepelné energie,
- $P_e$  [W] - tepelný výkon,
- $t$  [h] - doba provozu kogenerační jednotky.

### ■ Napojení kogenerační jednotky na stávající infrastrukturu areálu

Kogenerační jednotka bude napojena na rozvody zemního plynu v místě stávajících kotelen K1 a K2. V tomto případě budou nucené náklady spojené pouze s vybudováním nového plynovodu o délce zhruba 4 m do prostoru kotelny K1.

Teplo vyrobené kogenerační jednotkou bude napojeno na stávající rozvody tepelné energie v místě kotelny K1. Kotelny jsou příznivě umístěny poblíž kogenerační jednotky, stejně jako v případě zemního plynu, a je tedy možné technické napojení tepla nad zemí, či v zemi, s poměrně nízkými investičními náklady.

Elektrická energie bude vedena v zemi do budovy trafostanice, kde bude napojena na stávající rozvody elektrické energie společnosti. Pro vyvedení výkonu o velikosti 999 kW bude nutné vybavit stávající budovu trafostanice novým transformátorem 22/0,4 kV o minimálním výkonu 1 250 kVA. Výrobna KGJ tak bude připojena na vysokonapětové rozvody průmyslového areálu i do distribuční sítě ČEZ Distribuce a.s. na napětové hladině 22 kV.

## 5.2 Návrh fotovoltaické elektrárny

Fotovoltaická elektrárna (FVE) bude průmyslový podnik zásobovat elektrickou energií.

Velikost FVE je určena na základě spotřeby elektrické energie v letních měsících, kdy nebude v provozu kogenerační jednotka, a ve kterých je výroba taktéž nejúčinnější. FVE bude dimenzována tak, aby nedocházelo k velkým přebytkům elektrické energie a jejímu následnému dodávání do distribuční soustavy. Případnou špičkovou potřebu elektrické energie, kterou nebude schopna poskytnout FVE, zajistí dodávka z veřejné rozvodné sítě.

Průmyslový podnik disponuje rozsáhlými střešními plochami, na kterých by bylo vhodné FVE vybudovat. Při volbě střechy je nutné zvážit několik aspektů, které mohou ovlivnit investiční náklady na výstavbu, jako je místo napojení technologie, aktuální stav střešní konstrukce (statika), orientace vůči světovým stranám, sklon střechy, nebo i přítomnost světlíků, komínů, vzduchotechniky či dalších technologií, které by působily problémy při instalaci FVE a mohly mít negativní vliv na výrobu elektrické energie, například ve formě zastínění.

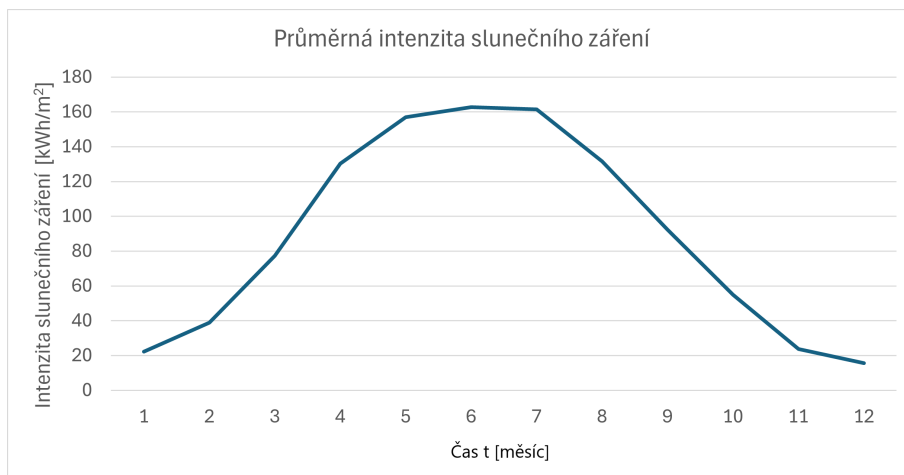
Pro umístění technologie byly vybrány nově vystavěné skladovací haly (viz. Obrázek 5.8). Haly disponují rozsáhlou střešní plochou o rozloze přibližně 6 952 m<sup>2</sup>.



**Obrázek 5.8:** Vybrané haly průmyslového areálu pro umístění FVE, vytvořeno autorem



ností Dr. Valentin EnergieSoftware GmbH. Z databáze jsou určeny průměrné hodnoty intenzity slunečního záření na horizontálu po celý rok. Následně jsou dle námi zadaného umístění a sklonu FV modulů vypočteny ztráty zastíněním, odrazem paprsků na povrchu modulu, sklonem modulů či teplotou modulu. Hodnoty průměrné intenzity slunečního záření, pro geografické umístění společnosti, jsou vyobrazeny v grafu 5.9. Nejvyšší hodnoty intenzity slunečního záření dosáhneme v měsíci červen, kdy dosahuje  $162,63 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$ .



**Obrázek 5.9:** Průměrná intenzita slunečního záření, vytvořeno autorem

### ■ Varianta 1

Varianta 1 byla navrhována k dosažení co možná nejefektivnějšího provozu FVE.

Celkem by bylo instalováno 600 ks FV panelů orientovaných na východ a 666 ks FV panelů orientovaných na západ. Pro návrh bylo počítáno s FV panely od společnosti CSI Solar Co., Ltd, s označením CS6W-550MS o výkonu 550 Wp. Jedná se o monokrystalické panely s účinností dosahující 21.5%. Parametry jednoho z těchto panelů jsou rozepsány v tabulce 5.2, nebo v datovém listu obsaženého v příloze C, která obsahuje data za standardních zkušebních podmínek (STC) s intenzitou záření  $1000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ , spektrem AM 1,5 a teplotou buňky  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  a data při jmenovité provozní teplotě modulu (NMOT), intenzitě záření  $800 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ , spektru AM 1,5, teplotě okolí  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , rychlosti větru  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Parametry	Veličina	Jednotka	STC	NMOT
Rozměr jednoho modulu	-	[mm]	2261×1134×35	
Nominální výkon	$P_{max}$	[W]	550	412
Optimální provozní napětí	$U_{mp}$	[V]	41.7	39.1
Optimální provozní proud	$I_{mp}$	[A]	13.20	10.55
Napětí naprádno	$V_{OC}$	[V]	49.6	46.9
Zkratový proud	$I_{SC}$	[A]	14.00	11.29
Efektivita	$\eta_{panel}$	[%]	21.5	21.5

**Tabulka 5.2:** Parametry fotovoltaického panelu CS6W-550MS

Každý z FV panelů je dále vybaven optimizérem výkonu, pro umožnění efektivnější výroby elektrické energie. Optimizéry dále plní bezpečnostní funkci odpojení FV panelů a dosažení úrovně bezpečného stejnosměrného napětí pro každý z panelů.

Fotovoltaická elektrárna by byla složena z celkem 1266 ks FV panelů o celkovém výkonu 696 300 Wp. Sklon FV modulů je vůči horizontální rovině 35° a vůči střešní konstrukci 30°.

Pokud jsou panely instalovány pod vyšším sklonem než střešní konstrukce, je důležité zajistit větší mezery mezi jednotlivými řadami fotovoltaických modulů, aby nedocházelo k jejich vzájemnému zastínění a tím pádem k úbytku výkonu FV energie. Pro rozměry panelu CS6W-550MS, při sklonu 30° vůči střešní konstrukci je tento rozestup zhruba 0,921 m. Z tohoto důvodu je předpokládaný výkon u této varianty výrazně nižší než dle výpočtu 5.7.

## ■ Varianta 2

Varianta 2 pokrývá možnost maximálního instalovatelného výkonu na vymezenou plochu.

Pro návrh byly použity stejné FV panely CS6W-550MS jejichž vybrané parametry jsou k nahlédnutí v tabulce 5.2 nebo v datovém listu v příloze C. FV panely budou vybaveny, shodně jako u varianty 1, optimizéry výkonu zajišťující efektivnější výrobu FV modulů a plnící bezpečnostní funkci.

Počítá se s instalací FV panelů s konstrukcí typizovaných pro šikmé střechy, kde nemůže dojít k vzájemnému zastínění FV modulů. Díky tomu, lze instalovat podstatně vyšší výkon čítající 1 190,75 kWp. FV moduly budou instalovány opět na dvě světové strany, východ a západ, v poměru 1 143:1 022 FV panelů. Úhel sklonu fotovoltaických modulů bude shodný s úhlem střešní krytiny (5°).

### ■ Volba vhodné varianty

FVE je navrhována především pro využití v letních měsících. Z tohoto důvodu budeme tyto varianty porovnávat v rozmezí měsíců duben - září.

V tabulkách 5.3 a 5.4 jsou uvedeny hodnoty intenzity slunečního záření pro jednotlivé měsíce. Dále tabulky obsahují ztráty způsobené sklonem, orientací a odrazem slunečních paprsků od FV modulů.

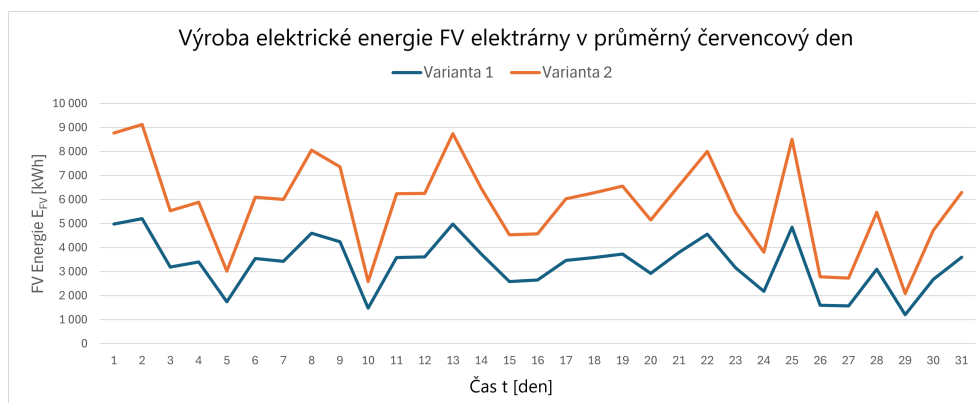
Intenzita solárního záření G [Wh · m <sup>-2</sup> ]				
	Intenzita solárního záření 0°	Ztráty způsobené sklonem a orientací FV modulů při sklonu 5° vůči 0°	Ztráty způsobené odrazem na povrchu FV modulů při sklonu 5° vůči 0°	Ztráty celkem při sklonu 5° vůči 0°
Duben	130 280	130 280-1 665	-8 451	-10 116
Květen	156 850	-1 980	-8 779	-10 759
Červen	162 630	-2 060	-8 391	-10 451
Červenec	161 420	-2 030	-8 594	-10 624
Srpen	131 590	-1 660	-7 648	-9 308
Září	92 149	-1 149	-6 513	-7 662
<b>Ztráty</b>	<b>0</b>	<b>-10 544</b>	<b>-48 376</b>	<b>-58 920</b>
<b>Celkem</b>	<b>834 919</b>			<b>775 999</b>

**Tabulka 5.3:** Varianta 1 - Intenzita solárního záření

Intenzita solárního záření G [Wh · m <sup>-2</sup> ]				
	Intenzita solárního záření 0°	Ztráty způsobené sklonem a orientací FV modulů při sklonu 35° vůči 0°	Ztráty způsobené odrazem na povrchu FV modulů při sklonu 35° vůči 0°	Ztráty celkem při sklonu 35° vůči 0°
Duben	130 280	-5 410	-7 286	-12 696
Květen	156 850	-6 758	-7 648	-14 406
Červen	162 630	-7 098	-7 535	-14 633
Červenec	161 420	-7 020	-7 585	-14 605
Srpen	131 590	-5 285	-6 843	-12 128
Září	92 149	-3 321	-5 642	-8 963
<b>Ztráty</b>	<b>0</b>	<b>-34 891</b>	<b>-42 539</b>	<b>-77 430</b>
<b>Celkem</b>	<b>834 919</b>			<b>757 490</b>

**Tabulka 5.4:** Varianta 2 - Intenzita solárního záření

Graf 5.10 vyobrazuje celkový zisk elektrické energie za průměrný červencový den pro obě varianty.



**Obrázek 5.10:** Výroba elektrické energie FVE v průměrný červencový den, vytvořeno autorem

Není překvapující, že graf 5.10 ukazuje na vyšší výrobu elektrické energie u varianty 2, na úkor jejich vyšších ztrát patrných z tabulek 5.3, 5.4. Tyto výsledky jsou dány především neúměrně rozdílným výkonem v obou variantách. Varianta 1 vykazuje vyšší výrobu elektrické energie s nižšími investičními náklady. Pokud by obě varianty dosahovali stejného výkonu, výhodnější variantou by byla právě varianta 1.

Naším cílem je maximalizace zisku elektrické energie, z tohoto důvodu byla dána přednost variantě 2, jejíž předpokládané množství výroby elektrické energie bezprecedentně předčí množství vyrobené energie u varianty 1. Výsledky jsou shrnuty v tabulce 5.5.

Výroba elektrické energie FV elektrárny [kWh]		
Měsíc	Varianta 1	Varianta 2
Leden	13 136	21 726
Únor	23 914	40 879
Březen	48 300	83 298
Duben	82 368	143 210
Květen	99 782	174 120
Červen	103 610	181 340
Červenec	103 030	179 820
Srpen	83 639	145 720
Září	58 157	100 630
Říjen	34 215	58 740
Listopad	14 464	24 510
Prosinec	9 079	15 363
<b>Výroba celkem [kWh/rok]</b>	<b>673 694</b>	<b>1 169 356</b>

**Tabulka 5.5:** Výroba elektrické energie FV elektrárny za rok



### 5.2.2 Technické řešení

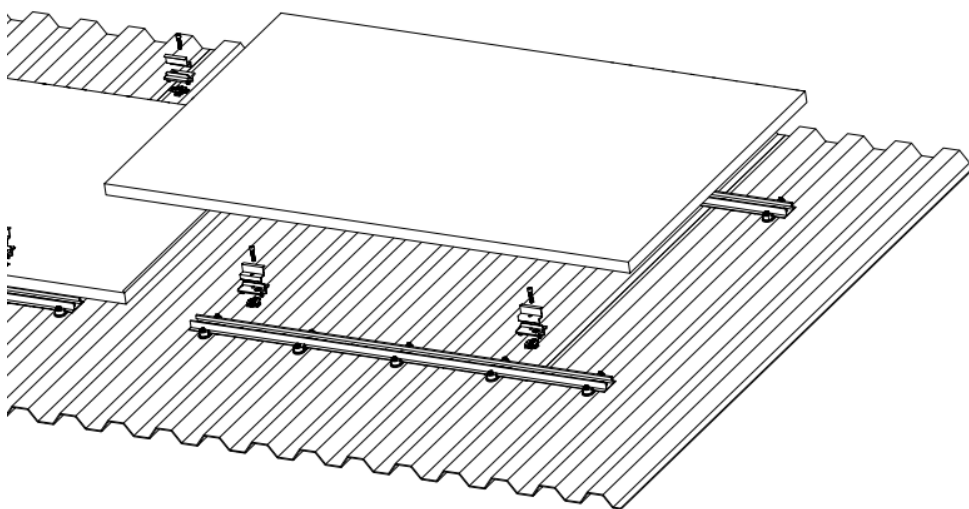
V této části bude řešeno rozmístění fotovoltaických modulů a jejich vzájemné propojení (stringování). Dále jsou rozebrány kabelové trasy s výběrem a umístěním technologií.

#### Rozmístění a nosná konstrukce fotovoltaických modulů

Rozmístění fotovoltaických modulů na střešní plochu musí respektovat jistá pravidla. Bohužel tato pravidla nejsou psána v žádném zákoně ani v žádné normě. Vychází se z obecných požadavků na umístění technologických zařízení na budově, požární bezpečnosti staveb, autorizovaného statika, popřípadě požadavků stavebního úřadu.

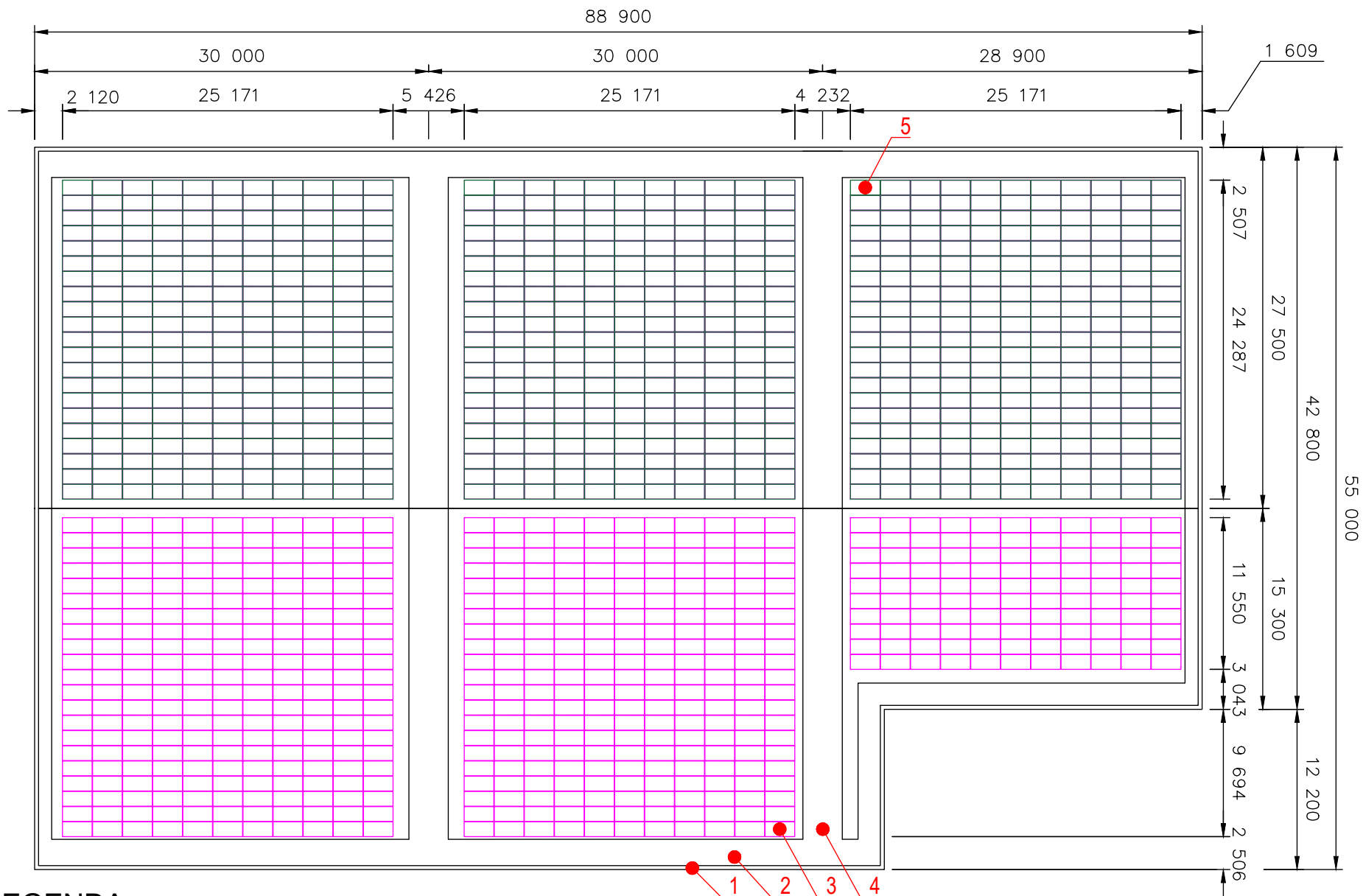
FV panely budou rozmístěny dle výkresů V.1 a V.2. Výrobní haly jsou na okrajích vybaveny plechovým rámem, který by v případě umístění panelů v jeho blízkosti způsoboval jejich zastínění. Panely jsou tedy o tuto vzdálenost odsazeny. Vzhledem k velikosti střešní plochy jsou panely vždy po určité vzdálenosti vynechány, pro vytvoření bezpečnostní uličky v případě požáru, či uličky pro umožnění údržby.

Mezi jednotlivými FV panely je plánována mezera o velikosti 3 cm, aby bylo možné jednotlivé panely upevnit pomocí kotevních svorek. Pro uchycení těchto FV panelů bude využita nosná konstrukce určená pro šikmé trapézové střechy, jako například systém K2 BasicRail System od společnosti K2 Systems 17. Panely budou připevněny kotevními svorkami ke kolejnicím, které budou upevněny nerezovými těsnícími vruty ke střešní konstrukci.



**Obrázek 5.11:** Konstrukce pro FV panely K2 BasicRail System, převzato z katalogu společnosti K2 Systems [17]

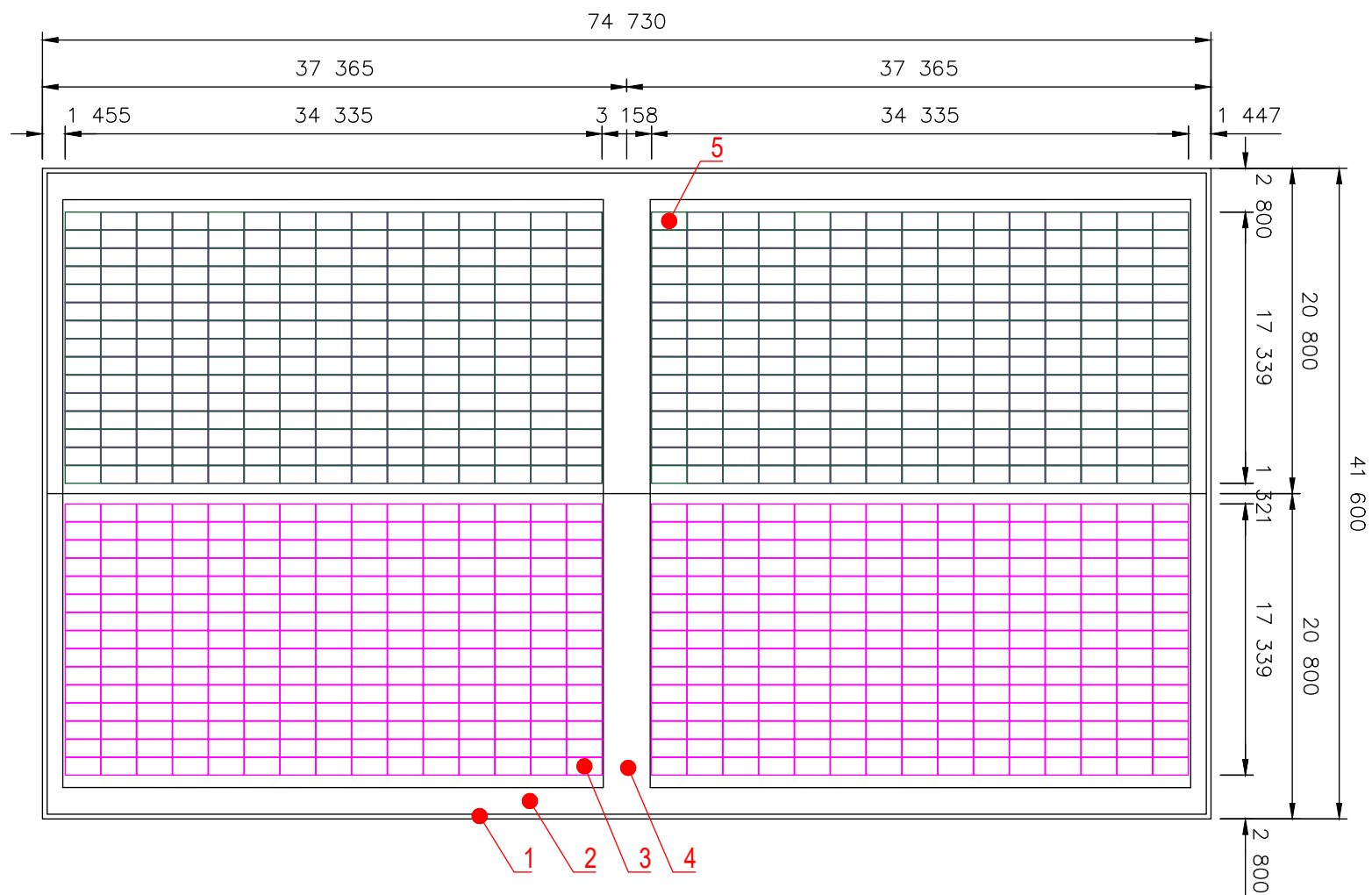




## LEGENDA

1	VÝROBNÍ HALA 1
2	OCHRANNÁ VZDÁLENOST OD KRAJE STŘEŠNÍ KONSTRUKCE
3	FV PANEL CS6W-550MS - ORIENTACE VÝCHOD
4	POŽÁRNÍ ULÍČKA
5	FV PANEL CS6W-550MS - ORIENTACE ZÁPAD

ZPRACOVAL:	Bc. RADIM NEJEDLÝ	FORMÁT	A3	 <small>ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE</small> <small>ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE, FAKULTA ELEKTRONICKÁ</small> <small>Jugoslávských partyzánů 1580/3,</small> <small>Dejvice, 160 00 Praha 6 - Dejvice</small> <small>IČO: 68407700 DIČ: CZ68407700</small>
SCHVÁLIL:		DATUM	04/24	
STAVBA: DIPLOMOVÁ PRÁCE - VÝSTAVBA FVE V PRŮMYSLVÉM PODNIKU				
OBSAH: ROZMÍSTĚNÍ FV PANELŮ - VÝROBNÍ HALA 1			MĚŘITKO	1:300
			ČÍS. VÝK.	V.1



## LEGENDA

1	VÝROBNÍ HALA 2
2	OCHRANNÁ VZDÁLENOST OD KRAJE STŘEŠNÍ KONSTRUKCE
3	FV PANEL CS6W-550MS - ORIENTACE VÝCHOD
4	POŽÁRNÍ ULIČKA
5	FV PANEL CS6W-550MS - ORIENTACE ZÁPAD

ZPRACOVAL:	Bc. RADIM NEJEDLÝ	FORMÁT	A3	 <small>ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE</small>
SCHVÁLIL:		DATUM	04/24	
STAVBA: DIPLOMOVÁ PRÁCE - VÝSTAVBA FVE V PRŮMYSLVÉM PODNIKU				<small>ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE, FAKULTA ELEKTRONICKÁ Jugoslávských partyzánů 1580/3, Dejvice, 160 00 Praha 6 - Dejvice IČO: 68407700, DIČ: CZ68407700</small>
OBSAH: ROZMÍSTĚNÍ FV PANELŮ - VÝROBNÍ HALA 2			MĚŘITKO	1:300
			ČÍS. VÝK.	V.2

## ■ Výběr a umístění střídače

Volba střídače, stejně jako typ FV panelů, je v mnoha ohledech pro FVE zásadní technologií. DC/AC střídač má velký vliv na účinnost celého systému. Momentálně existuje na trhu mnoho střídačů od mnoha výrobců. Abychom vybrali DC/AC střídač, definujeme různé parametry, které by měl takový střídač splňovat pro optimální chod FVE. Volíme takové parametry, které budou vyhovovat velikosti a typu FVE (Tabulka: 5.6).

Parametry	Veličina	Jednotka	Hodnota
Typ	-	[-]	asymetrický síťový
Maximální vstupní napětí	$U_{vst}$	[VDC]	$\geq 900$
Maximální vstupní proud	$I_{vst}$	[A]	$\geq 15$
Nominální výstupní výkon	$P_{vyst}$	[kW]	100
Evropská účinnost	$\eta_{EU}$	[%]	$\geq 97$
Stupeň krytí	-	[-]	$\geq IP65$

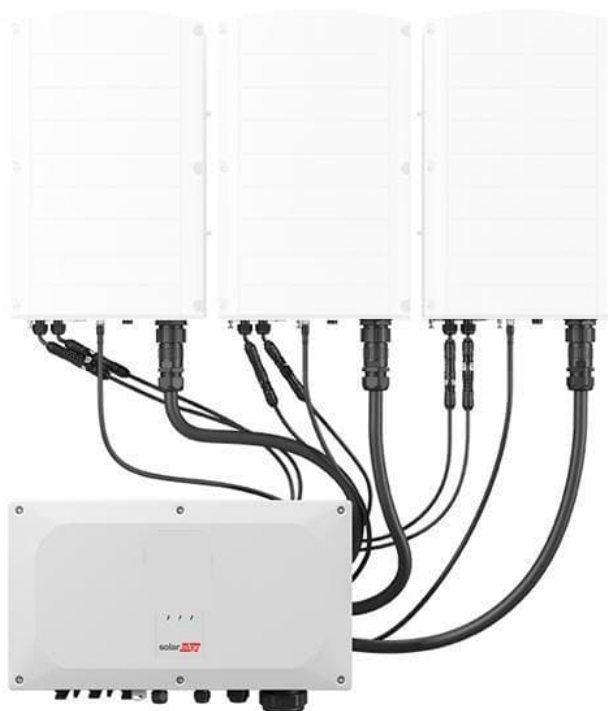
**Tabulka 5.6:** Požadované parametry střídače

Pro danou FVE průmyslového podniku byl zvolen střídač vyráběn společností SolarEdge typ SE100K-EU.

Jedná se o třífázový střídač využívající synergii technologii speciálně vyráběnou pro střídače SolarEdge v rozmezí výkonů 50 - 100 kW. Měnič je složen z celkem 2 - 4 jednotek. Základní řídicí jednotka je nazývána synergii manager a dle výkonu jsou součástí 1 - 3 synergii jednotky.

Střídač SolarEdge SE100K je schopen monitorování a optimalizace výkonu na úrovni jednotlivých panelů, což zvyšuje efektivitu celého FV systému. Střídač dále umožňuje předimenzování vstupního výkonu na hodnotu 150 kW, tím je tento typ velice žádaným v oblasti rozsáhlých instalací, neboť snižuje celkové množství instalovaných AC/DC střídačů ve FV systému a snižuje tak celkové investiční výdaje.

V průmyslovém podniku bylo použito celkem osm střídačů SE100K-EU a jeden střídač SE50K-EU ke konfiguraci zbylých FV panelů. Celkový výstupní výkon na AC straně čítá 950 kW. Zobrazení střídače je na obrázku 5.12, přičemž jeho parametry jsou shrnuty v tabulce 5.7, popřípadě v příloze D.



**Obrázek 5.12:** SolarEdge SE100K-EU, převzato z katalogu společnosti SolarEdge

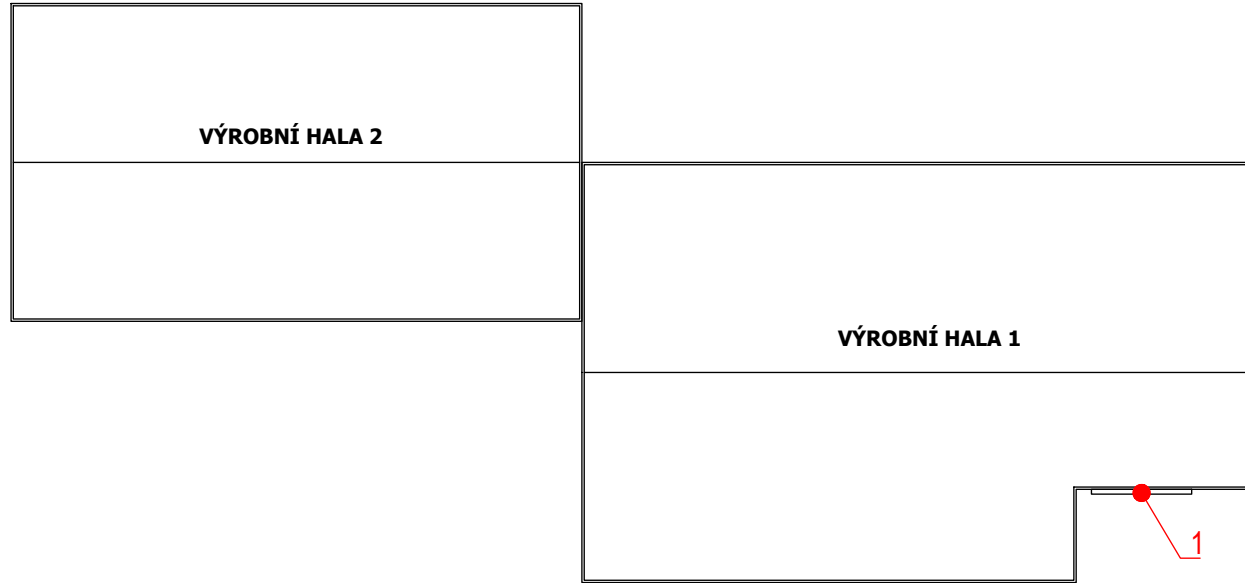
Parametry	Veličina	Jednotka	Hodnota	
Název	-	[-]	SE100K	SE50K
Typ střídače	-	[-]	asymetrický síťový	asymetrický síťový
Maximální vst. napětí	$U_{vst}$	[VDC]	1 000	1 000
Maximální vst. výkon	$P_{vst}$	[W]	150 000	75 000
Maximální vst. proud	$I_{vst}$	[A]	3×48,25	3×36,25
Maximální výst. proud	$I_{vyst}$	[A/fáze]	145	72,5
Nominální výst. výkon	$P_{vyst}$	[W]	100 000	50 000
Evropská účinnost	$\eta_{EU}$	[%]	98	98
Stupeň krytí	-	[-]	IP65	IP65

**Tabulka 5.7:** Parametry střídače SolarEdge SE100K a SE50K

Střídače budou umístěny na fasádě výrobní haly 1, v dostatečné výšce, umožňující bezproblémovou manipulaci. Detail umístění je na výkrese V.3.

# UMÍSTĚNÍ TECHNOLOGIÍ

M 1:700

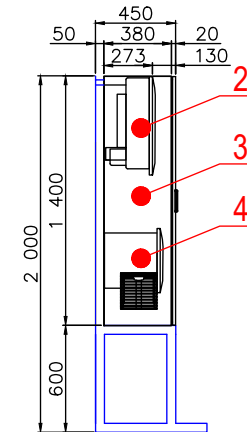


## LEGENDA

1	UMÍSTĚNÍ TECHNOLOGIÍ
2	SYNERGICKÁ JEDNOTKA STRÍDAČE
3	AC ROZVADĚČ (DC ROZVADĚČ)
4	AC/DC STRÍDAČ

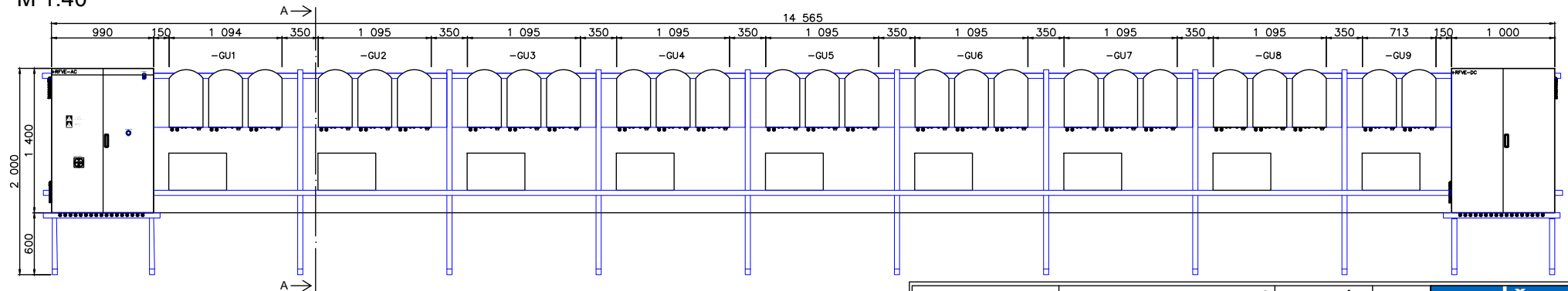
## DETAIL A-A

M 1:30



## DETAIL 1 - UMÍSTĚNÍ TECHNOLOGIÍ

M 1:40



ZPRACOVAL:	Bc. RADIM NEJEDLÝ	FORMÁT	A3	
SCHVÁLIL:		DATUM	04/24	
STAVBA:	DIPLOMOVÁ PRÁCE - VÝSTAVBA FVE V PRŮMYSLVÉM PODNIKU			České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektronická Jugoslávských partyzánů 1580/3, Dejvice, 160 00 Praha 6 - Dejvice IČO: 68407700 DIČ: CZ68407700
OBSAH:	UMÍSTĚNÍ TECHNOLOGIÍ		MĚŘITKO	
			ČÍS. VÝK.	V.3

## ■ Střídavý a stejnosměrný rozvaděč

Rozvaděče budou umístěny dle výkresu V.3.

### ■ DC rozvaděč

Stejnoseměrný (DC) rozvaděč, nazvaný +RDC, rozděljuje proud z FV panelů do jednotlivých stringů a zajišťuje ochranu systému. +RDC bude vybaven dvoupólovými pojistkovými odpojovači s nožovými pojistkami určené pro stejnosměrný proud. Rozvaděč bude dále vybaven svodiči bleskových proudů a přepětovými ochranami třídy T1+T2 do 1 500 VDC, zajišťující ochranu systému před nebezpečným přepětím v síti, nebo před úderem blesku. Schéma rozvaděče +RDC a zapojení FV panelů je zpracováno ve výkresech v příloze E.

### ■ AC rozvaděč

AC rozvaděč +RFAC bude složen ze dvou polí. +RFAC (Pole 1) slouží k vyvedení AC výkonu (500 kW) z celkem 5 střídačů SolarEdge SE100K. V +RFAC (Pole 2) jsou zapojeny 3 střídače SolarEdge SE100K o celkovém výkonu 380 kW.

V +RFAC (Pole 1) je umístěno bezpečnostní relé, pro umožnění okamžitého vypnutí FV elektrárny v případě potřeby. Bezpečnostní relé bude vybaveno bezpečnostním tlačítkem S01 a S02. S01 je umístěno na dveřích rozvaděče +RFAC. S02 bude umístěno na dobře přístupném a viditelném místě u vstupu do haly. Při vyrazení jednoho z bezpečnostních tlačítek S01, S02 dochází pomocí instalovaných optimizérů výkonu k okamžitému dosažení hodnoty napětí na FV panelech na hodnoty bezpečného stejnosměrného napětí dle vyhlášky č. 114/2023 Sb. Kabeláž stop tlačítek bude provedena dle ČSN 73 0895, STN 92 0205, například kabelem PRAFlaDur-J 3 × 1,5 RE.

Každé z polí +RFAC je vybaveno zařízením pro sledování kvality sítě, sledující hodnoty napětí a frekvence. V případě nadpětí, podpětí, nadfrekvence či podfrekvence dojde k okamžitému vyrazení všech DC/AC střídačů tak, aby nedošlo k jejich poškození.

## ■ Kabelové trasy

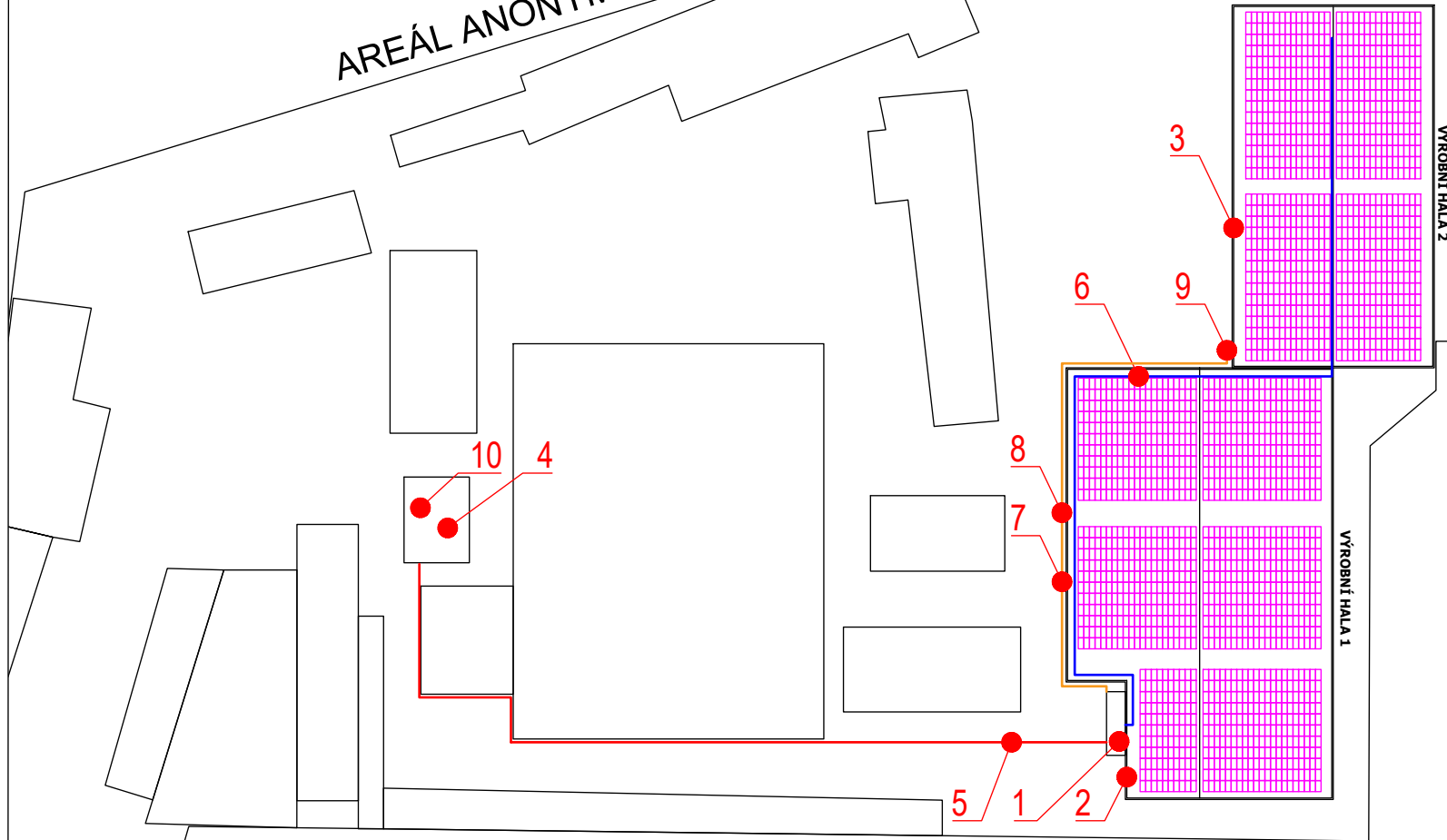
Panely budou mezi sebou propojeny pomocí solárních kabelů H1Z2Z2-K 6 SW 1 × 6 mm<sup>2</sup>, které budou v provedení pro venkovní použití (odolné vůči UV záření). Kabely z jednotlivých stringů budou zavedeny do rozvaděče DC ochrana +RDC, umístěného dle výkresu V.3. Z +RDC bude vedena kabelová trasa do jednotlivých AC/DC střídačů GU01 - GU09, ze kterých je kabelové vedení vedeno do rozvaděče +RFAC.

Napojení na stávající elektrickou rozvodnou síť bude provedeno z nově vybudovaného rozvaděče +RFAC do stávající trafostanice (+TR) o výkonu 1630 kVA. Trafostanice se nachází v blízkosti hlavní administrativní budovy průmyslového podniku (viz. V.4).



# KABELOVÉ TRASY

AREÁL ANONYMIZOVANÉ SPOLEČNOSTI



## LEGENDA

1	UMÍSTĚNÍ TECHNOLOGIÍ
2	VÝROBNÍ HALA 1
3	VÝROBNÍ HALA 2
4	TRAFOSTANICE
5	AC KABELOVÁ TRASA
6	DC KABELOVÁ TRASA
7	KABELOVÁ TRASA STOP TLAČÍTEK
8	STOP TLAČÍTKO - S01
9	STOP TLAČÍTKO - S02
10	DISTRIBUČNÍ ŘÍZENÍ - +AXY01

ZPRACOVAL:	Bc. RADIM NEJEDLÝ	FORMÁT	A3	<p>ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE</p> <p>ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE, FAKULTA ELEKTRONICKÁ Jugoslávských partyzánů 1580/3, Dejvice, 160 00 Praha 6 - Dejvice IČO: 68407700 DIČ: CZ68407700</p>
SCHVÁLIL:		DATUM	04/24	
STAVBA:	DIPLOMOVÁ PRÁCE - VÝSTAVBA FVE V PRŮMYSLVÉM PODNIKU			
OBSAH:	KABELOVÉ TRASY		MĚŘÍTKO	
			ČÍS. VÝK.	V.4

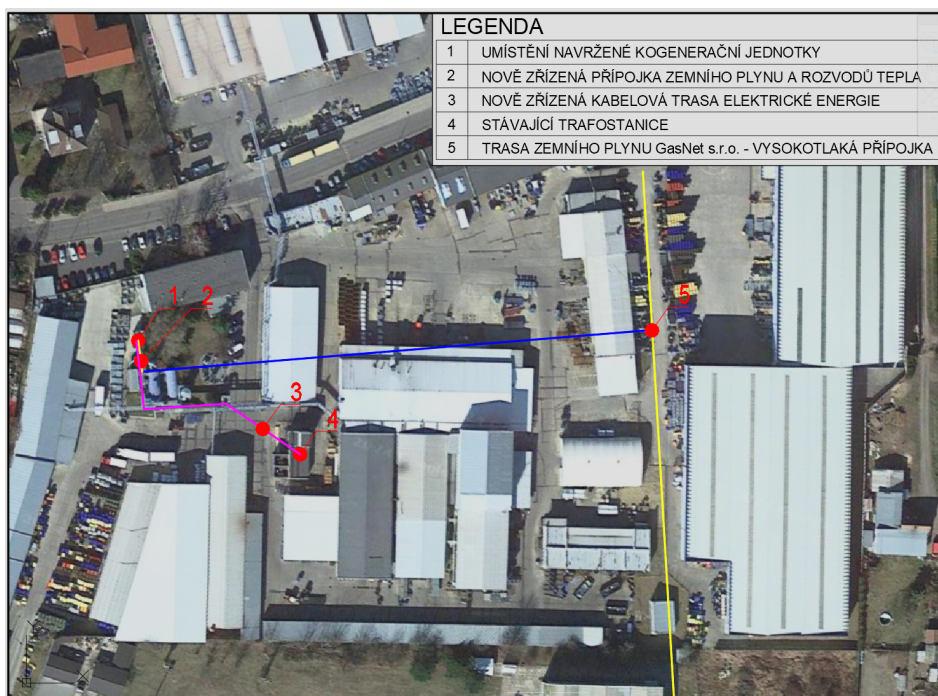
## Kapitola 6

### Technická analýza nově navrženého zdroje elektřiny a tepla

#### 6.1 Analýza nově navrženého zdroje tepla

##### 6.1.1 Posouzení umístění a technického řešení kogenerační jednotky

Kogenerační jednotka je navržena v kontejnerovém provedení s umístěním na nádvoří areálu společnosti, poblíž stávajících kotelen. KJ je umístěna na nejlepším možném místě hned z několika důvodů.



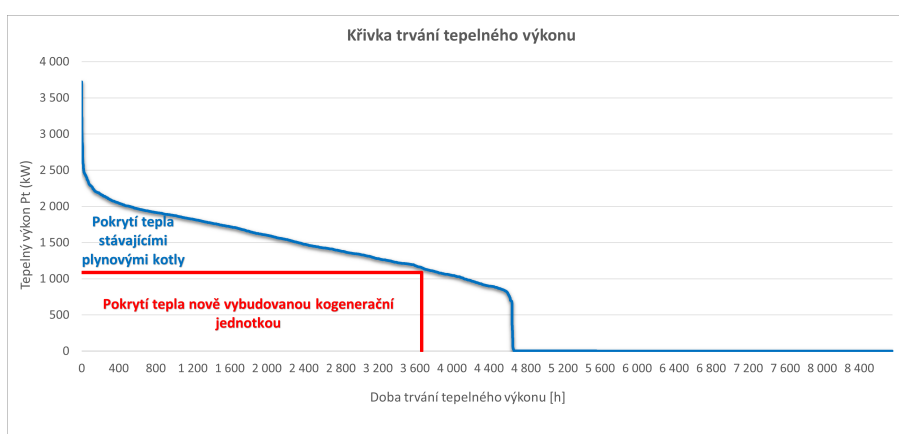
**Obrázek 6.1:** Umístění navržené KJ s nákresem sítí, vytvořeno autorem

Z hlediska manipulace, revize, oprav apod. je v okolí KJ zajištěn dostatečný prostor pro případnou manipulaci. V blízkosti dané lokace (Obrázek 6.1)

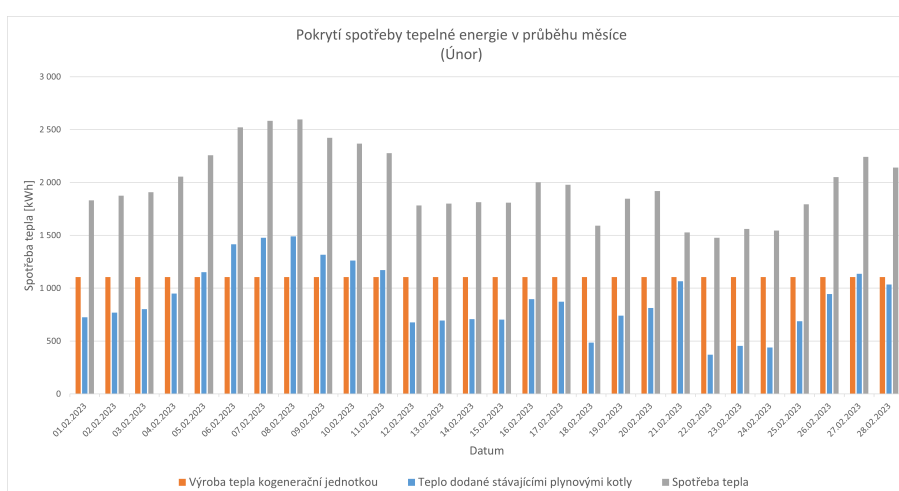
jsou vybudovány přípojky zemního plynu i stávající hlavní rozvody tepla pro průmyslový areál. Tento fakt snižuje další náklady i technickou náročnost realizace nových rozvodů tepla a zemního plynu pro navrženou KJ. Trafostanice se nachází nedaleko plánovaného umístění kogenerační jednotky (Obrázek 6.1). Při budování nové kabelové trasy mezi KJ a trafostanicí je nutno dodržet kladené bezpečnostní požadavky při souběhu nebo křížení vedení elektrické energie, rozvodů zemního plynu a tepla.

### 6.1.2 Posouzení výkonu kogenerační jednotky a pokrytí spotřeby tepelné energie podniku

Předpokládaná roční výroba tepla a spotřeba v průmyslovém podniku je řešena a graficky znázorněna v grafech 6.4, 6.3 a roční diagram odběru tepla v grafu 6.2. Výsledky za období roku 2023 jsou číselně shrnuty v tabulce 6.2.



Obrázek 6.2: Roční diagram odběru tepla, vytvořeno autorem



Obrázek 6.3: Pokrytí spotřeby tepla v průběhu jednoho měsíce (Únor, 2023), vytvořeno autorem

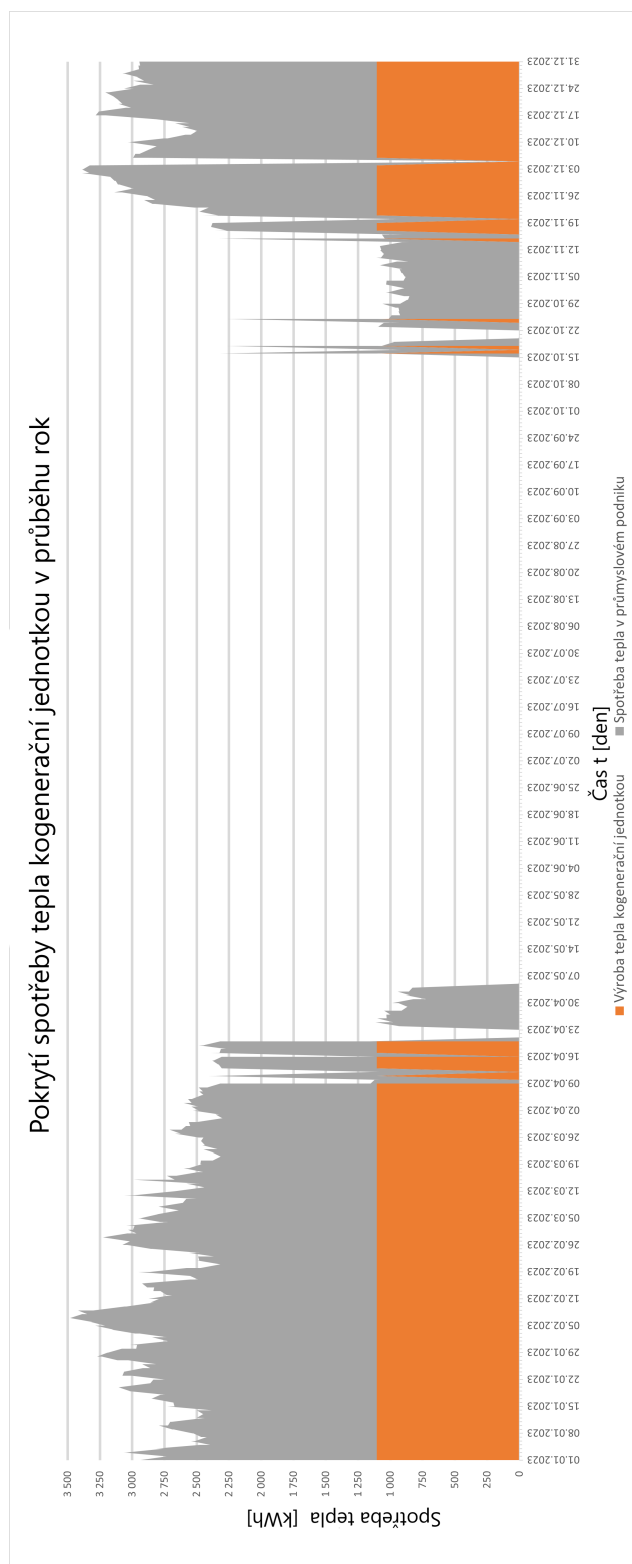
Měsíc	Potřeba tepla		Počet hodin [hod]	Dodávka tepla (KJ)		Počet hodin [hod]
	[MWh]	[GJ]		[MWh]	[GJ]	
Leden	1 267	4 562,5	1 146	816,2	2 938,4	738
Únor	1 191,1	4 288,0	1 077	742,1	2 671,7	671
Březen	1 130,0	4 068,0	1 022	806,3	2 902,6	729
Duben	776,4	2 795,1	702	441,3	1 588,7	399
Květen	91,9	330,8	83	1,1	4,0	1
Červen	0,2	0,8	0	0	0	0
Červenec	1,2	4,2	1	0	0	0
Srpen	0,3	1,1	0	0	0	0
Září	0,3	0,9	0	0	0	0
Říjen	311,1	1 120,1	281	47,6	171,2	43
Listopad	917,5	3 303,1	830	398,2	1 433,4	360
Prosinec	1 376,4	4 955,1	1 244	808,5	2 910,5	731
<b>Celkem</b>	<b>7 063,8</b>	<b>25 429,6</b>	<b>6 387</b>	<b>4 061,2</b>	<b>14 620,4</b>	<b>3 672</b>

**Tabulka 6.1:** Pokrytí potřeby tepla průmyslového podniku KJ v roce 2023

Měsíc	Potřeba tepla		Počet hodin [hod]	Dodávka tepla (K1/K2)		Počet hodin [hod]
	[MWh]	[GJ]		[MWh]	[GJ]	
Leden	1 267	4 562,5	1 146	451,1	1 624,1	227
Únor	1 191,1	4 288,0	1 077	449,0	1 616,4	226
Březen	1 130,0	4 068,0	1 022	323,7	1 165,4	163
Duben	776,4	2 795,1	702	335,1	1 206,4	168
Květen	91,9	330,8	83	90,8	326,8	46
Červen	0,2	0,8	0	0,2	0,8	1
Červenec	1,2	4,2	1	1,2	4,2	1
Srpen	0,3	1,1	0	0,3	1,1	1
Září	0,3	0,9	0	0,3	0,9	1
Říjen	311,1	1 120,1	281	263,6	948,9	132
Listopad	917,5	3 303,1	830	519,4	1 869,7	261
Prosinec	1 376,4	4 955,1	1 244	567,9	2 044,5	285
<b>Celkem</b>	<b>7 063,8</b>	<b>25 429,6</b>	<b>6 387</b>	<b>3 002,5</b>	<b>10 809,1</b>	<b>1 511</b>

**Tabulka 6.2:** Pokrytí potřeby tepla průmyslového podniku kotelny K1 a K2 v roce 2023

Navržená kogenerační jednotka o tepelném výkonu 1 106 kW bude, při jejím jmenovitém výkonu, v provozu po dobu 3 672 hod. Tato hodnota odpovídá provozu po dobu 153 dní. Teplo, které nebude dodáno KJ bude zajištěno třemi stávajícími plynovými kotly o celkovém tepelném výkonu 2 290 kW.



**Obrázek 6.4:** Pokrytí spotřeby tepla kogenerační jednotkou v průběhu roku 2023, vytvořeno autorem

## 6.2 Analýza nově navržených zdrojů elektrické energie

Pro průmyslový podnik byly navrženy dva nové zdroje elektrické energie. Těmito zdroji jsou fotovoltaická elektrárna a v minulé podkapitole zmíněná kogenerační jednotka.

### 6.2.1 Posouzení umístění a technického řešení nových zdrojů

Posouzení umístění a technického řešení kogenerační jednotky je popsáno v kapitole 6.1.1.

Pro realizaci FVE byly vybrány střešní plochy výrobních hal 1 a 2. Jedná se o šikmé střešní konstrukce se sklonem  $5^\circ$  a orientací na světové strany východ, respektive západ. Střešní plochy nejsou stíněny okolní vegetací, ani další zástavbou. Nevýhodou výběru těchto hal je jejich plechová konstrukce, ztěžující návrh odděleného systému hromosvodné soustavy pro uchránění technologie FVE před zásahem blesku. Jedinou možností je využití nákladných HVI (vodič s vysokonapětovou izolací) vodičů, pro dodržení minimální přeskokové vzdálenosti vůči elektricky vodivým částem (střeška i plášť výrobních hal) podle ČSN EN 62305-3, a tak ochránit fotovoltaickou technologii před jejím nenávratným poškozením.

V návrhu byla vybrána varianta 2, kde sklon FV modulů kopíruje sklon střešní konstrukce ( $5^\circ$ ). U takového sklonu je specifický roční výnos FV panelů nižší než u FV systémů se sklonem  $35^\circ$ , nicméně výsledný výnos FVE je u této varianty podstatně vyšší. S ohledem na vysokou spotřebu elektrické energie průmyslového podniku se jeví varianta 2 jako vhodnější volba.

Orientace na světové strany východ a západ je v tomto případě vyhovující. Anonymizovaná společnost má dvousměnný charakter provozu, tudíž elektrická energie vyráběna fotovoltaickou elektrárnou v pozdějších denních hodinách bude využita stejně dobře, jako el. energie vyráběna během dopoledních hodin.

Typ AC/DC střídače byl vybírán na základě charakteru a velikosti FVE. Pro typ FV elektrárny, bez bateriového systému, je síťový asymetrický střídač vhodnou volbou.

Umístění jednotlivých AC/DC střídačů a rozvaděčů je na výkrese V.3. Lokace je vybrána tak, aby byl v blízkosti umístění technologií omezen pohyb pracovníků průmyslového podniku, a tímto způsobem bylo minimalizováno riziko úrazu elektrickým proudem.

Z pohledu ochrany před bleskem, nehrozí zavlečení bleskového proudu do vnitřních prostor budovy, neboť jsou veškeré komponenty FVE umístěny z její

vnější strany. Nevýhodou snad může být vzdálenost od místa připojení FVE, tedy od stávající trafostanice nacházející se zhruba uprostřed areálu, kde bude nutné realizovat novou kabelovou trasu, pro připojení FVE ke stávajícím rozvodům el. energie.

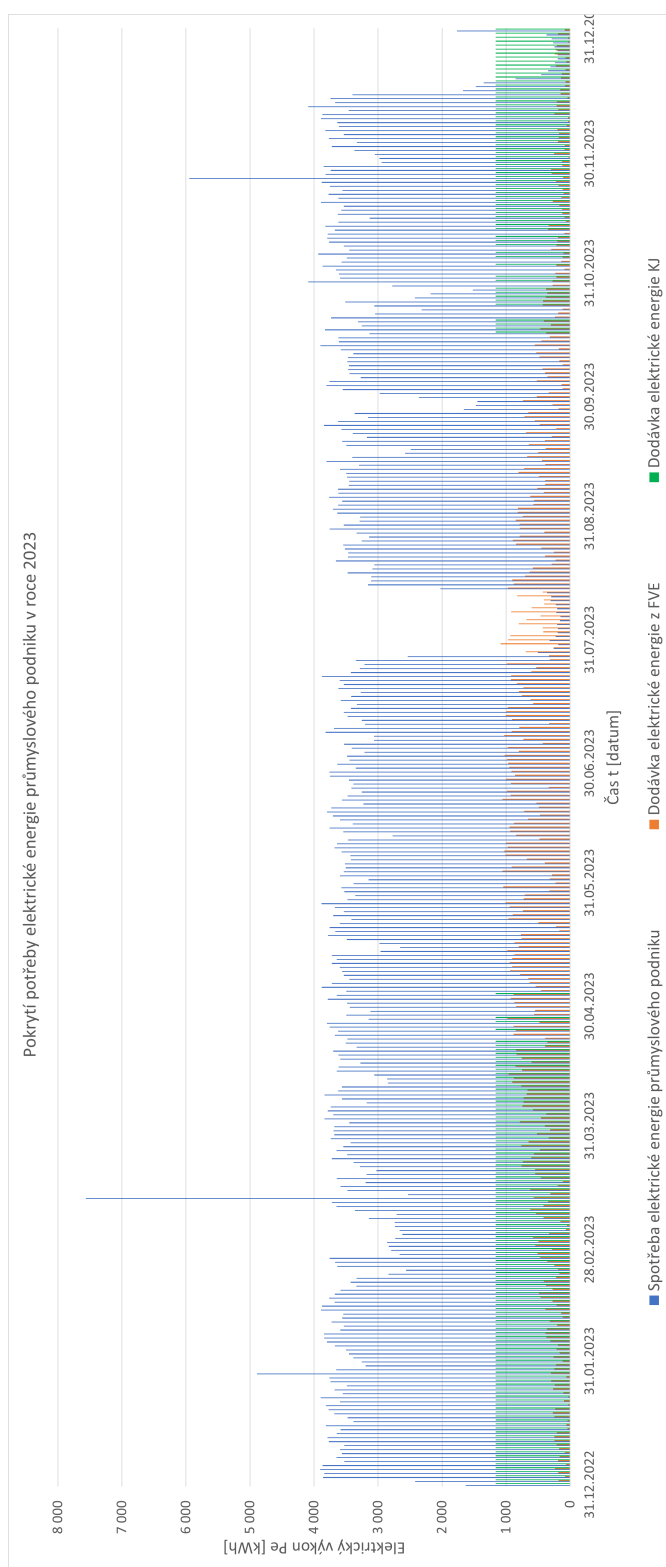
Další nevýhodou se může zdát nutnost oddálení jednotlivých kabelových tras pro dodržení minimální přeskokové vzdálenosti. S touto nevýhodou je nutno počítat při výstavbě FVE na střeše s elektricky vodivými částmi, kde je navrhována izolovaná hromosvodná soustava.

## 6.2.2 Pokrytí potřeb elektrické energie

Předpokládaná roční výroba a spotřeba elektrické energie v průmyslovém podniku je graficky znázorněna v grafu 6.6. V grafu 6.7 je porovnání využívání jednotlivých zdrojů elektrické energie v různých měsících. Výsledky za rok 2023 jsou číselně shrnuty v tabulce 6.3.

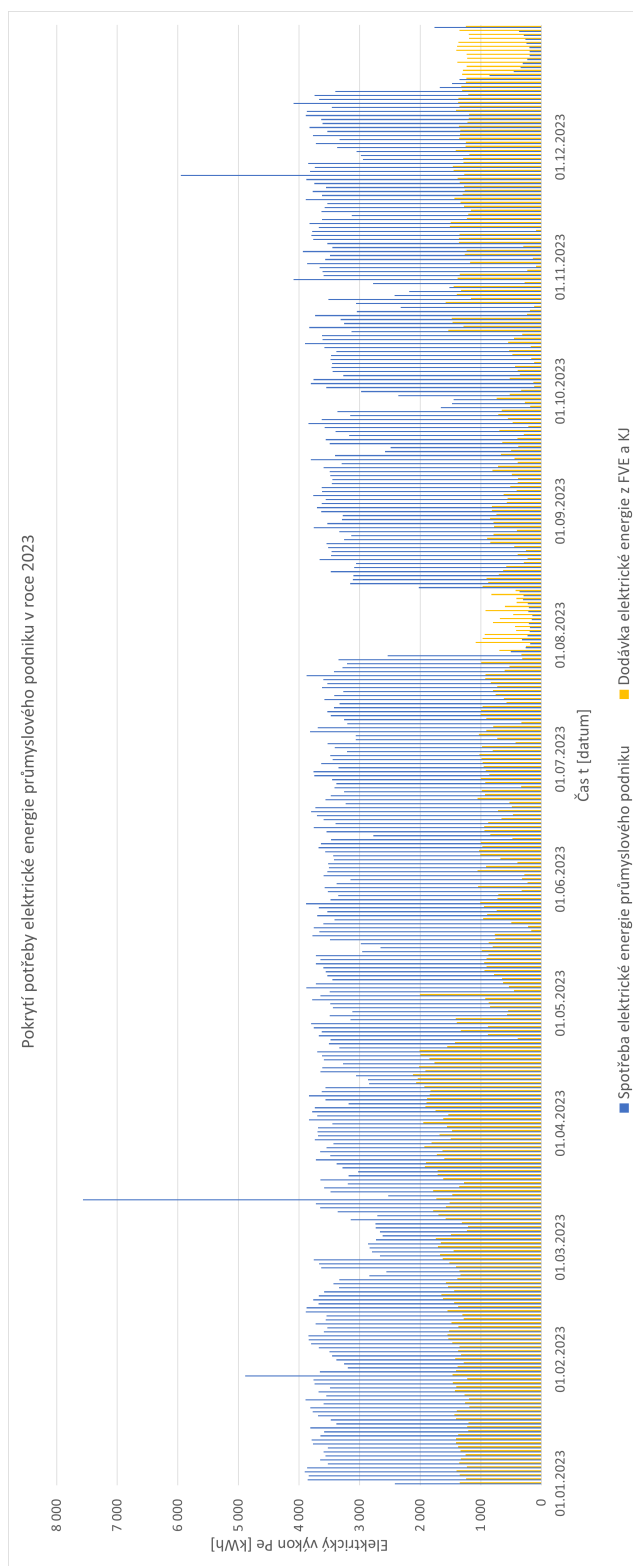
Měsíc	Spotřeba elektřiny [MWh]	Dodávka elektřiny z FVE [MWh]	Dodávka elektřiny z KJ [MWh]	Dodávka elektřiny z FVE i KJ [MWh]	Nákup elektřiny od obchodníka [MWh]
Leden	7 415	22	859	881	6 535
Únor	6 638	41	781	822	5 817
Březen	7 107	83	849	932	6 176
Duben	7 022	143	464	608	6 414
Květen	7 123	174	1	175	6 948
Červen	6 887	181	0	181	6 706
Červenec	6 192	180	0	180	6 013
Srpen	4 117	146	0	146	3 972
Září	6 365	101	0	101	6 264
Říjen	6 648	59	50	109	6 540
Listopad	7 213	25	419	444	6 769
Prosinec	4 367	15	851	866	3 501
Celkem	77 096	1 169	4 274	5 444	71 652

**Tabulka 6.3:** Bilance pokrytí spotřeby elektrické energie průmyslového podniku za rok 2023



**Obrázek 6.5:** Pokrytí potřeby elektrické energie průmyslového podniku v roce 2023, vytvořeno autorem





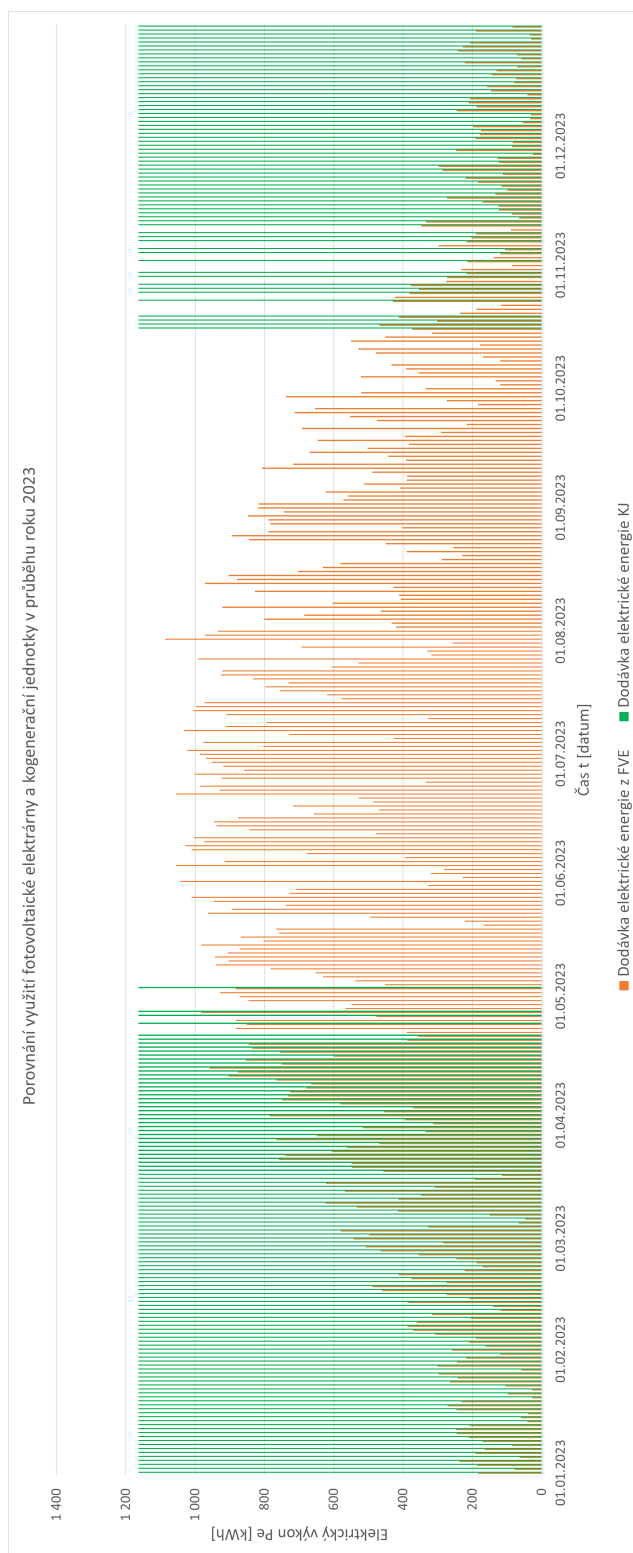
**Obrázek 6.6:** Pokrytí potřeby elektrické energie průmyslového podniku v roce 2023, vytvořeno autorem

Z grafu 6.6 i tabulky 6.3 vyplývá, že navržené zdroje jsou pro potřeby elektrické energie v průmyslovém areálu nedostatečné. Výroba elektrické energie fotovoltaickou elektrárnou je schopna zabezpečit pouze zhruba 1,5 % celkových požadavků na elektrickou energii. Ve spojení s kogenerační jednotkou jsou tyto zdroje schopny dodat celkem 7,1 %, z celkové potřebné elektrické energie. Návrh kogenerační jednotky o dostatečném elektrickém výkonu by byl v tomto případě velice neefektivní, neboť vyrobené teplo by průmyslový podnik nebyl schopen využít. Pokud vezmeme v úvahu současnou technologii, návrh fotovoltaické elektrárny s dostatečným výkonem (přibližně 77 MW<sub>p</sub>) by vyžadoval plochu o rozloze 392 700 m<sup>2</sup>, která v tomto průmyslovém podniku není k dispozici.

Průběh grafu 6.6 znázorňuje dva intervaly (29.07.2023 - 12.08.2023 a 19.12.2023 - 28.12.2023), ve kterých je výroba elektrické energie vyšší, než je její aktuální potřeba v průmyslovém areálu. Tato přebytečná elektrická energie může být prodána do distribuční soustavy nebo lze tuto energii využít k vyhřívání teplé užitkové vody v akumulacích nádrží pomocí topných patron. Vyhříváním teplé vody přebytečnou elektrickou energií dojde k ušetření nákladů na provoz kotelen K1, K2.

I přesto, že nové zdroje elektrické energie nejsou pro potřeby podniku dostatečně výkonné, budou využívány efektivně, neboť veškerá elektrická energie bude v průmyslovém podniku spotřebována. Dále budou sloužit pro snížení nákladů na elektrickou energii dodávané z distribuční soustavy.

Graf 6.7 porovnává využití jednotlivých zdrojů elektrické energie (FVE a KJ) v průběhu roku 2023. Z grafu vyplývá, že se výroba KJ a FVE v průběhu roku doplňuje, tak jak bylo popsáno v kapitole 3.6. FVE je schopna vyrobit určité množství elektrické energie i v průběhu topné sezóny, a tak snížit energetickou závislost na elektrické energii i v tomto období.



**Obrázek 6.7:** Porovnání využití jednotlivých zdrojů elektrické energie, vytvořeno autorem

## 6.3 Posouzení navržených zdrojů vůči aktuálnímu stavu průmyslového podniku

### 6.3.1 Teplo

Průmyslový podnik, ve stávajícím stavu, využívá k vytápění a ohřevu teplé užitkové vody výše zmíněné plynové kotle. Tímto způsobem dosáhne společnost pokrytí potřeby tepla, o velikosti 7 063,8 MWh, přičemž spotřebují množství zemního plynu, odpovídající 111 399 MWh (převodní koeficient  $1 \text{ Nm}^3 = 0,01055 \text{ MWh}$ ).

Výstavba kogenerační jednotky sníží kupované množství zemního plynu od jeho výrobce, což vede ke snížení celkových nákladů na vytápění a přípravu teplé užitkové vody. KJ Quanto 1000 spotřebuje 252 m<sup>3</sup> zemního plynu za hodinu.

Po uvedení kogenerační jednotky do provozu je předpokládáno s výrazným snížením spotřeby zemního plynu zhruba o 72 %, odpovídající 80 324 MWh, respektive 7 613 651 m<sup>3</sup>. Výsledná spotřeba zemního plynu průmyslového areálu bude průměrně 31 075 MWh (2 945 451 m<sup>3</sup>).

### 6.3.2 Elektřina

Průmyslový podnik aktuálně nedisponuje žádným zdrojem elektrické energie, a tudíž je veškerá elektrická energie dodávána nákupem z distribuční soustavy.

Množství elektrické energie spotřebované průmyslovým podnikem je každý měsíc minimálně 4 GWh. Vzhledem k takové potřebě nebude fotovoltaická elektrárna s kogenerační jednotkou schopna pokrýt veškerou spotřebu elektrické energie v průmyslovém podniku. Podobně, jako u nového zdroje tepla, se instalací těchto dvou energetických zdrojů sníží náklady na nákup elektřiny od obchodníka.

Vzhledem k potřebám elektřiny bude veškerá vyrobená elektrická energie z KJ, či FVE spotřebována v průmyslovém podniku.

## 6.4 Závěrečná doporučení

Na základě výše uvedeného doporučuji výstavbu kogenerační jednotky TE-DOM Quanto 1000, o tepelném výkonu 1 106 kWh, která zajistí částečné pokrytí spotřeby elektrické energie a z 57 % i požadavky na energii tepelnou. Doporučuji umístit kogenerační jednotku dle návrhu v kapitole 5, ke snížení technické náročnosti instalace nového zdroje a snížení investičních nákladů.

Pro lepší efektivitu využívání vyrobeného tepla, bych doporučil nechat pově-



## Kapitola 7

### Závěr

Tato práce se zabývá alternativními zdroji pro výrobu elektrické a tepelné energie, a to konkrétně fotovoltaickými systémy a kombinovanou výrobou elektřiny a tepla. V rámci práce jsou popsány fotovoltaické systémy jako celek, od solárního článku po fotovoltaická pole instalovaná pro zvýšení energetické soběstačnosti budovy a omezení emisí. V několika podkapitolách jsou popsány optimální orientace, sklon, stínění FV panelů a jejich vlivy na účinnost celého FV systému. Dále autor v práci rozebírá možnosti ukládání elektrické energie, které jsou vhodné pro spojení s fotovoltaickým systémem. Další část práce je věnována kombinované výrobě elektřiny a tepla. Porovnání kombinované a oddělené výroby energií a základní prvky kogeneračních jednotek spolu s primárními palivy, které využívají.

V jednotlivých kapitolách si může čtenář uvědomit důležitost správného technického řešení fotovoltaického systému a jeho umístění, pro dosažení maximálních zisků, týkajících se jak energetických úspor, tak omezení skleníkových plynů. Zajímavým poznatkem, který může čtenáře inspirovat v dalším studiu, může být i kombinace fotovoltaického systému s ukládáním elektrické energie pomocí technologie P2G a následného zpracování jako primárního paliva pro kogenerační jednotku. V práci tato možnost rozebírána není, především kvůli nedostatečné velikosti FVE k úvaze o akumulacím systému elektrické energie.

Autor se v diplomové práci dále zabývá rozsáhlým průmyslovým areálem, jehož potřeby elektrické a tepelné energie řadí tento podnik mezi ideální kandidáty pro vybudování vlastního zdroje elektřiny i tepla. V práci následuje charakterizace průmyslového podniku a rozbor jeho spotřeb. Průmyslový podnik je připojen k distribuční soustavě na hladině VN s příkonem, který vybudováním nových zdrojů nebude ovlivněn a nebude muset být navyšován. Z pohledu distribuční soustavy bude nutné řešit především distribuční řízení jednotlivých energetických zdrojů. Průmyslový areál má zřízenou vysokotlakou přípojku zemního plynu.

Pro pokrytí potřeb tepla byla nejprve, pro průmyslový podnik, autorem navržena kogenerační jednotka TEDOM Quatno 1000, která je schopna pokrýt minimálně 50 % celkového požadavku tepla na vytápění a teplou užitkovou

vodu. Jednotka byla umístěna tak, aby její realizace byla investičně výhodná a nebyla technicky náročná. Na základě výroby elektrické energie a doby provozu kogenerační jednotky byla dále navržena fotovoltaická elektrárna.

Areál disponuje rozsáhlými střešními plochami, které disponují vhodnými vlastnostmi pro vybudování fotovoltaické elektrárny. Autor nebere v úvahu možné problémy, které mohou vyplynout ze statického posouzení, které by muselo být vyhotoveno pro každou z uvažovaných hal. V práci byly vybrány dvě výrobní haly, na které byla navržena FVE o velikosti 1,17 MWp. Poslední část diplomové práce je věnována analýze nově navržených zdrojů elektrické a tepelné energie. Tímto autor vyčerpal veškeré body zadání diplomové práce.

Z analýzy navržených zdrojů elektrické energie vyplynulo, že velikost navržené FVE je pro potřeby podniku nedostatečná. Dalšími místy pro její rozšíření jsou další střešní plochy, nádvoří nebo parkoviště areálu, kde by bylo vhodné jejich zastřešení.

Anonymizovaný průmyslový podnik může tuto diplomovou práci využít jako prvotní návrh pro výstavbu kogenerační jednotky a fotovoltaické elektrárny ve svém areálu. Výstavbou těchto technologií sníží závislost svého podniku na externích dodavatelích elektřiny a tepla. Investor dále získá roční finanční úspory, které budou moci být použity v jiné oblasti jeho podnikání.

Diplomová práce potvrzuje vhodnou kombinaci dvou odlišných technologií, fotovoltaické elektrárny a kogenerační jednotky. Tyto technologie, při správném návrhu a jejich funkčnosti, dokáží zásobovat určité objekty jak tepelnou, tak elektrickou energií. Autor dále zjišťuje, že u návrhu FVE pro investory s velkou spotřebou elektrické energie, je výhodnější varianta návrhu FVE, která upřednostňuje maximalizaci výkonu FVE na plochu, vůči její efektivitě výroby.

Autor se zpracováním této práce poučil o obnovitelných zdrojích elektrické energie a technologii kogeneračních jednotek. Práce poskytla autorovi příležitost prozkoumat technologii kogeneračních jednotek a jejich správný návrh za reálných podmínek a potřeb anonymizované společnosti. Dále se autor poučil o metodách analýzy zdrojů kombinované výroby elektřiny i tepla, stejně tak o návrhu fotovoltaické elektrárny, k již navržené kogenerační jednotce. Autor se v poslední kapitole soustředil na jednotlivá závěrečná doporučení, které by mohly být přínosné jako podklady, podněty či doporučení průmyslovému podniku.



## Literatura

- [1] ŠKORPÍK, Jiří. Transformační technologie. Brno: Jiří Škorpík, [on-line] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293. Dostupné z <http://www.transformacni-technologie.cz/>.
- [2] Solární Energie s.r.o. Elektromontér fotovoltaických systémů (kód: 26-014-H [online]. [cit. 2023-11-19]. Dostupné z: [https://www.solarnienergie.cz/stahnout/Elektromonter\\_fotovoltaickych\\_systému\\_skripta\\_1.pdf](https://www.solarnienergie.cz/stahnout/Elektromonter_fotovoltaickych_systému_skripta_1.pdf)
- [3] Global Solar Atlas. (n.d.). Global Solar Atlas. [online]. [cit. 2023-11-19]. Dostupné z: <https://globalsolaratlas.info/download/czech-republic>
- [4] MASTNÝ, Petr. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [5] Vliv sklonu a orientace. EkoWATT [online]. 2008 [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <https://fotovoltaika.ekowatt.cz/vliv-sklonu-orientace.php>
- [6] SCHOLTZOVÁ, Jiřina. Nové baterie bez těžkých kovů [online, cit. 2023-12-10]. Dostupné z: Jiřina Scholtzová: Nové baterie bez těžkých kovů ([aldebaran.cz](http://aldebaran.cz)).
- [7] Zachrání technologie Power to Gas obnovitelné zdroje? Tzb-info [online]. Praha: Topinfo, 2021 [cit. 2024-01-02]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/11034-zachrani-technologie-power-to-gas-obnovitelnezdroje>
- [8] DVORSKÝ, Emil a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-118-7.
- [9] KRBEK, Jaroslav a Bohumil POLESNÝ. Kogenerační jednotky - zřízení a provoz. Praha: GAS, 2007. GAS. ISBN 978-80-7328-151-9.



- [10] ENERGETIKA ZBLÍZKA: KOGENERAČNÍ A TRIGENERAČNÍ JEDNOTKA. SVĚT ENERGIE: VZDĚLÁVACÍ PORTÁL ČEZ [online]. [cit. 2023-12-26]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/decentralizovana-energetika/decentralizovane-energeticke-zdroje-podrobne/kogeneracni-a-trigeneracni-jednotka/vyklad>
- [11] Kogenerace. TZBinfo [online]. [cit. 2023-12-10]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/kogenerace>
- [12] ČEZ ENERGO, S.R.O. PŘÍKLADY VYUŽITÍ / TYPICKÉ INSTALACE. Online. Dostupné z: <https://www.cezenergo.cz/cs/o-kogeneraci/priklady-vyuziti-typicke-instalace>. [cit. 2024-03-06].
- [13] TEDOM. How the Combination of Cogeneration and Photovoltaics Increases Energy Independence and Reduces Emissions in Energy Production [online]. [cit. 2023-12-26]. Dostupné z: <https://www.tedom.com/en/how-the-combination-of-cogeneration-and-photovoltaics-increases-energy-independence-and-reduces-emissions-in-energy-production/>
- [14] Mostofi, M., Nosrat, A.H. & Pearce, J.M. Institutional scale operational symbiosis of photovoltaic and cogeneration energy systems. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 8, 31–44 (2011). <https://doi.org/10.1007/BF03326193>
- [15] AKSHAY VR. The Impact Of Advances In Battery Technology On The Solar Industry [online]. [cit. 2023-12-26]. Dostupné z: <https://arka360.com/ros/impact-of-advances-in-battery-technology-on-the-solar-industry/>
- [16] BULLICH-MASSAGUÉ, Eduard; CIFUENTES-GARCÍA, Francisco-Javier; GLENNY-CRENDE, Ignacio; CHEAH-MANÉ, Marc; ARAGÜÉS-PEÑALBA, Mònica et al. A review of energy storage technologies for large scale photovoltaic power plants. *Online. Applied Energy.* 2020, roč. 274. ISSN 03062619. [cit. 2023-12-26]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115213>.
- [17] K2 SYSTEMS GMBH. K2 BasicRail System [online]. [cit. 2024-04-14]. Dostupné z: <https://k2-systems.com/en/product-solutions/basicrail-system/highlights>

## Příloha A

### Seznam symbolů a zkratk

DC	Stejnsměrný proud	[-]
AC	Střídavý proud	[-]
FV	Fotovoltaický	[-]
FVE	Fotovoltaická elektrárna	[-]
P2G	Power to Gas	[-]
KVET	Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie	[-]
KJ	Kogenerační jednotka	[-]
PJ	Primární jednotka	[-]
HVI	High Voltage Insulation (vodič s vysokonapětovou izolací)	[-]
+RDC	Stejnsměrný DC rozvaděč fotovoltaické elektrárny	[-]
+RFAC	Střídavý AC rozvaděč fotovoltaické elektrárny	[-]



## Příloha B

### Určení výkonu kogenerační jednotky

Mějme funkci:

$$f(x, y) = x \cdot y \quad (\text{B.0})$$

reprezentující plochu obdélníku, pro určení výkonu kogenerační jednotky.

Je dána podmínka:

$$g(x) = -0,2927 \cdot x + 2\,150 \quad (\text{B.1})$$

kde  $g(x)$  je aproximace křivky tepelného výkonu. Hledáme vázanné extrémů funkce  $f$  vzhledem k podmínce  $g(x)$ . Extrém může nastat pouze v bodech z definičního oboru funkce  $f$ , které leží na křivce o rovnici  $g(x) = 0$ .

Dosadíme z funkce  $g$  do funkce  $f(x, y)$ .

$$g(x) = g(x) = -0,2927 \cdot x + 2\,150 \quad (\text{B.2})$$

$$f_1(x) = -0,2927 \cdot x^2 + 2\,150 \cdot x \quad (\text{B.3})$$

Hledáme extrém pomocí derivace funkce  $f'_1(x) = 0$ .

$$\frac{\partial f}{\partial x} = 0 \quad (\text{B.4})$$

$$\frac{\partial f}{\partial x} = -0,5854 \cdot x + 2\,150 \quad (\text{B.5})$$

$$\frac{3}{50000}x^2 - 0,4194 \cdot x + 2\,155,7 = 0 \quad (\text{B.6})$$

Řešením rovnice B.6 je bod:

$$x = 3\,672,70243 \quad (\text{B.7})$$

určující dobu provozu kogenerační jednotky. Zpětným dosazením do původní rovnice získáme hodnotu reprezentující optimální hodnotu výkonu kogenerační jednotky.

$$y = -0,2927 \cdot 3\,672,70243 + 2\,150 \approx 1\,075 \quad (\text{B.8})$$

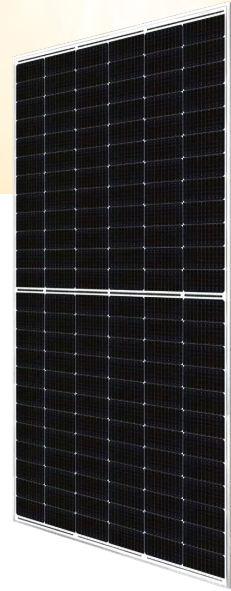
Výsledkem jsou hodnoty  $x = 3\,672,70243$ ,  $y = 1\,075$  reprezentující optimální dobu provozu kogenerační jednotky 3 673 hod, o výkonu 1 075 kW.





## **Příloha C**

### **Datový list fotovoltaického panelu Canadian Solar CS6W-550MS**








# HiKu6 Mono PERC



530 W ~ 555 W

CS6W-530 | 535 | 540 | 545 | 550 | 555MS

### MORE POWER

-  Module power up to 555 W  
Module efficiency up to 21.6 %
-  Up to 4.5 % lower LCOE  
Up to 5.6 % lower system cost
-  Comprehensive LID / LeTID mitigation technology, up to 50% lower degradation
-  Compatible with mainstream trackers, cost effective product for utility power plant
-  Better shading tolerance

### MORE RELIABLE

-  Minimizes micro-crack impacts
-  Heavy snow load up to 5400 Pa, wind load up to 2400 Pa\*

12 Years

Enhanced Product Warranty on Materials and Workmanship\*

25 Years

Linear Power Performance Warranty\*

1<sup>st</sup> year power degradation no more than 2%  
Subsequent annual power degradation no more than 0.55%

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

### MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES\*

ISO 9001:2015 / Quality management system  
ISO 14001:2015 / Standards for environmental management system  
ISO 45001: 2018 / International standards for occupational health & safety

### PRODUCT CERTIFICATES\*

IEC 61215 / IEC 61730 / CE / INMETRO / MCS / UKCA  
CEC listed (US California)  
UL 61730 / IEC 61701 / IEC 62716 / IEC 60068-2-68  
UNI 9177 Reaction to Fire: Class 1 / Take-e-way



\* The specific certificates applicable to different module types and markets will vary, and therefore not all of the certifications listed herein will simultaneously apply to the products you order or use. Please contact your local Canadian Solar sales representative to confirm the specific certificates available for your Product and applicable in the regions in which the products will be used.

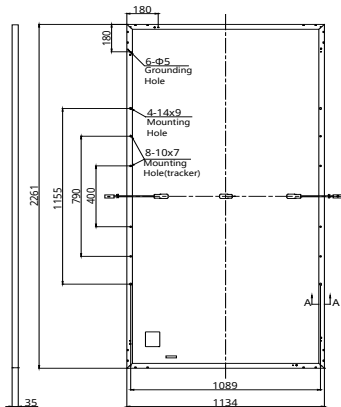
**CSI Solar Co., Ltd.** is committed to providing high quality solar photovoltaic modules, solar energy and battery storage solutions to customers. The company was recognized as the No. 1 module supplier for quality and performance/price ratio in the IHS Module Customer Insight Survey. Over the past 20 years, it has successfully delivered over 63 GW of premium-quality solar modules across the world.

\* For detailed information, please refer to the Installation Manual.

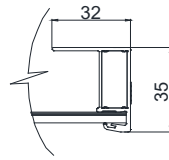
**CSI Solar Co., Ltd.**  
199 Lushan Road, SND, Suzhou, Jiangsu, China, 215129, [www.csisolar.com](http://www.csisolar.com), [support@csisolar.com](mailto:support@csisolar.com)

## ENGINEERING DRAWING (mm)

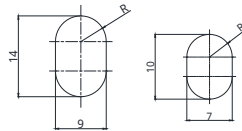
### Rear View



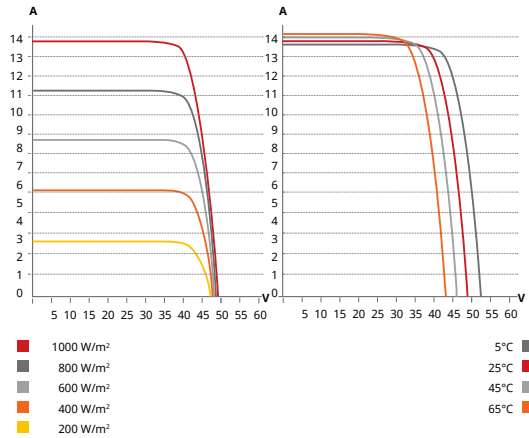
### Frame Cross Section A-A



### Mounting Hole



## CS6W-530MS / I-V CURVES



## ELECTRICAL DATA | STC\*

CS6W	530MS	535MS	540MS	545MS	550MS	555MS
Nominal Max. Power (Pmax)	530 W	535 W	540 W	545 W	550 W	555 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	40.9 V	41.1 V	41.3 V	41.5 V	41.7 V	41.9 V
Opt. Operating Current (Imp)	12.96 A	13.02 A	13.08 A	13.14 A	13.20 A	13.25 A
Open Circuit Voltage (Voc)	48.8 V	49.0 V	49.2 V	49.4 V	49.6 V	49.8 V
Short Circuit Current (Isc)	13.80 A	13.85 A	13.90 A	13.95 A	14.00 A	14.05 A
Module Efficiency	20.7%	20.9%	21.1%	21.3%	21.5%	21.6%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C					
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)					
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 61730 1500V) or TYPE 2 (UL 61730 1000V) or CLASS C (IEC 61730)					
Max. Series Fuse Rating	25 A					
Application Classification	Class A					
Power Tolerance	0 ~ + 10 W					

\* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m<sup>2</sup>, spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

## ELECTRICAL DATA | NMOT\*

CS6W	530MS	535MS	540MS	545MS	550MS	555MS
Nominal Max. Power (Pmax)	397 W	401 W	405 W	409 W	412 W	416 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	38.3 V	38.5 V	38.7 V	38.9 V	39.1 V	39.3 V
Opt. Operating Current (Imp)	10.38 A	10.42 A	10.47 A	10.52 A	10.55 A	10.59 A
Open Circuit Voltage (Voc)	46.1 V	46.3 V	46.5 V	46.7 V	46.9 V	47.1 V
Short Circuit Current (Isc)	11.13 A	11.17 A	11.21 A	11.25 A	11.29 A	11.33 A

\* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m<sup>2</sup>, spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

## MECHANICAL DATA

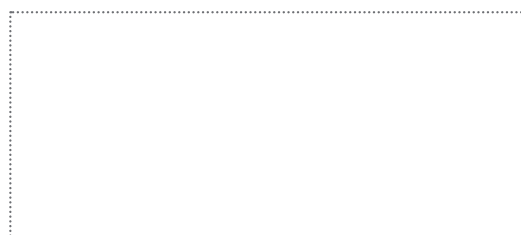
Specification	Data
Cell Type	Mono-crystalline
Cell Arrangement	144 [2 x (12 x 6)]
Dimensions	2261 x 1134 x 35 mm (89.0 x 44.6 x 1.38 in)
Weight	27.8 kg (61.3 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass with anti-reflective coating
Frame	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4 mm <sup>2</sup> (IEC), 12 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	410 mm (16.1 in) (+) / 290 mm (11.4 in) (-) or customized length*
Connector	T4 series or MC4-EVO2
Per Pallet	30 pieces
Per Container (40' HQ)	600 pieces

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

## TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.34 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.26 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	41 ± 3°C

## PARTNER SECTION



\* The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. CSI Solar Co., Ltd. reserves the right to make necessary adjustment to the information described herein at any time without further notice.

Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

## CSI Solar Co., Ltd.

199 Lushan Road, SND, Suzhou, Jiangsu, China, 215129, www.csisolar.com, support@csisolar.com







## **Příloha D**

### **Datový list AC/DC střídače SolarEdge SE50K/SE100K**

# Třífázový měnič se synergickou technologií

## Pro Evropu

SE50K / SE66.6K / SE90K / SE100K / SE120K

# MĚNIČE



### S jedinečnou funkcí předběžného uvedení do provozu pro rychlou instalaci systému

- ✓ Funkce předběžného uvedení do provozu umožňuje automatické ověření komponent systému a kabeláže během instalace ještě před připojením k síti.
- ✓ Jednoduchá instalace pro 2 osoby díky nízké hmotnosti a modulárnímu provedení (každý měnič zahrnuje 2 nebo 3 synergické jednotky a jeden Synergy Manager).
- ✓ Nezávislý provoz každé synergické jednotky umožňuje delší provozní dobu a jednodušší servis.
- ✓ Zabudovaná teplotní čidla odhalí závady na elektrickém vedení a zajišťují lepší ochranu a bezpečnost.
- ✓ Zabudovaná ochrana proti elektrickým obloukům a volitelná funkce rychlého vypnutí (RSD)
- ✓ Integrovaná PID ochrana pro maximální výkon systému
- ✓ Monitorovaná\* a na místě vyměnitelná zařízení přepětové ochrany pro lepší odolnost proti přepětí vlivem blesků nebo jiných událostí: integrované ochrany RS485 a DC typu 2, volitelná ochrana AC typu 2
- ✓ Volitelná verze měniče s integrovaným DC bezpečnostním odpojovačem eliminuje potřebu externích DC izolátorů.
- ✓ Vestavěný monitoring na úrovni panelů pro dokonalý přehled o systému (ethernetová nebo mobilní komunikace)

\*Platí pouze pro DC a AC přepětovou ochranu (SPD).

[solaredge.com](http://solaredge.com)

**solaredge**

# / Třífázový měnič se synergickou technologií

## Pro Evropu

SE50K / SE66.6K / SE90K / SE100K / SE120K

Platné pro měnič s produktovým číslem	SExxK-xxx0lxxxx				SExxK-xxx8lxxxx	
	SE50K <sup>(1)</sup> Pro síť 400V	SE66.6K Pro síť 400V	SE90K Pro síť 400V	SE100K Pro síť 400V	SE120K Pro síť 480V	
<b>VÝSTUP</b>						
Jmenovitý AC aktivní výstupní výkon	50000 <sup>(2)</sup>	66600	90000	100000	120000	W
Maximální AC zdánlivý výstupní výkon	50000 <sup>(2)</sup>	66600	90000	100000	120000	VA
AC výstupní napětí – sdružené / fázové (nominální)	380 / 220 ; 400 / 230				480 / 277	Vac
AC výstupní napětí – rozsah sdružené / rozsah fázové	304 - 437 / 176 - 253 ; 320 - 460 / 184 - 264.5				432 - 529 / 249 - 305	Vac
AC frekvence sítě	50/60 ± 5%					Hz
Maximální trvalý proud na výstupu (na fázi)	72.5	96.5	130.5	145		Aac
Připojení AC na výstupu	3W + PE, 4W + PE					
Podporované sítě	WYE: TN-C, TN-S, TN-C-S, TT, IT; Delta: IT					
Maximální reziduální proud <sup>(3)</sup>	200			300		mA
Monitoring sítě, ochrana před ostrovním provozem, konfigurovatelný účinník, konfigurovatelné prahové hodnoty země	Ano					
Celkové harmonické zkreslení	≤ 3					%
Rozsah účinníku	+/-0,2 až 1					
<b>VSTUP</b>						
Maximální DC výkon (panel za STC) Měnič / synergická jednotka	75000 / 37500	100000 / 50000	135000 / 45000	150000 / 50000	180000 / 60000	W
Beztransformátorový, nezemněný	Ano					
Maximální vstupní napětí DC+ k DC-	1000					Vdc
Rozsah provozního napětí	680 - 1000					Vdc
Maximální vstupní proud	{2} x {36,25}	{2} x {48,25}	{3} x {43,5}	{3} x {48,25}	{3} x {48,25}	Adc
Ochrana proti obrácení polarity	Ano					
Detekce zemního spojení (izolační odpor)	167kΩ citlivost na synergickou jednotku <sup>(4)</sup>					
Maximální účinnost měniče	98.3				98.1	%
Evropská vážená účinnost	98					%
Noční spotřeba energie	< 8		< 12			W
<b>DALŠÍ VLASTNOSTI</b>						
Podporovaná komunikační rozhraní <sup>(5)</sup>	2 x RS485, Ethernet, Wi-Fi (volitelné), mobilní síť (volitelné)					
Chytré řízení energie	Limit pro export					
Uvedení měniče do provozu	Pomocí mobilní aplikace SetApp a vestavěného přístupového bodu Wi-Fi pro lokální připojení					
Ochrana proti elektrickým oblokům	Integrovaná, konfigurovatelná uživatelem (v souladu s UL1699B)					
Rapid shutdown (RSD, "rychlé vypnutí")	Volitelné (automaticky po odpojení AC sítě)					
Regulátor PID	Noční, zabudovaný					
Přepětová ochrana RS485 (porty 1 + 2)	Typ II, vyměnitelná na místě, integrovaná					
DC přepětová ochrana	Typ II, vyměnitelná na místě, integrovaná					
AC přepětová ochrana	Typ II, vyměnitelná na místě, volitelná					
DC pojistky (jednopolové)	25A, volitelné					
DC odpojovač	Volitelné					
<b>SHODA S NORMAMI</b>						
Bezpečnost	IEC-62109-1, IEC-62109-2, AS3100					
Normy připojení k síti <sup>(6)</sup>	EN50549-1, EN50549-2, VDE-AR-N 4105, VDE-AR-N 4110, VDE V 0126-1-1, CEI 0-21, CEI 0-16, TOR Erzeuger Typ A+B, G99 Type A+B, G99 (NI) Type A+B, VFR 2019					
Emise	IEC61000-6-2, IEC61000-6-3 Class A, IEC61000-3-11, IEC61000-3-12					
RoHS	Ano					

(1) K dispozici pouze v České republice, Slovensku, Maďarsku, Polsku a Spojeném království. Viz: [https://www.solaredge.com/sites/default/files/se\\_inverters\\_supported\\_countries.pdf](https://www.solaredge.com/sites/default/files/se_inverters_supported_countries.pdf)

(2) 49990 ve Spojeném království

(3) Pokud je vyžadován externí proudový chránič (RCD), hodnota vybavovacího proudu musí být ≥ 200mA u SE50K/SE66.6K; ≥ 300mA u SE90K, SE100K, SE120K

(4) Kde je dovoleno místními předpisy

(5) Specifikace volitelných komunikačních možností viz <https://www.solaredge.com/products/communication> nebo webové stránky Knihovny zdrojů:

<https://www.solaredge.com/resource-library>, kde je možné stáhnout příslušné datové listy.

(6) Normy a certifikáty je možné stáhnout v kategorii Certifikace na stránce Knihovny zdrojů: <https://www.solaredge.com/resource-library>

# / Třífázový měnič se synergickou technologií

## Pro Evropu

SE50K / SE66.6K / SE90K / SE100K / SE120K

Platné pro měnič s produktovým číslem	SExxK-xxx01xxxx				SExxK- xxx81xxxx
	SE50K <sup>(1)</sup> Pro síť 400V	SE66.6K Pro síť 400V	SE90K Pro síť 400V	SE100K Pro síť 400V	SE120K Pro síť 480V
<b>SPECIFIKACE INSTALACE</b>					
Počet synergických jednotek na měnič	2		3		
Průřez a vnější průměr AC vodiče: vodič/PE (hliník nebo měď)	Průřez až 120/70 mm <sup>2</sup> ; vnější průměr 30–50 / 12–20 mm				
DC vstup: Měnič / synergická jednotka <sup>(2)</sup>	Počet dvojic konektorů MC4: 8/4		Počet dvojic konektorů MC4: 12/4		
Rozměry (V × Š × H)	Synergická jednotka: 558 × 328 × 273 Synergy Manager: 360 × 560 × 295				mm
Hmotnost	Synergická jednotka: 32 Synergy manager: 18				kg
Rozsah provozní teploty	-40 až +60 <sup>(3)</sup>				°C
Chlazení	Ventilátor (vyměnitelný uživatelem)				
Hlučnost	< 67				dB(A)
Stupeň krytí	IP65 – pro instalaci uvnitř i ve venkovním prostředí				
Montáž	Dodávané držáky				

<sup>(1)</sup> K použití jsou schváleny pouze konektory MC4 vyrobené firmou Stäubli.

<sup>(2)</sup> Více informací o redukci výkonu vlivem teploty (de-rating) viz: <https://www.solaredge.com/sites/default/files/se-temperature-derating-note.pdf>

### PŘÍSLUŠENSTVÍ – SPD (přepětová ochrana, prodává se samostatně)

Příslušenství	PN
Sada AC SPD pro Synergy Manager (5 jednotek v balení)	SE-AC-SPD-SM

## Příloha E

### Schéma zapojení fotovoltaické elektrárny

**INSTALOVANÝ VÝKON:** 1,17 MWp

**TYP VÝROBNY:** Fotovoltaická na objektu

**ZPŮSOB PROVOZU VÝROBNY:** Přebytky do distribuční soustavy  
Výrobna bez schopnosti ostrovního provozu

**OCHRANA PŘED ÚRAZEM EL. PROUDEM DLE ČSN 33-2000-4-41 ed.3:**

- ČL.411.2 - ZÁKLADNÍ OCHRANA (základní izolace, přepážky nebo kryty)
- ČL.411.3 - OCHRANA PŘI PORUŠE (uzemnění a pospojování, automatické odpojení)
- ČL.415.2 - DOPLŇKOVÁ OCHRANA (doplňující ochranné pospojování)

Vnitřní prostory dle: ČSN 33 2000-4-41 ed.3 NORMÁLNÍ

Vnější prostory dle: ČSN 2000-4-41 ed.3 NEBEZPEČNÉ

Vnitřní vlivy dle: ČSN 33 2000-5-51 ed. 3+Z1+Z2 AB8, AD4

**ELEKTRICKÉ NAPÁJENÍ:**

- NAPĚŤOVÁ SOUSTAVA AC: 3+PEN, 400/230 V, TN-C-S
- NAPĚŤOVÁ SOUSTAVA DC: L+,L- 2 = 440 - 900 V / IT

**ŘÍZENÍ VÝROBNY:**

- FVE je dálkově řízena z dispečinku provozovatele DS. Řízení probíhá v hodnotách 0, 30, 60,100 % P/n pomocí distribučního řídicího systému AXY01.
- Bude instalováno zařízení pro ochranu kvality a stavu sítě, při detekci chyby odpojí FVE a opětovně připojí po 20 minutách
- Výrobna je vybavena funkcemi Q(U), P(U), LVRT a P(f), které jsou integrované v DC/AC střídači

**ZNAČENÍ KABELŮ:**

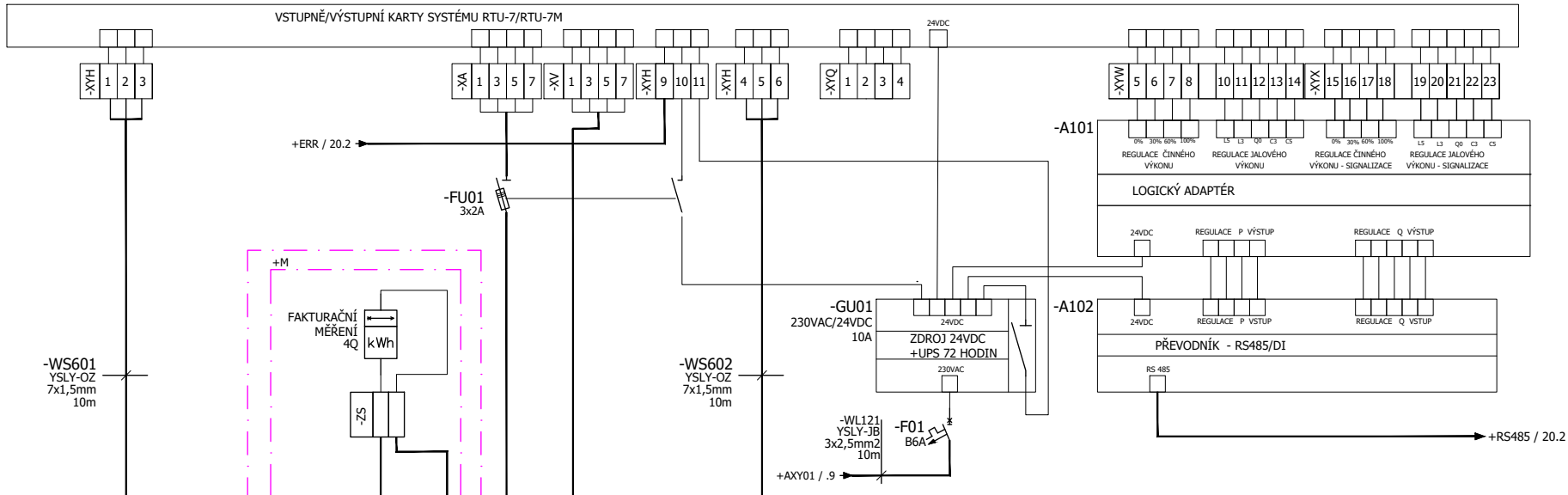
- WL100-299      400/230 VAC
- WL300-599      DC KABELY

**ZNAČENÍ SOLÁRNÍCH PANELŮ:**

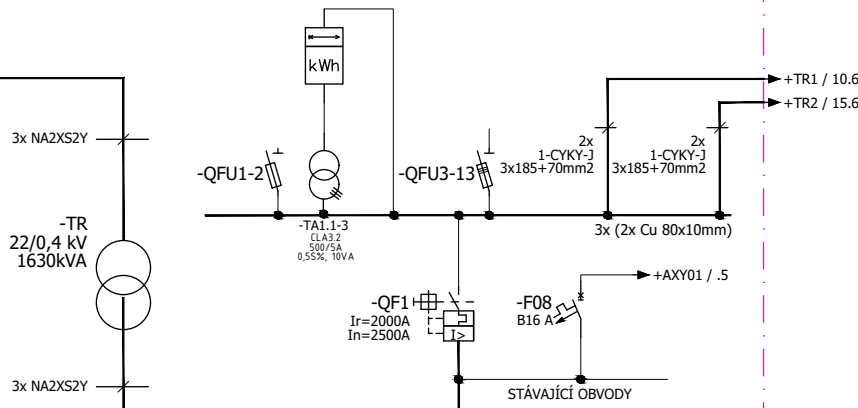
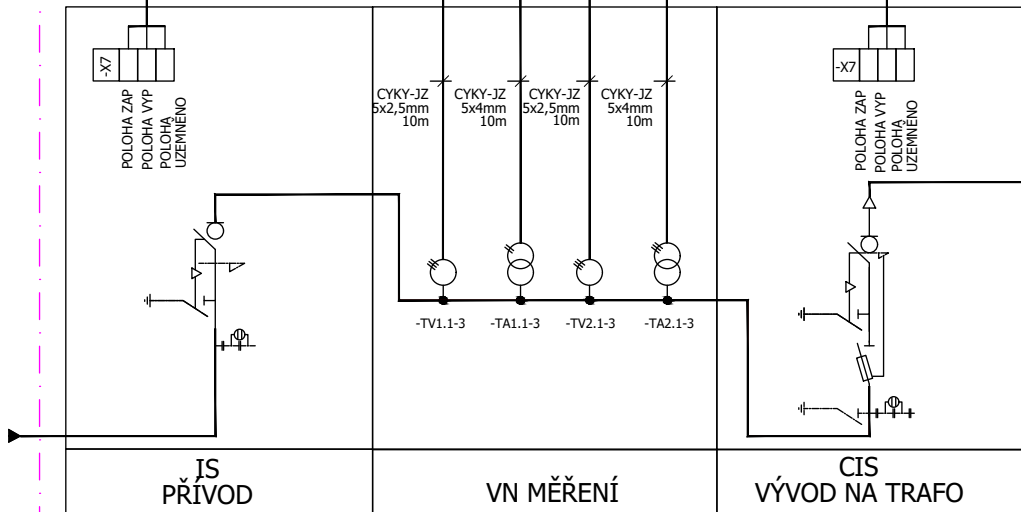
- FV1.1.1.01      STŘÍDAČ
- FV1.1.1.01      SYNERGICKÁ JEDNOTKA
- FV1.1.1.01      MPPT
- FV1.1.1.01      PANEL

+AXY01

VSTUPNĚ/VÝSTUPNÍ KARTY SYSTÉMU RTU-7/RTU-7M



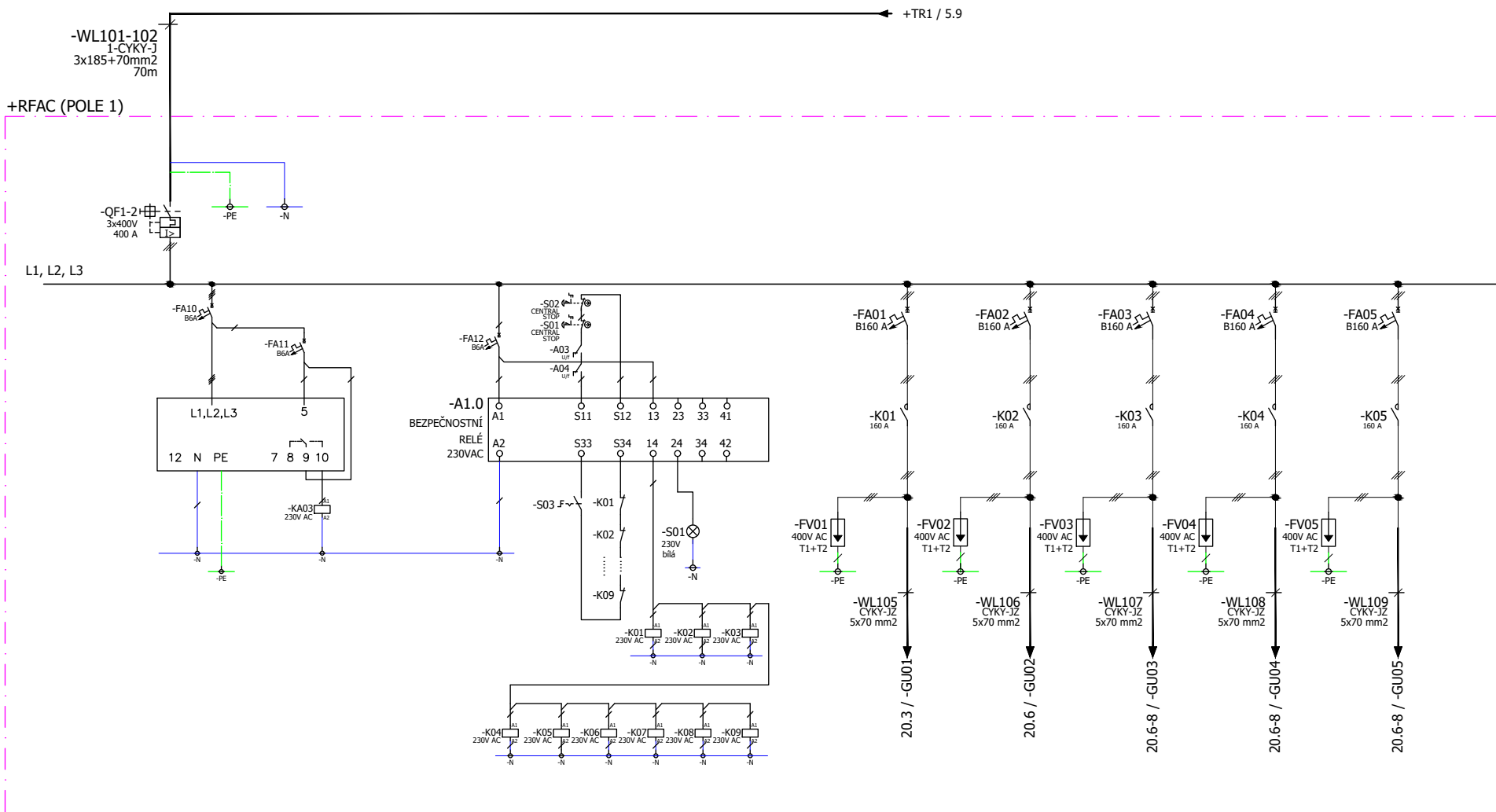
+TR



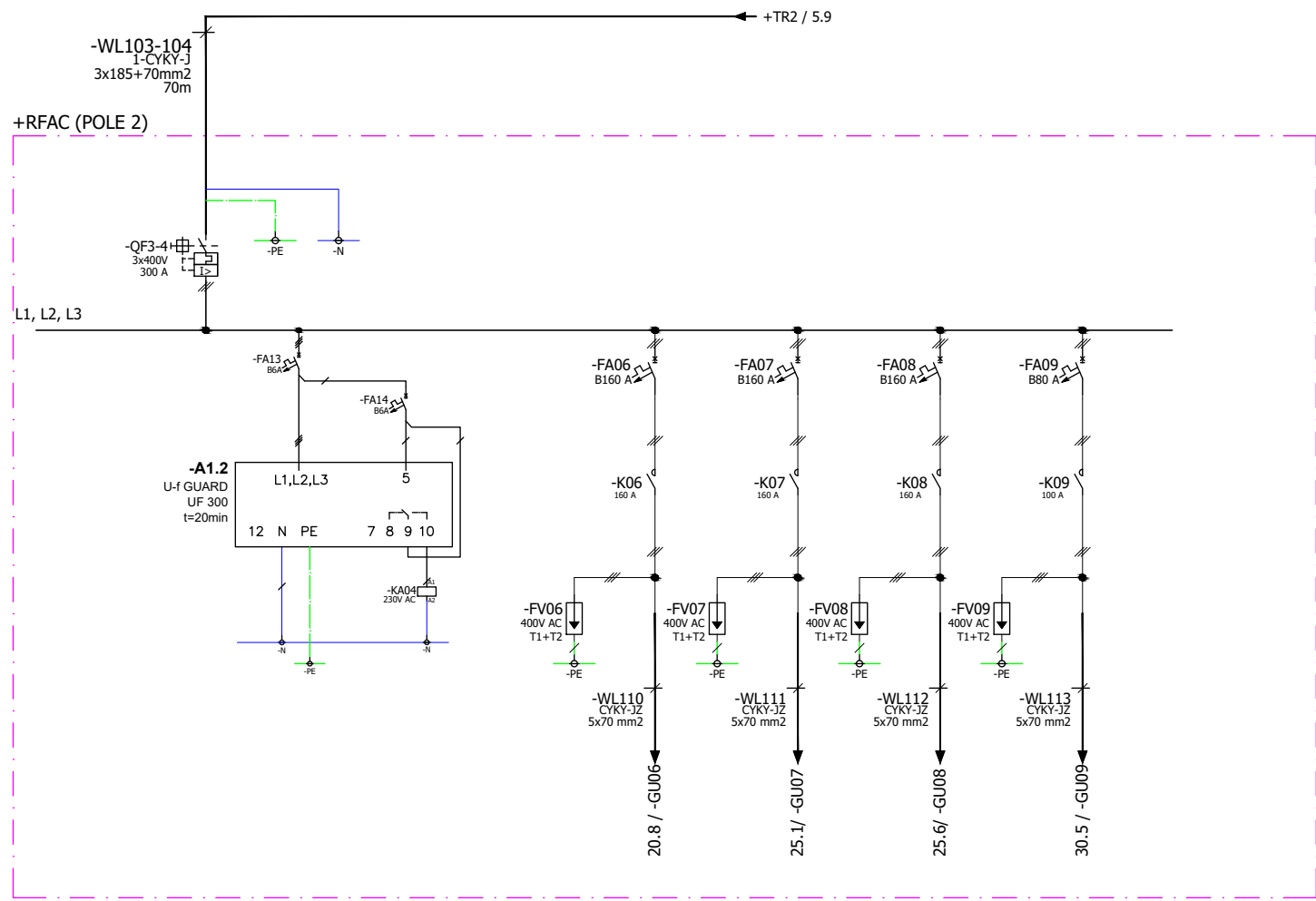
ZPRACOVAL:	Bc. RADIM NEJEDLÝ	FORMÁT	A3
SCHVÁLIL:		DATUM	04/24
STAVBA:	DIPLOMOVÁ PRÁCE - VÝSTAVBA FVE NA PRŮMYSLVÉM PODNIKU		
OBSAH:	SCHÉMA ZAPOJENÍ		STRANA 5/30
			ČÍS. VÝK.



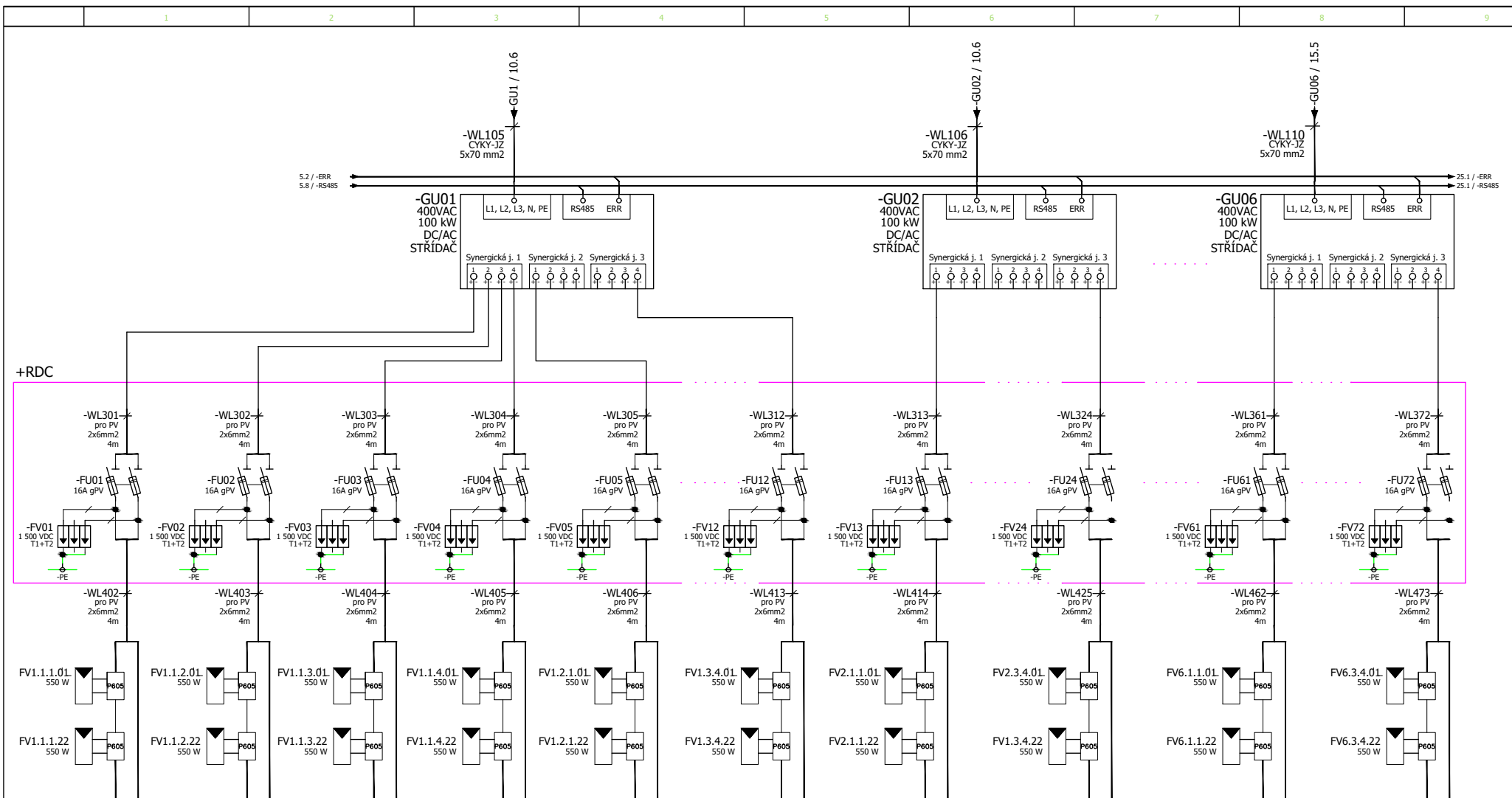




ZPRACOVAL:	Bc. RADIM NEJEDLÝ	FORMÁT	A3	 ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA ELEKTRONICKÁ Jugoslávských partyzánů 1580/3, Dejvice, 160 00 Praha IČO: 68407700 DIČ: CZ68407700	
SCHVÁLIL:		DATUM	04/24		
STAVBA:	DIPLOMOVÁ PRÁCE - VÝSTAVBA FVE NA PRŮMYSLVÉM PODNIKU			STRANA	10/30
OBSAH:	SCHÉMA ZAPOJENÍ			ČÍS. VÝK.	



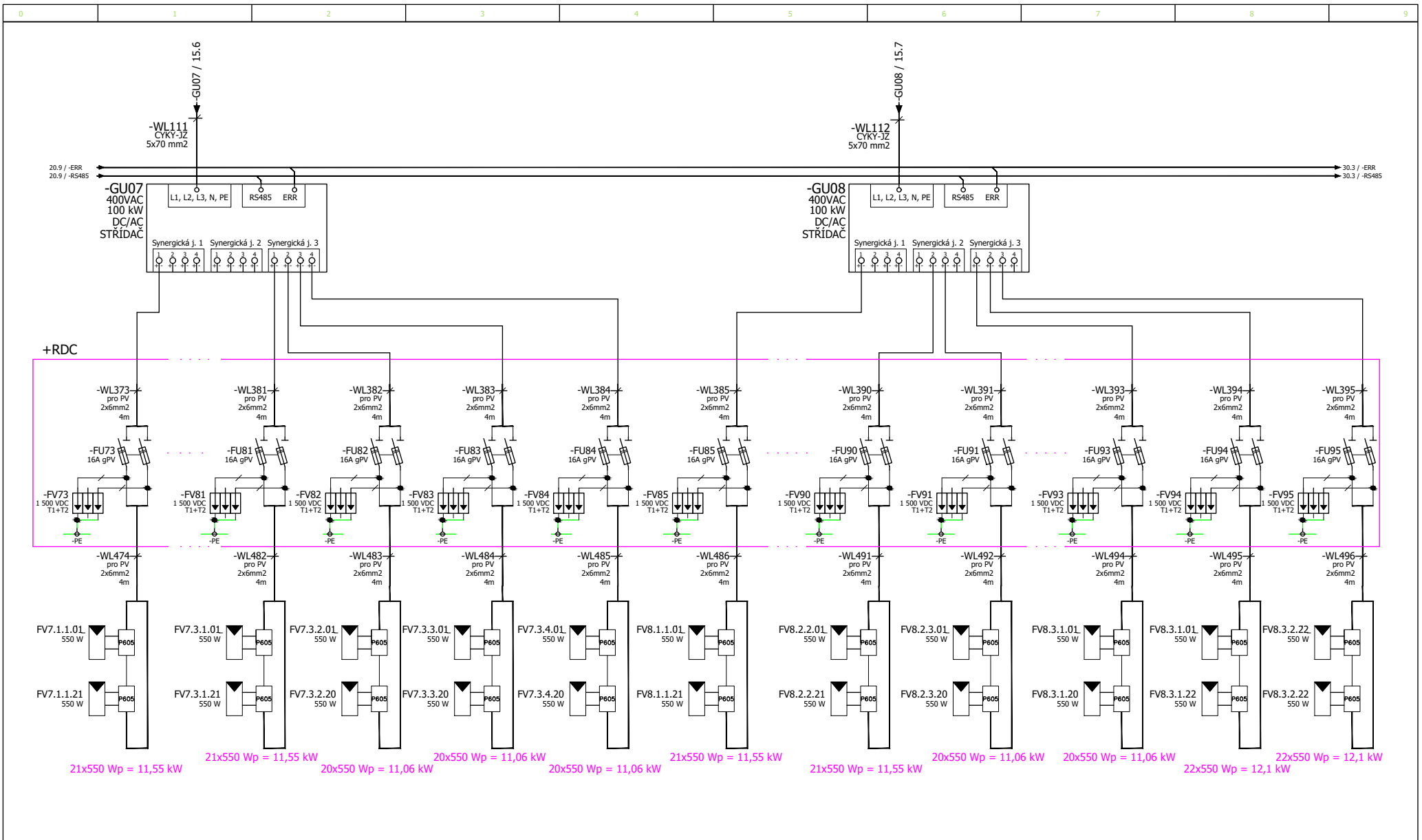
ZPRACOVAL:	Bc. RADIM NEJEDLÝ	FORMÁT	A3	 ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE, FAKULTA ELEKTRONICKÁ Jugoslávských partyzánů 1580/3, Dejvice, 160 00 Praha IČO: 68407700 DIČ: CZ68407700	
SCHVÁLIL:		DATUM	04/24		
STAVBA:	DIPLOMOVÁ PRÁCE - VÝSTAVBA FVE NA PRŮMYSLVÉM PODNIKU			STRANA	15/30
OBSAH:	SCHÉMA ZAPOJENÍ			ČÍS. VÝK.	



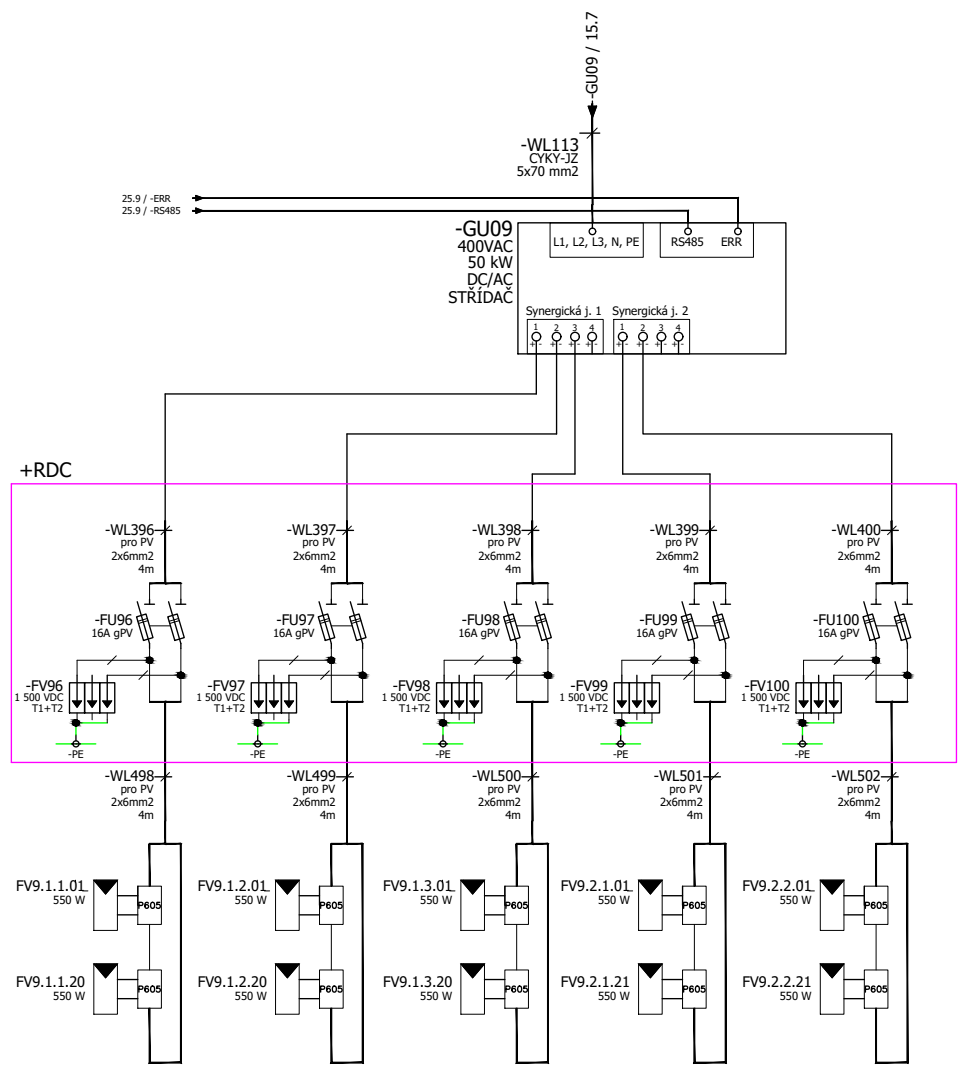
22x550 Wp = 12,1 kW   22x550 Wp = 12,1 kW   22x550 Wp = 12,1 kW   22x550 Wp = 12,1 kW   22x550 Wp = 12,1 kW   22x550 Wp = 12,1 kW   22x550 Wp = 12,1 kW   22x550 Wp = 12,1 kW   22x550 Wp = 12,1 kW   22x550 Wp = 12,1 kW

ZPRACOVAL:	Bc. RADIM NEJEDLÝ	FORMÁT	A3
SCHVÁLIL:		DATUM	04/24
STAVBA:	DIPLOMOVÁ PRÁCE - VÝSTAVBA FVE NA PRŮMYSLVÉM PODNIKU		
OBSAH:	SCHÉMA ZAPOJENÍ		STRANA 20/30
			ČÍS. VÝK.





ZPRACOVAL:	Bc. RADIM NEJEDLÝ	FORMÁT	A3	
SCHVÁLIL:		DATUM	04/24	
STAVBA:	DIPLOMOVÁ PRÁCE - VÝSTAVBA FVE V PRŮMYSLVÉM PODNIKU			ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE, FAKULTA ELEKTRONIKÉ V PRAZE Jugoslávských partyzánů 1580/3, Dejvice, 160 00 Praha 6 - Dejvice IČO: 68407700 DIČ: CZ68407700
OBSAH:	SCHÉMA ZAPOJENÍ			STRANA 25/30 ČÍS. VÝK.



20x550 Wp = 11,06 kW 20x550 Wp = 11,06 kW 20x550 Wp = 11,06 kW 20x550 Wp = 11,06 kW 20x550 Wp = 11,06 kW

ZPRACOVAL:	Bc. RADIM NEJEDLÝ	FORMÁT	A3	
SCHVÁLIL:		DATUM	04/24	
STAVBA:	DIPLOMOVÁ PRÁCE - VÝSTAVBA FVE NA PRŮMYSLVÉM PODNIKU			ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE, FAKULTA ELEKTRONICKÁ Jugoslávských partyzánů 1580/3, Dejvice, 160 00 Praha IČO: 68407700 DIČ: CZ68407700
OBSAH:	SCHÉMA ZAPOJENÍ			STRANA 30/30 ČÍS. VÝK.