

**KATEDRA MĚŘENÍ**

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V PRAZE**



**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**STUDIE VYUŽITÍ VÝROBY ENERGIE  
V AREÁLU STUDENTSKÝCH KOLEJÍ**

STUDY ON THE USE OF ENERGY PRODUCTION IN STUDENT  
DORMITORY CAMPUS

**KVĚTEN 2023**

**DAVID KORANDA**

Vedoucí: doc. Ing. Michal Kabrhel, Ph.D.

Studijní program: Inteligentní budovy



## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Koranda** Jméno: **David** Osobní číslo: **483522**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávající katedra/ústav: **Katedra měření**  
Studijní program: **Inteligentní budovy**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Studie využití výroby energie v areálu studentských kolejí**

Název diplomové práce anglicky:

**Study on the use of energy production in student dormitory campus**

Pokyny pro vypracování:

Vypracujte studii výroby elektrické energie pomocí obnovitelných zdrojů v rámci studentských kolejí v určené lokalitě. Analyzujte spotřeby energií stávajících budov. Vytvořte typické profily spotřeb energie v areálu. Navrhněte vhodné řešení pro výrobu elektrické energie pomocí fotovoltaických systémů. Řešení proveďte ve variantách zohledňující různé vlastnosti stavebních konstrukcí budov. Navrhněte varianty využití vyrobené elektrické energie. Proveďte citlivostní analýzu navrženého řešení, proveďte ekonomické zhodnocení variant řešení.

Seznam doporučené literatury:

- 1) Thumann, Albert & Niehus, Terry & Younger, William. (2020). Handbook of Energy Audits. 10.1201/9781003151722.
- 2) Pei Huang, Yongjun Sun, Marco Lovati, Xingxing Zhang, Solar-photovoltaic-power-sharing-based design optimization of distributed energy storage systems for performance improvements, Energy, Volume 222, 2021, 119931, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.119931>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544221001808>)
- 3) Vyhláška č. 264/2020 Sb. o energetické náročnosti budov (<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-264>)
- 4) ČSN 73 0331-1 Energetická náročnost budov - Typické hodnoty pro výpočet - Část 1: Obecná část a měsíční výpočtová data. ČNI 2020.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**doc. Ing. Michal Kabrhel, Ph.D. katedra technických zařízení budov FSv**

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

Datum zadání diplomové práce: **24.01.2023** Termín odevzdání diplomové práce: \_\_\_\_\_

Platnost zadání diplomové práce:  
**do konce letního semestru 2023/2024**

\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Michal Kabrhel, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

\_\_\_\_\_  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

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

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

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



## PODĚKOVÁNÍ

---

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce, panu doc. Ing. Michalovi Kabrhelovi, Ph.D. za vstřícnost, cenné rady a odborné vedení při tvorbě mé 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.

V Praze dne 25. května 2023

.....



## ABSTRAKT

---

Tato diplomová práce se zabývá analýzou spotřeb energií v rámci areálu studentských kolejí. Zpracováním dat o spotřebách energií byly vytvořeny modely typických profilů spotřeb, které byly využity k vypracování studie stavebního a elektrotechnického řešení fotovoltaické elektrárny v rámci areálu studentských kolejí. Návrhy fotovoltaických elektráren byly pomocí simulací vytvářeny pro plynule se zvyšující instalované výkony a rozličné způsoby využití elektrické energie. Cílem této studie bylo nalezení optimální varianty zdroje elektrické energie a způsobů využití vyrobené energie. V závěru práce je vytvořena ekonomická analýza navrhovaných variant.

### **Klíčová slova:**

Analýza spotřeb energií, typické profily spotřeb areálu studentských kolejí, výroba elektrické energie, fotovoltaická elektrárna, citlivostní analýza, ekonomické zhodnocení investic.

## ABSTRACT

---

The thesis deals with the analysis of energy consumption within the student dormitory campus. Typical models of energy consumption are created by data processing. These models were used to create study of construction and electrical engineering solution of the photovoltaic power plant in student dormitory campus. Photovoltaic power plants of various wattage and use of energy production were created using simulations. The aim of this study was to find the optimal energy source and way of using produced electricity. An economic analysis of designed photovoltaic power plants is created at the end of the thesis.

### **Keywords:**

Energy consumption analysis, typical consumption profiles of the student dormitory campus, production of electricity, photovoltaic power plant, sensitivity analysis, economic evaluation of investments.

## OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>KAPITOLA 1: ANALÝZA SPOTŘEB ENERGIÍ STUDENTSKÝCH KOLEJÍ</b> .....	<b>3</b>
<b>1.1 POPIS KOMPLEXU KOLEJÍ ČVUT</b> .....	<b>3</b>
<b>1.2 POPIS AREÁLU KOLEJÍ STRAHOV</b> .....	<b>3</b>
<b>1.3 TEPELNĚ TECHNICKÉ ŘEŠENÍ BUDOV BLOKŮ KOLEJÍ</b> .....	<b>4</b>
<b>1.4 SYSTÉM PROVOZU KOLEJÍ</b> .....	<b>5</b>
<b>1.5 MĚŘENÍ SPOTŘEBY ENERGIÍ</b> .....	<b>5</b>
<b>1.6 DATA</b> .....	<b>6</b>
<b>1.7 TEPLOTA</b> .....	<b>7</b>
<b>1.8 SPOTŘEBA ELEKTŘINY</b> .....	<b>7</b>
<b>1.9 SPOTŘEBA TEPLA NA VYTÁPĚNÍ</b> .....	<b>10</b>
<b>1.10 SPOTŘEBA TEPLÉ VODY</b> .....	<b>12</b>
<b>1.11 ANALÝZA CELKOVÉ SPOTŘEBY AREÁLU KOLEJÍ</b> .....	<b>14</b>
<b>1.12 PRŮBĚHY ENERGIÍ KOMERČNÍCH PROGRAMŮ</b> .....	<b>15</b>
<b>1.13 MOŽNOSTI ÚSPORY ELEKTRICKÉ ENERGIE</b> .....	<b>17</b>
1.13.1 Kogenerační jednotka.....	17
1.13.2 Fotovoltaická elektrárna .....	18
<b>KAPITOLA 2: FOTOVOLTAICKÁ ELEKTRÁRNA</b> .....	<b>19</b>
<b>2.1 FOTOVOLTAICKÉ PANELE</b> .....	<b>19</b>
2.1.1 Princip přeměny energie pomocí fotovoltaických panelů.....	19
2.1.2 Výkonové charakteristiky fotovoltaických článků .....	20
2.1.3 Účinnost fotovoltaických článků .....	21
2.1.4 Orientace a sklon .....	21
2.1.5 Provozní teplota.....	24
2.1.6 Stínění .....	25
2.1.7 Typy fotovoltaických panelů.....	28
2.1.8 Návrh .....	31
<b>2.2 STŘÍDAČ</b> .....	<b>33</b>
2.2.1 Princip.....	34
2.2.2 Doplnkové funkce.....	34
2.2.3 Parametry.....	35
2.2.4 Typy střídačů.....	36
2.2.5 Návrh střídače pro vlastní fotovoltaickou elektrárnu.....	37



<b>2.3 ELEKTROINSTALACE .....</b>	<b>38</b>
2.3.1 Kabelové rozvody .....	38
2.3.2 Elektroměrový rozvaděč.....	38
<b>2.4 STAVEBNÍ ŘEŠENÍ FOTOVOLTAIKY .....</b>	<b>39</b>
2.4.1 Kotvení fotovoltaických panelů .....	39
2.4.2 Zatížení střešní konstrukce .....	42
2.4.3 Požárně bezpečnostní opatření .....	44
<b>2.5 ŽIVOTNOST A ŽIVOTNÍ CYKLUS FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU .....</b>	<b>44</b>
<b>KAPITOLA 3: NÁVRH FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU .....</b>	<b>46</b>
<b>3.1 TECHNICKÁ SPECIFIKACE KOMPONENT.....</b>	<b>46</b>
3.1.1 Fotovoltaické panely .....	46
3.1.2 Střídač.....	47
3.1.3 Baterie .....	47
3.1.4 Topné těleso.....	48
3.1.5 Účinnost fotovoltaického systému.....	48
<b>3.2 DATA O VÝROBĚ FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY .....</b>	<b>49</b>
<b>3.3 NÁVRH ROZMÍSTĚNÍ FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ OBÁLCE BUDOVY .....</b>	<b>49</b>
3.3.1 Způsoby navýšení instalovaného výkonu.....	52
<b>3.4 PŘÍMÁ SPOTŘEBA ELEKTŘINY.....</b>	<b>55</b>
<b>3.1 SPOTŘEBA ELEKTŘINY S AKUMULAČNÍMI PRVKY ENERGIE .....</b>	<b>58</b>
3.1.1 Akumulace elektrické energie do bateriových úložišť .....	59
3.1.2 Akumulace elektrické energie do zásobníků teplé vody .....	60
<b>3.2 EKONOMIKA PROJEKTU .....</b>	<b>63</b>
3.2.1 Cena komponentů fotovoltaické elektrárny .....	63
3.2.2 Cena elektřiny a plynu, diskont.....	64
3.2.3 Výpočet ekonomických ukazatelů.....	65
3.2.4 Citlivostní analýza ekonomické výhodnosti variant FVE .....	66
3.2.5 Zhodnocení optimální instalace FVE .....	69
3.2.6 Porovnání výsledků s výsledky komerčního programu .....	70
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>71</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA.....</b>	<b>74</b>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

---

Obrázek 1-1: Pohled na areál kolejí Strahov ze Strahovského stadionu.....	4
Obrázek 1-2: Náčrtek areálu kolejí Strahov.....	4
Obrázek 1-3: Graf průměrné denní teploty v lokalitě kolejí Strahov.....	7
Obrázek 1-4: Denní spotřeba elektřiny během roku.....	8
Obrázek 1-5: Průměrná hodinová spotřeba elektřiny během týdne.....	8
Obrázek 1-6: Typická hodinová spotřeba elektřiny během týdne pro období s obdobnými profily spotřeby .....	10
Obrázek 1-7: Denní spotřeba tepla na vytápění v průběhu roku.....	11
Obrázek 1-8: Denní spotřeba tepla spotřebovaného na vytápění porovnaná s průměrnou venkovní teplotou .....	11
Obrázek 1-9: Denní spotřeba tepla na TV v průběhu roku .....	12
Obrázek 1-10: Denní spotřeba tepla na TV v porovnaná se spotřebou TV .....	12
Obrázek 1-11: Typická hodinová spotřeba teplé vody během týdne pro určitá období roku s obdobnými profily spotřeby.....	13
Obrázek 1-12: Kumulovaná spotřeba energie v průběhu roku 2022.....	14
Obrázek 1-13: Rozdělení roční spotřeby energií podle komodit .....	15
Obrázek 1-14: Srovnání denních modelových spotřeb elektrické energie v průběhu roku .....	16
Obrázek 1-15: Hod. spotřeba el. energie profilu „Obytný komplex“ PV*SOL pro zimní týden .....	16
Obrázek 1-16: Hod. spotřeba el. energie profilu „Obytný komplex“ PV*SOL pro letní týden .....	16
Obrázek 2-1: Ukázka skladby FV pole z FV modulů a skladby FV modulu z FV článků .....	20
Obrázek 2-2: Schéma zapojení FV modulů .....	20
Obrázek 2-3: Struktura FV modulu s články z krystalického křemíku .....	20
Obrázek 2-4: Vliv orientace a sklonu FV panelu na produkci elektrické energie.....	21
Obrázek 2-5: Porovnání výroby systémů s jižní, východní a západní orientací (1 kW, 35°).....	22
Obrázek 2-6: Porovnání výroby systémů s jižní a východozápadní orientací (1 kW, 35°).....	23
Obrázek 2-7: Porovnání výroby FV panelů na svislé stěně s jižní, východní a západní orientací ..	23
Obrázek 2-8: Porovnání měsíční výroby FV panelů na svislé stěně s J, V a Z orientací .....	24
Obrázek 2-9: Schématické zapojení typického FV modulu se 3 bypass diodami .....	25
Obrázek 2-10: Srovnání roční výroby horizont. a vertikál. FV panelů pro různé instal. výkony ...	26
Obrázek 2-11: Srovnání měsíční výroby el. energie na kWp pro horizont. a vertikál. FV panely ..	26
Obrázek 2-12: Průběh stínu při vlastním stínění pro horizontál. a vertikál. instalaci FV panelu..	27
Obrázek 2-13: Příklad využití výkonového optimalizéru při lokálním stínění jednoho FV panelu ..	27

Obrázek 2-14: Schématické elektrické zapojení klasického a half-cut fotovoltaického panelu ....	28
Obrázek 2-15: Porovnání výroby různých typů FV panelů pro slunečný letní den .....	29
Obrázek 2-16: Porovnání výroby různých typů FV panelů pro oblačný zimní den .....	29
Obrázek 2-17: Porovnání výroby FV panelů s bifaciálními panely pro slunečný letní den .....	30
Obrázek 2-18: Porovnání výroby FV panelů s bifaciálními panely pro oblačný zimní den .....	30
Obrázek 2-19: Znázornění návrhového úhlu .....	32
Obrázek 2-20: Souhrnná vyrobená energie pro různé orientace a sklony FV panelů .....	33
Obrázek 2-21: Charakteristika účinnosti střídače .....	35
Obrázek 2-22: Schéma fotovoltaické elektrárny .....	37
Obrázek 2-23: Voltampérová charakteristika FV modulu .....	38
Obrázek 2-24: Příklady upínání FV panelů do rámu pomocí svorek .....	39
Obrázek 2-25: Řez upevnění FV panelů k nosné konstrukci pomocí svorek.....	39
Obrázek 2-26: Řez upevnění FV panelů k nosné konstrukci pomocí upevňovacích otvorů .....	40
Obrázek 2-27: Příklad montáže pomocí trojúhelníkových hliníkových profilů .....	40
Obrázek 2-28: Způsob kotvení FV panelů do nosné konstrukce střechy .....	41
Obrázek 2-29: Instalace FV panelu do montážního systému Renusol.....	41
Obrázek 2-30: Řez instalace FV panelů na fasádu objektu.....	42
Obrázek 2-31: Příklad zakrytí zadní části konstrukce FV panelů plechovými kryty.....	43
Obrázek 3-1: Graf poklesu účinnosti výroby FV systému vlivem stárnutí komponent.....	48
Obrázek 3-2: Ilustrace složení typického meteorologického roku .....	49
Obrázek 3-3: Příklad pokrytí bloku FV panely s východozápadní orientací.....	50
Obrázek 3-4: Roční výnosnost elektřiny pro různé geometrie návrhu.....	51
Obrázek 3-5: Porovnání roční výroby z jedné střechy pro různé geometrie návrhu jižně a východozápadně orientovaných FV panelů.....	51
Obrázek 3-6: Roční rozložení vyrobené energie pro různé geometrie návrhu o 100 kWp.....	52
Obrázek 3-7: Pokrytí bloku nástěnnými FV panely ve 4 řadách .....	53
Obrázek 3-8: Profil výroby elektřiny pomocí jedné řady FV panelů umístěných na stěně.....	53
Obrázek 3-9: Maximální uvažované pokrytí bloku FV panely .....	54
Obrázek 3-10: Využití vyrobené energie střešní FVE bez akumulace energie.....	57
Obrázek 3-11: Pokrytí spotřeby areálu pomocí střešní FVE bez akumulace energie .....	57
Obrázek 3-12: Pokrytí spotřeby areálu pomocí nástěnné FVE bez akumulace energie .....	58
Obrázek 3-13: Využití vyrobené energie FVE s akumulací do baterií .....	60
Obrázek 3-14: Pokrytí spotřeby areálu pomocí FVE s akumulací do baterií.....	60
Obrázek 3-15: Využití vyrobené energie střešní FVE s akumulací energie do zásobníků TV.....	61
Obrázek 3-16: Pokrytí spotřeby areálu střešní FVE s akumulací energie do zásobníků TV .....	61

Obrázek 3-17: Využití vyrobené energie střešní a nástěnné FVE s akumulací do zásobníků TV .....	62
Obrázek 3-18: Pokrytí spotřeby areálu střešní a nástěnnou FVE s akumulací do zásobníků TV .....	62
Obrázek 3-19: Vývoj NPV v závislosti na velikosti střešní FVE bez akumulace el. energie .....	67
Obrázek 3-20: Vývoj NPV v závislosti na velikosti nástěnné FVE bez akumulace el. energie .....	67
Obrázek 3-21: Vývoj NPV v závislosti na velikosti FVE s akumulací do bateriového úložiště .....	68
Obrázek 3-22: Vývoj NPV v závislosti na velikosti střešní FVE s akumulací teplé vody .....	68
Obrázek 3-23: Vývoj NPV v závislosti na velikosti střešní FVE s akumulací teplé vody rozšířené o nástěnné FV panely .....	69
Obrázek 3-24: Vývoj ukazatele NPV v závislosti na volbě modelu spotřeby elektrické energie ...	70

## SEZNAM TABULEK

---

Tabulka 1-1: Kapacita areálů kolejí ČVUT .....	3
Tabulka 1-2: Průměrná denní spotřeba elektřiny na obyvatele .....	9
Tabulka 1-3: Rozdělení měřených let na období s rozdílnými profily spotřeby elektřiny .....	9
Tabulka 1-4: Rozdělení modelovaného roku na období s rozdílnými profily spotřeby elektřiny ..	9
Tabulka 1-5: Rozdělení modelového roku na období s rozdílnými profily spotřeby TV .....	13
Tabulka 1-6: Průměrná denní spotřeba TV na obyvatele .....	14
Tabulka 1-7: Minimální denní spotřeba elektřiny a tepla během roku .....	14
Tabulka 1-8: Rozdělení celkové roční spotřeby .....	15
Tabulka 1-9: Minimální hodinová spotřeba elektřiny a tepla během roku .....	17
Tabulka 2-1: Roční vyrobená elektřina z FV panelů se sklonem 90° s J, V a Z orientací .....	24
Tabulka 2-2: Souhrnná vyrobená energie pro různé orientace a sklony FV panelů .....	32
Tabulka 3-1: Technická specifikace pro FV SUNOVA SOLAR SS-460-60MDH .....	46
Tabulka 3-2: Technická specifikace pro FV SUNMAN SMF430F-12X12UM .....	47
Tabulka 3-3: Technická specifikace pro střídač SUN2000-100KTL-M2 .....	47
Tabulka 3-4: Technická specifikace pro bateriovou jednotku BATTERY-BOX PREMIUM LVS .....	47
Tabulka 3-5: Technická specifikace pro topné těleso M77x2 .....	48
Tabulka 3-6: Výsledky simulace jednotlivých variant pokrytí kolejniho bloku FV panely .....	50
Tabulka 3-7: Výsledky simulace pokrytí fasády bloku řadami FV panelů .....	53
Tabulka 3-8: Výsledky simulace pokrytí střech jižně orientovanými FV panely .....	54
Tabulka 3-9: Výsledky simulace pokrytí střech areálu kolejí stříškami FV panelů .....	55
Tabulka 3-10: Výsledky simulace pokrytí fasád bloků kolejí FV panely .....	55

Tabulka 3-11: Výsledky simulace pokrytí střech areálu kolejí jižně orientovanými FV panely o různém instalovaném výkonu pro variantu bez akumulace energie.....	56
Tabulka 3-12: Výsledky simulace pokrytí střech areálu kolejí stříškami FV panely o různém instalovaném výkonu pro variantu bez akumulace energie.....	56
Tabulka 3-13: Výsledky simulace pokrytí střech areálu kolejí FV panely s optimální orientací o různém instalovaném výkonu pro variantu bez akumulace energie.....	57
Tabulka 3-14: Výsledky simulace pokrytí fasád bloků kolejí FV panely o různém instalovaném výkonu pro variantu bez akumulace energie.....	58
Tabulka 3-15: Výsledky simulace pokrytí střech areálu kolejí FV panely o různém instalovaném výkonu pro variantu s akumulací do baterií.....	59
Tabulka 3-16: Výsledky simulace pokrytí střech areálu kolejí FV panely o různém instalovaném výkonu pro variantu s akumulací do TV.....	61
Tabulka 3-17: Výsledky simulace pokrytí střech a fasád areálu kolejí FV panely o různém instalovaném výkonu pro variantu s akumulací do TV.....	62
Tabulka 3-18: Rozložení ceny technologické složky fotovoltaické elektrárny.....	63
Tabulka 3-19: Rozložení ceny technologické složky fotovoltaické elektrárny.....	63
Tabulka 3-20: Rozložení ceny technologické složky fotovoltaické elektrárny.....	64
Tabulka 3-21: Nasmlouvané ceny silové složky elektrické energie.....	64
Tabulka 3-22: Nasmlouvané ceny silové složky plynu.....	64
Tabulka 3-23: Tabulka regulovaných složek elektřiny.....	65
Tabulka 3-24: Tabulka regulovaných složek plynu.....	65
Tabulka 3-25: Souhrn ekonom. kritérií pro návrhy střešní FVE bez akumulace el. energie.....	67
Tabulka 3-26: Souhrn ekonom. kritérií pro návrhy nástěnné FVE bez akumulace el. energie.....	67
Tabulka 3-27: Souhrn ekonom. kritérií pro návrhy FVE s akumulací do bateriového úložiště.....	68
Tabulka 3-28: Souhrn ekonom. kritérií pro návrhy střešní FVE s akumulací teplé vody.....	68
Tabulka 3-29: Souhrn ekonom. kritérií pro návrhy FVE s akumulací teplé vody rozšířené o nástěnné FV panely.....	69



## ÚVOD

Nedávné krize na energetických trzích nám ukazují důležitost témat rozvíjejících analýzu spotřeby energií v budovách, zavádění z nich plynoucích energeticky úsporných opatření nebo využívání obnovitelných zdrojů energie. Všechny tyto trendy směřují ke snížení spotřeb energií, snižují finanční náročnost provozu budov, závislost na dodávce a ceně energetických komodit nebo omezení ekologické zátěže. A právě tato témata byla v této diplomové práci otevřena a dále rozvíjena.

Námětem pro tvorbu této diplomové práce bylo vytvoření studie zabývající se analýzou spotřeby energií v rámci areálu studentských kolejí. Součástí studie je navržení vhodného řešení pro výrobu energie, nalezení optimálního způsobu jejího využití a vytvoření ekonomické analýzy modelových projektů. Základem diplomové práce bylo získání a zpracování dat o spotřebách energií získaných měřeními a zpřehlednění spotřeby energií v areálu kolejí Strahov. Na jejich základě byly vytvořeny modely typické spotřeby energií pro objekty studentského ubytování. Ze zpracovaných dat byla následně vytvořena studie využití obnovitelných zdrojů v rámci areálu uvedených studentských kolejí. Navržená opatření mají za cíl omezit stávající nákup elektřiny a zemního plynu a snížit energetickou náročnost areálu bez jakéhokoliv omezení komfortu uživatelů. Pro výrobu elektrické energie v rámci areálu studentských kolejí bylo uvažováno více zdrojů a způsobů výroby elektrické či tepelné energie, avšak s ohledem na polohu areálu a nejisté budoucnosti na energetických trzích v době tvorby diplomové práce je řešena zejména výroba pomocí fotovoltaické elektrárny.

Obsahem diplomové práce je podrobný popis stávající spotřeby areálu kolejí a představení 5 možných variant instalace nových zdrojů a způsobů využití vyrobené elektrické energie včetně ekonomického hodnocení. V rámci studie jsou také zpracovány 3 různé způsoby stavebního řešení včetně řešení alternativních způsobů návrhu fotovoltaické elektrárny, pro které v běžném návrhu nebývá prostor.

V úvodní kapitole diplomové práce je popsán současný stav areálu kolejí, technologie vytápění a ohřevu teplé vody, využití nakoupené tepelné a elektrické energie a způsob jejího měření. Získaná data jsou dále zpracována, graficky zpřehledněna a popsána. Z nich jsou následně vytvořeny denní, týdenní a roční profily typických energetických spotřeb jednotlivých objektů studentského ubytování, které v databázi profilů nabízených běžnými komerčními programy zaměřených na návrh energetických zdrojů chybí. Data jsou následně porovnána s nejbližším nabízeným profilem spotřeby.

Z uvažovaných obnovitelných zdrojů, které přicházejí pro areál kolejí do úvahy vychází nejlépe fotovoltaika. V další kapitole je tedy následně popsán princip fungování fotovoltaické elektrárny a způsob návrhu jejích jednotlivých částí. Velký důraz je kladen především na nalezení optimálního umístění fotovoltaických panelů, které je testováno pomocí mnoha simulací a z nich plynoucích průběhů. Diskutováno je také stavební hledisko fotovoltaické elektrárny, způsoby montáže, požadavky na konstrukci střechy a zatížení způsobené fotovoltaickými panely.

Poslední, praktická kapitola je věnována návrhu samotných variant fotovoltaické elektrárny včetně variant využití vyrobené elektrické energie. Zde jsou popsány a technicky specifikovány jednotlivé prvky, ze kterých je fotovoltaická elektrárna složena. Následně jsou pomocí těchto komponentů postupně zaplňovány plochy střech a vertikálních stěn jednotlivých kolejních bloků

od minimálního výkonu fotovoltaické elektrárny (100 kWp) až po maximální možný instalovaný výkon. Pro všechny uvažované způsoby využití jsou pro proměnné výkony vytvořeny grafy znázorňující výrobu a využití elektrické energie. Závěrem je zpracována ekonomická analýza navrhovaných způsobů řešení a výběr nejvýhodnější varianty instalace fotovoltaické elektrárny. Následně je pomocí porovnání výsledků studie s výsledky získanými návrhovým programem diskutován vliv sběru a zpracování podrobných dat o spotřebách objektu při navrhování vlastní fotovoltaické elektrárny.

V Praze dne 25. května 2023

David Koranda



## KAPITOLA 1: ANALÝZA SPOTŘEB ENERGIÍ STUDENTSKÝCH KOLEJÍ

Objektem studie využití výroby elektrické energie pomocí obnovitelných zdrojů v rámci studentských kolejí je areál kolejí Strahov, který je součástí komplexu ubytovacích prostor ČVUT. Funkcí areálu je poskytování ubytovacích prostor zejména studentům Českého vysokého učení technického v Praze.

### 1.1 Popis komplexu kolejí ČVUT

České vysoké učení technické poskytuje pro své studenty ubytování v celkem 8 ubytovacích areálech.

areál kolejí	kapacita [os.]
koleje Strahov	4 823
koleje Podolí	1 700
Masarykova kolej	622
Bubenečská kolej	500
Sinuleho kolej	373
Hlávkova kolej	237
kolej Orlík	173
Dejvická kolej	132

Tabulka 1-1: Kapacita areálů kolejí ČVUT [1]

Komplex kolejí dokáže při plné obsazenosti ubytovat až cca 8 500 studentů. Největší kapacita ubytovacích míst se nachází v areálech kolejí Strahov a Podolí. Ostatní koleje poskytující studentům ubytování disponují značně nižší ubytovací kapacitou. Koncentrovány jsou zejména v blízkosti dejvického kampusu ČVUT. Výjimkou je kolej Hlávkova, která se nachází poblíž historického centra Prahy.

Areál kolejí Strahov byl vystavěn v šedesátých letech minulého století. Ostatní ubytovací zařízení se nacházejí zejména v historických budovách či historických částech města Prahy. Některé z nich jsou dokonce památkově chráněny.

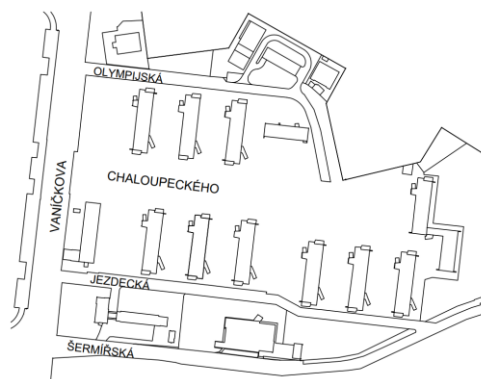
### 1.2 Popis areálu kolejí Strahov

Areál strahovských kolejí je součástí vysokoškolských kolejí, které jsou ve správě ČVUT. Vystavěn byl v letech 1964 až 1965 v městské části Praha 6 v blízkosti Strahovského stadionu a parku Petřín. Areál kolejí tvoří celkem 12 bloků. Pro účely ubytování studentů je z nich však určeno pouze 11. Jedná se o bloky s označením 2 až 12. Blok 1, obsahující zejména kanceláře zaměstnanců Správy účelových zařízení ČVUT, slouží pro administrativní účely. Součástí komplexu strahovských kolejí je také menza, která slouží k přípravě snídaní, obědů a večeří.

Jednotlivé kolejní bloky jsou vystavěny ve dvou řadách směrem k parku Petřín. Stavební řešení všech bloků je téměř shodné. Půdorysně jsou jednotlivé kolejní bloky obdélníkového tvaru. Střecha všech objektů je plochá. Kolejní bloky disponují 6 nadzemními podlažími. Blok 1 je tvořen pouze 3 nadzemními podlažími a půdorysně je vystavěn do písmene Z. Uprostřed areálu kolejí se nachází dvě parkoviště pro osobní automobily, 6 sportovních hřišť, samoobsluha a restaurační zařízení. Všechny bloky procházejí postupnou rekonstrukcí a modernizací.



Obrázek 1-1: Pohled na areál kolejí Strahov ze Strahovského stadionu [2]



Obrázek 1-2: Nákres areálu kolejí Strahov [5]

### 1.3 Tepelně technické řešení budov bloků kolejí

Výroba tepla potřebného pro vytápění a přípravu teplé vody (TV) probíhá v areálu kolejí v pěti plynových kotelnách, které jsou umístěny na vybraných blocích (1, 3, 6, 9, 11). Základními energetickými vstupy do areálu kolejí jsou elektrická energie a zemní plyn.

Kotelny jsou vybaveny vysoce účinnými kondenzačními kotli. Pomocí plynových kotlů je ohřívána otopná voda. Ta je podzemními kanály vedena do strojoven jednotlivých kolejních bloků, které daná kotelna zásobuje. Zde je otopná voda pomocí rozdělovačů dělena do větví pro vytápění objektu a ohřev teplé vody. Hlavní rozdělovače a sběrače topných větví jsou osazeny kalorimetry s dálkovým přenosem dat, které podle průtoku a rozdílu teplot otopné vody na přívodní větví a na zpátečce odečítají odebírané teplo. Ústřední vytápění je rozděleno na východní a západní větvě podle orientace pokojů, které daná větev vytápí. Výkon je regulován pomocí trojcestných směšovacích ventilů. Cirkulaci otopné vody zajišťují oběhová čerpadla s plynulou regulací otáček. Souběžně na každém kolejním bloku probíhá i příprava teplé vody. Teplá voda je připravována zásobníkovým způsobem a je ukládána v akumulčních nádržích. Na každém bloku se nachází dva zásobníky teplé vody s celkovým objemem 2 000 litrů. Ohřev teplé vody je zajištěn otopnou vodou přicházející z rozdělovače. Potřebný výkon je opět regulován trojcestným směšovacím ventilem. Přenos tepla se uskutečňuje v deskovém výměníku. Do primárního okruhu výměníku je

přiváděna otopná voda z rozdělovače, do sekundárního okruhu je přiváděna již předeřhřátá voda ze spodní části zásobníku smíchaná s vodou studenou přitékající z vodovodního řádu o teplotě cca 10 °C. Tato voda vyrovnává odběr teplé vody tak, aby byl objem zásobníku udržován na konstantní hodnotě. Ve výměníku tepla je pak ohřívána na teplotu 45 až 55 °C. Ohřívána voda, je v případě požadavku vedena potrubím k okamžité spotřebě. Teplá voda, která není okamžitě využita je vedena do horní části zásobníku teplé vody. Pro její uchování jsou využity směšovací zásobníky, které nejsou nijak připraveny na vrstvení vody a rozdíly mezi teplotami teplé vody ve vrchní a spodní části zásobníku jsou minimální.

Zdroje tepla jsou vybaveny systémem měření a regulace, který zajišťuje plně programovatelnou regulaci dodávky tepla pro ohřev teplé vody a ústřední vytápění objektů. Regulace systému je ekvitermní, řízená podle venkovní teploty, která je měřena senzory umístěnými na fasádách objektu. Pro veškerá zařízení všech plynových kotelen je vytvořena vizualizace, která je napojena na lokální dispečink.

## 1.4 Systém provozu kolejí

Strahovské koleje jsou využívány v celoročním provozu. V průběhu akademického roku slouží především pro ubytování studentů, v období letních prázdnin se pak využívají také jako ubytovna. Maximální kapacita ubytovacích míst v areálu je 4 823 osob. Průměrná obsazenost studenty během semestru je 93 %, během prázdnin klesne na hodnotu 64 %. (údaj z roku 2017)

Přítomnost studentů v prostorách kolejí se však během roku pravidelně mění, a to zejména v závislosti na fázi akademického roku. Maximální obsazenost nastává v průběhu letního a zimního semestru. V kalendářním roce odpovídá toto období září až prosinci a únoru až červnu. Výrazný odliv studentů bývá zaznamenán během zkouškových období v letním a zimním semestru a v průběhu vánočních prázdnin. Velký počet rezervací o ubytování je provedeno pouze na období akademického roku, během letních prázdnin tak počet ubytovaných studentů značně klesá. Volná místa mohou být v těchto měsících využívána jako hostel či ubytovna. Kapacita kolejí však v těchto měsících není zcela využita.

Značné výkyvy ve využívání kolejí nastávají také v průběhu jednoho týdne. Nejvyšší počet studentů využívá koleje v průběhu pracovního týdne, v těchto dnech je kapacita kolejí maximálně využívána. Ve dnech víkendových odjíždí velké množství studentů za rodinami a kolejní ubytování tak v těchto dnech nevyužívají.

Aktuální obsazenost kolejí je důležitý parametr, který velmi výrazně ovlivňuje spotřebu energií v areálu, zejména pak spotřebu elektřiny a spotřebu tepla na ohřev teplé vody. Při správné predikci obsazenosti kolejí by bylo možné při vhodném řízení minimalizovat spotřebu energií stejně, jako například při využívání předpovědi počasí při vytápění objektu.

## 1.5 Měření spotřeby energií

Díky postupné rekonstrukci a modernizaci areálu dochází také k modernizaci výroby tepelné energie a měření její spotřeby. Znalost podrobných průběhů spotřeb a toků jednotlivých energií v areálu umožní analyzovat a vyhodnocovat jednotlivé průběhy spotřeb a provádět tak efektivní energetický management, který napomáhá k efektivnějšímu využití výroby energií a tím ke snížení spotřeby.

Technologie využívané areálem kolejí jsou osazeny měřiči s dálkovým odečtem dat. Odesílaná data jsou ukládána a pro účely energetického managementu či vyhodnocení spotřeb jsou zobrazitelná v systému BMS a vizualizaci. Díky podrobně měřeným datům energií a teplot uvnitř areálu lze také výrazně přesněji posoudit výhodnost budoucích investic do nových úsporných opatření. Klimatická data mohou být pro areál kolejí získávána vlastním měřením nebo z dat Českého hydrometeorologického ústavu. Nejbližší meteorologická stanice je stanice Praha-Karlov.

Hlavní energetickou spotřebu areálu kolejí tvoří spotřeba elektřiny a tepla. Areál kolejí nedisponuje žádným vlastním zdrojem elektrické energie a spotřeba elektřiny je tak pokryta výhradně pomocí dodávek z distribuční soustavy. Veškerá tepelná energie je vyráběna pomocí kondenzačních plynových kotlů ze zemního plynu. Vyrobené teplo se spotřebovává na pokrytí tepelné ztráty jednotlivých bloků areálu pomocí ústředního vytápění a na přípravu teplé vody. Podrobné průběhy spotřeb získané měřením jsou dále zpracovány a popsány v následujících kapitolách.

Podobná měřená data mohou být v budovách zpracovávána v rámci energetického managementu budovy. Ze zpracovaných průběhů je následně možné analyzovat přínos úsporných opatření, identifikovat poruchy na jednotlivých zařízeních či tato data použít k posouzení výhodnosti navrhovaných dodatečných opatření zefektivňující provoz areálu.

## 1.6 Data

Data o spotřebách energií v areálu kolejí byla získána z databáze uchovávající spotřeby dat přicházejících z měřidel energií a dalších veličin jako jsou teploty nebo průtok vody. Tyto data jsou obvykle odesílána po hodinových intervalech. Počátkem období pro měření spotřeby je leden 2021.

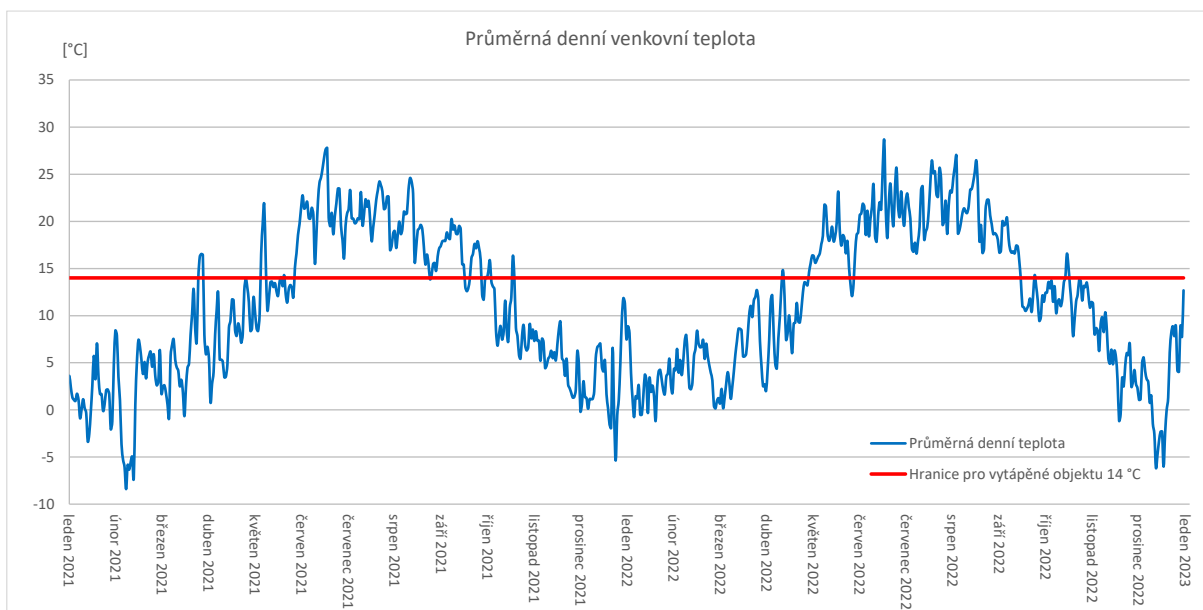
Surová data z měřičů je následně nutno zpracovat do podoby, ve které je tato data možno analyzovat či vizualizovat. Pro další práci je potřeba doplnit data chybějící či nahradit ta zjevně chybná. Chyby vznikají převážně poruchou měřidla nebo chybou komunikace. Chybné hodnoty byly u většiny případů nahrazeny interpolací blízkých hodnot před a za chybějícími daty, případně byly nahrazeny hodnotami z minulého roku. Veličiny a spotřeby, které nejsou přímo měřeny byly dopočítány pomocí hodnot, které jsou díky měření k dispozici.

Z takto zpracovaných hodnot však vznikne velké množství hodinových dat. Tato data je následně pro zjištění opakujících se průběhů nutno upravit do přehlednějších forem, ze kterých lze tyto průběhy vyčíst. Hodinové hodnoty je vhodné sumarizovat do hodnot denních a vykreslit jednotlivé roční průběhy. Z těch obvykle vyjde najevo opakující se týdenní profil spotřeb v určitých částech roku, ve kterých je profil užívání objektu obdobný. V případě kolejí a studentských ubytovacích zařízení se dají očekávat shodné týdenní průběhy uživatelských spotřeb energií v průběhu letních a zimních semestrů, případně zkouškových období. Pro tato období lze následně z hodinových dat vyčíst opakující se denní průběhy spotřeb a vytvořit typické průběhy jednotlivých energií. Následně je možné tyto typické profily jednotlivých období spojit a vytvořit modelovou spotřebu studentských kolejí v průběhu celého roku.

V této studii bylo podle výše uvedeného postupu zpracováno a vyhodnoceno více než 500 tisíc hodnot spotřeb elektrické energie, výroby tepla, rozdělení tepelné energie do větvích jednotlivých kolejních bloků, spotřeb teplé a studené vody a venkovních teplot.

## 1.7 Teplota

Hlavním parametrem, ovlivňujícím potřebu tepla na vytápění objektu je venkovní teplota. Venkovní teplota je v areálu kolejí získávána z vlastního měření teploty používaného pro regulaci výkonu vytápění objektu. Teploměry jsou umístěny na fasádě každého bloku. Data z těchto měřidel jsou díky stejné poloze všech kolejních bloků téměř shodná. Proto je v grafech a výpočtech uvedena pouze jedna reprezentativní venkovní teplota, a to teplota naměřená teploměrem nacházející se na 1. bloku. Údaje o průměrné denní venkovní teplotě v měřeném období jsou znázorněny na následujícím grafu.

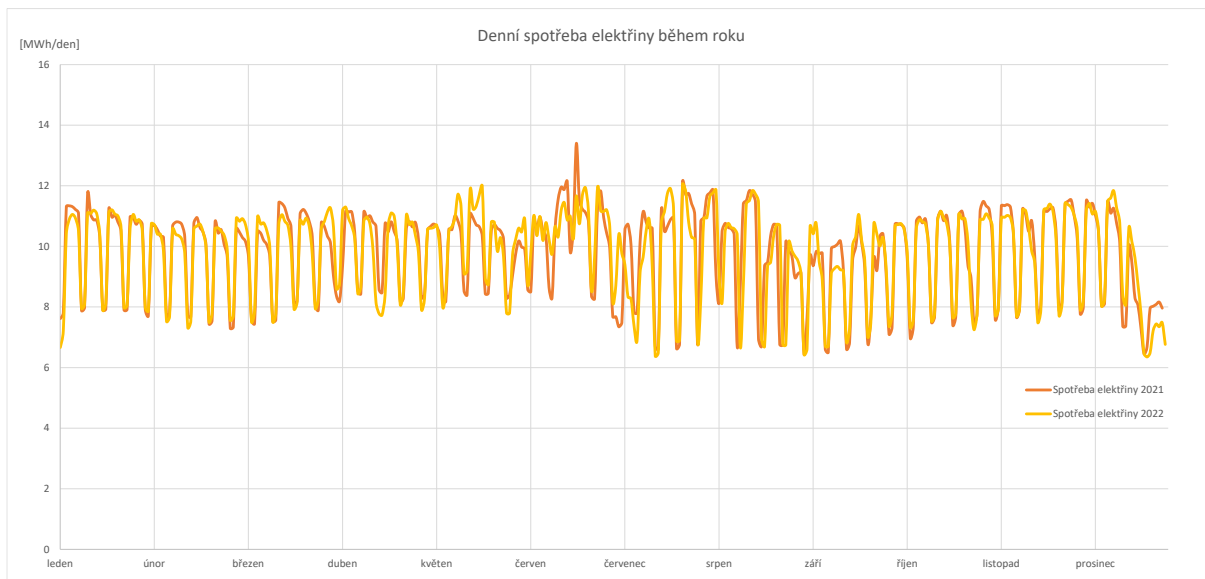


Obrázek 1-3: Graf průměrné denní teploty v lokalitě kolejí Strahov

## 1.8 Spotřeba elektřiny

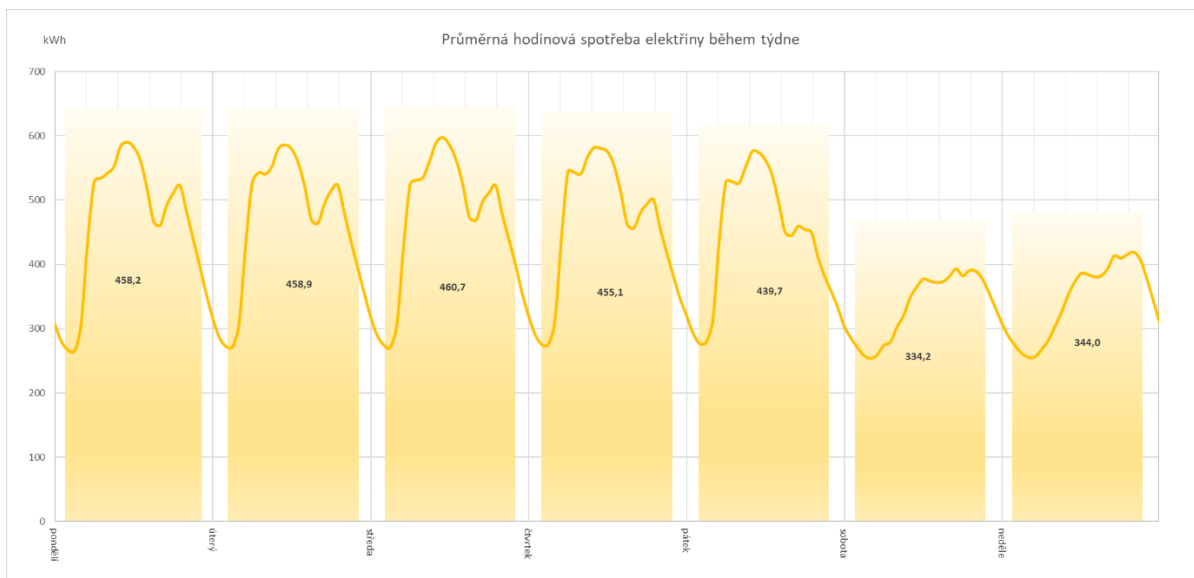
Údaj o spotřebě elektrické energie je v areálu kolejí měřen pomocí fakturačního elektroměru, který měří spotřebu elektřiny v celém strahovském areálu. Elektroměr je vybaven dálkovým odečtem a je připojen na dohledový a řídicí systém. Data z elektroměru jsou zobrazována a zaznamenávána v hodinovém kroku.

Spotřeba elektrické energie je na následujícím grafu vykreslena od ledna 2021. Hodnoty spotřeby elektrické energie v první polovině roku 2021 jsou výrazně nižší oproti roku 2022. Nižší spotřeba elektrické energie je způsobena nižší obsazeností kolejí v době pandemie Covid-19. Tyto hodnoty jsou proto vynásobeny podle obsazenosti koeficientem tak, aby odpovídaly průběhům elektrické energie při plném provozu kolejí. Průběh korigované spotřeby elektrické energie za rok 2021 a spotřeba za rok 2022 je zobrazen v následujícím grafu.



Obrázek 1-4: Denní spotřeba elektřiny během roku

Jak je z předcházejícího grafu patrné, velmi pravidelný průběh spotřeby elektřiny nastává v období během letního i zimního semestru a části zkouškových období. Pravidelnost je způsobena stálou obsazeností kolejí a pravidelným režimem ubytovaných studentů. Velice podobné jsou v tomto období i jednotlivé denní a týdenní profily spotřeby, a proto je tento úsek roku vhodný pro vytvoření průměrných hodnot a typického profilu spotřeby elektrické energie. Proměnlivější průběh spotřeby elektřiny je naměřen ve zbývající části roku, tedy v období od června do září a v průběhu vánočních prázdnin. Typický profil týdenní spotřeby elektřiny celého areálu kolejí je v hodinovém kroku znázorněn na následujícím grafu.



Obrázek 1-5: Průměrná hodinová spotřeba elektřiny během týdne

Maximální hodinová spotřeba je během týdne naměřena v průběhu pracovních dní. Během špičky dosahuje průměrná hodinová spotřeba téměř 600 kWh. Toto maximum nastává mezi 11 a 12 hodinou. Další, o něco menší špičky, jsou patrné v ranních hodinách (mezi 7 a 8 hodinou) a v hodinách večerních (mezi 18 a 20 hodinou). Tato maxima jsou způsobena především profilem

užívání elektrické energie obyvateli kolejí. Během dnů víkendových je průběh více zploštělý. Maximální spotřeba dosahuje v těchto dnech hodnoty 400 kWh za hodinu.

Naopak k minimální spotřebě elektřiny klesá profil spotřeby každý den mezi 3. a 5. hodinou ranní. Minimální hodinová spotřeba elektrické energie je 250 kWh. Pod tuto hodnotu spotřeba elektrické energie vůbec neklesá. Stálá spotřeba je způsobena nepřetržitě odebírajícími spotřebiči elektrické energie, které zajišťují například osvětlení společných chodeb areálu, které musejí být kvůli bezpečnostním požadavkům neustále osvětleny nebo spotřebiči neustále odebírajícími elektrickou energii ve „stand-by“ režimu. Hlavními spotřebiči elektřiny v jednotlivých kolejních blocích jsou svítidla osvětlující společné prostory a jednotlivé ubytovací místnosti, počítače, vařiče, ledničky, mikrovlnné trouby nacházející se v kuchyňkách a oběhová čerpadla, která jsou součástí technologického systému budov. Průměrná denní spotřeba elektřiny na obyvatele je zobrazena v následující tabulce. Z důvodu značného rozdílu velikosti spotřeby je rozdělena na průměrnou spotřebu ve všední a víkendový den.

	[kWh/os./den]
Po-Pá	2,32
So-Ne	1,73

Tabulka 1-2: Průměrná denní spotřeba elektřiny na obyvatele

Jak bylo zmíněno v předchozích odstavcích, lze z opakujících se průběhů spotřeb elektrické energie vytvořit typické průběhy spotřeby elektrické energie v jednotlivých obdobích roku. Nejdéle trvajícím obdobím, které se během roku periodicky opakuje, a tedy nejdelší období, pro které je možné typický průběh spotřeb vytvořit je jeden týden. Pro větší přesnost modelové spotřeby elektrické energie je rok podle spotřeby rozdělen do několika částí, ve kterých je profil užívání elektrické energie během týdne obdobný. Rozdělení měřených let a roku modelového na jednotlivé části je znázorněno v následujících tabulkách.

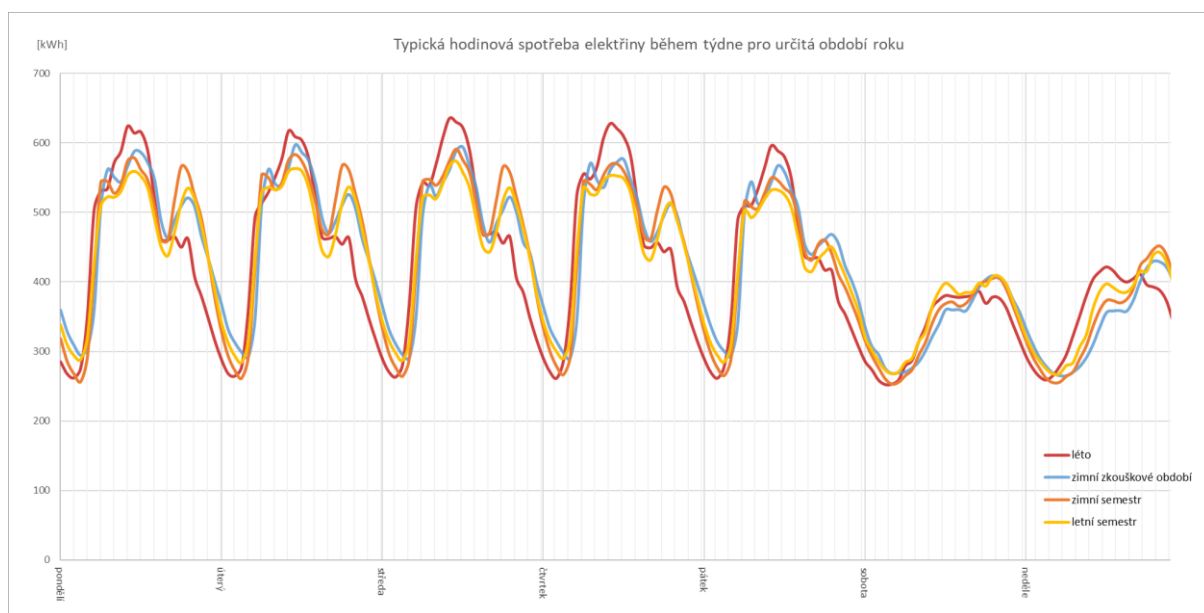
rok	začátek	konec	týdnů
letní semestr 2021	15.02.2021	16.05.2021	13
letní semestr 2022	14.02.2022	15.05.2022	13
zimní semestr 2021	20.09.2021	19.12.2021	13
zimní semestr 2022	19.09.2022	18.12.2022	13
zimní zkouškové období 2021	11.01.2021	14.02.2021	5
zimní zkouškové období 2022	16.01.2022	19.02.2022	5
léto 2021	24.05.2021	19.09.2021	17
léto 2022	23.05.2022	18.09.2022	17

Tabulka 1-3: Rozdělení měřených let na období s rozdílnými profily spotřeby elektřiny

rok	začátek	konec	týdnů
zimní zkouškové období	01.01.	18.02.	7
letní semestr	19.02.	20.05.	13
léto	21.05.	16.09.	17
zimní semestr	17.09.	16.12.	13
Vánoce	17.12.	01.01.	2

Tabulka 1-4: Rozdělení modelovaného roku na období s rozdílnými profily spotřeby elektřiny

Pro období výše uvedené v tabulce č. 1-4 jsou vytvořeny 4 typické týdenní průběhy spotřeby elektrické energie. Tyto profily byly vytvořeny průměrem hodnot pro danou hodinu a den v týdnu za určité časové období.



Obrázek 1-6: Typická hodinová spotřeba elektřiny během týdne pro období s obdobnými profily spotřeby

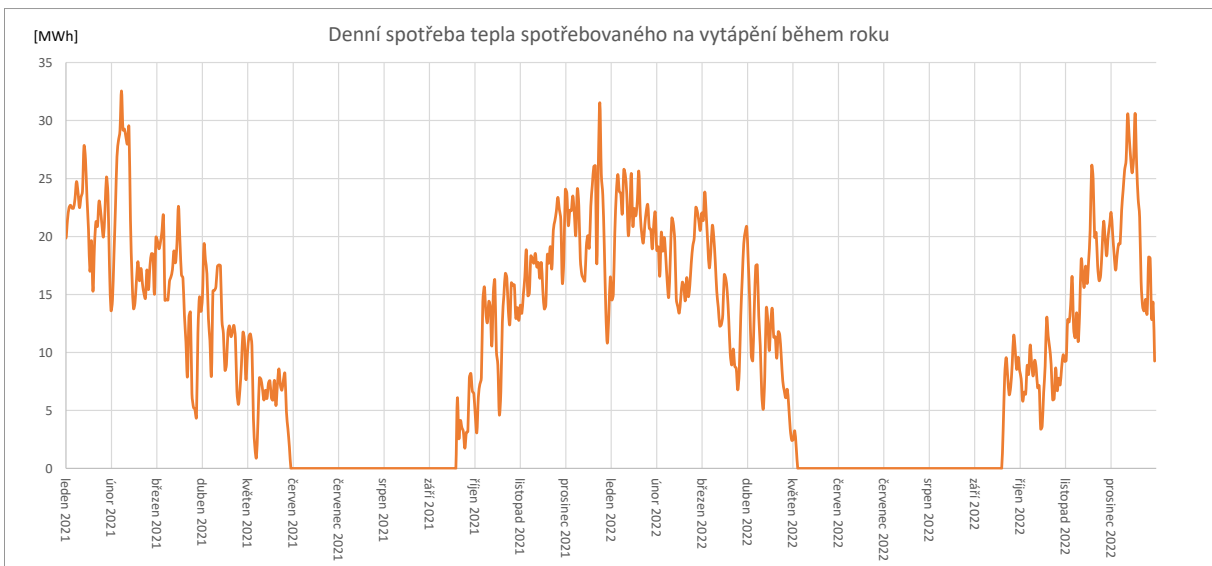
Z typických týdenních profilů spotřeby elektrické energie je napříč jednotlivými profily patrná značná podobnost mezi týdny v průběhu akademického roku. V letním období dochází k vyšším špičkám v poledních hodinách. Večerní špička je naopak zcela potlačena. Z průběhů napříč všemi částmi roku je však značný rozdíl průběhu mezi pracovním a víkendovým dnem. Patrné jsou u vykreslených průběhů také kratší opakující se časové periody. Průběhy typických spotřeb během jednotlivých pracovních a jednotlivých víkendových dní jsou téměř shodné.

Z těchto profilů je následně podle datumů uvedených v tabulce 1-4 postupným opakováním typických týdenních profilů sestaven model typické spotřeby studentských kolejí. Tento model bude použit pro další výpočty související se spotřebou areálu kolejí v dalších kapitolách práce.

## 1.9 Spotřeba tepla na vytápění

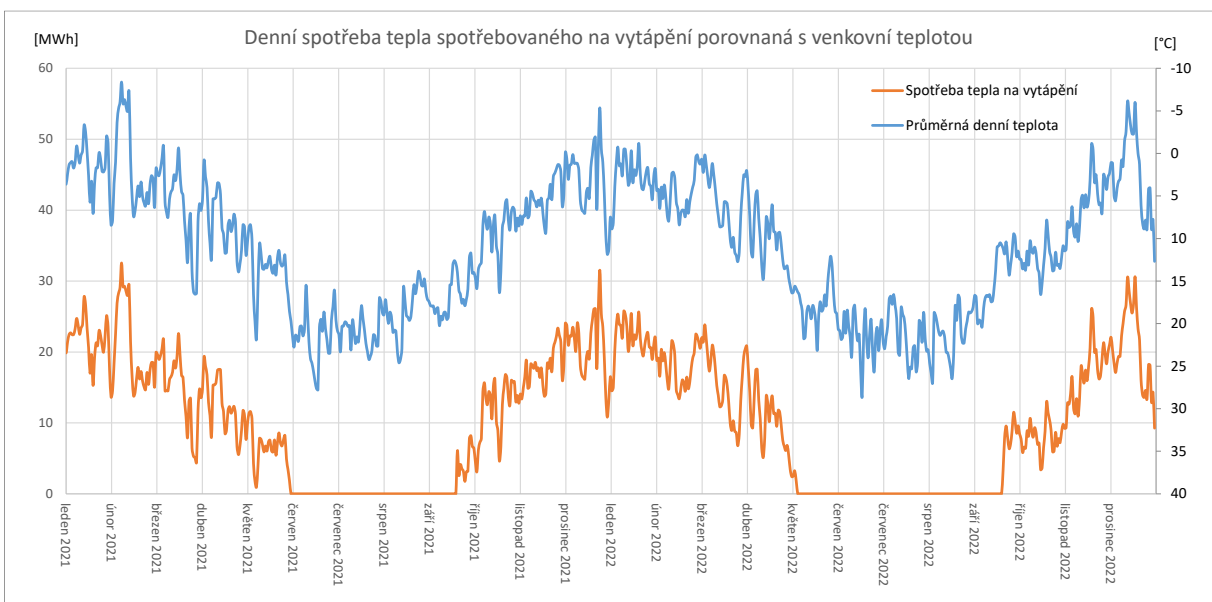
Spotřeba tepla na vytápění objektu je měřena pomocí kalorimetrů umístěných na patě každého objektu. Tato spotřeba je závislá zejména na venkovní teplotě a požadované teplotě uvnitř objektu. Teplo na vytápění areálu je vyráběno a spotřebováno pouze ve dnech topné sezóny. Spotřeba mimo toto období je minimální a téměř konstantní. Nejvyšší spotřeba je tak v areálu kolejí zaznamenána během zimních měsíců, kdy je průměrná venkovní teplota nejmenší. Minimální spotřeba energie je naopak zřejmá v měsících letních. V tomto období ztlačí stoupá průměrná venkovní teplota a dochází k ukončení topné sezóny.





Obrázek 1-7: Denní spotřeba tepla na vytápění v průběhu roku

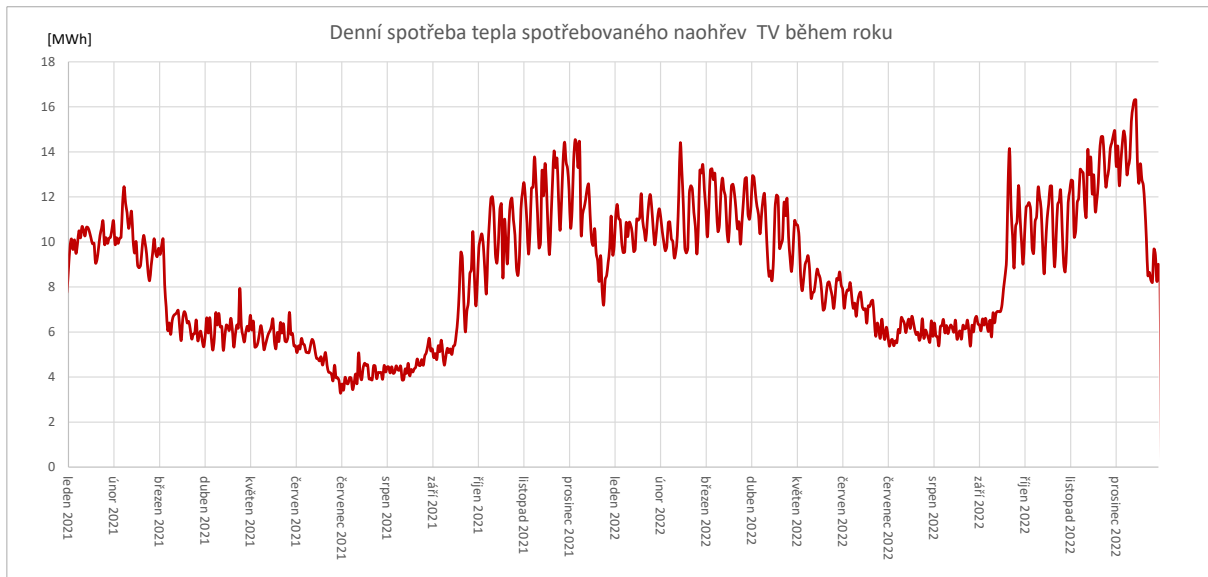
Pro zjištění míry závislosti spotřeby tepla potřebného k vytápění areálu na venkovní teplotě jsou tyto dva průběhy vykresleny společně v jednom grafu. Venkovní teplota je přitom vykreslena s převráceným pořadím hodnot. Z popsaného srovnání je patrné, že v průběhu topné sezóny obálka spotřeby tepla na vytápění areálu kopíruje obrácenou křivku průměrné denní venkovní teploty. Teplo na vytápění je tedy závislé pouze na aktuální venkovní teplotě a momentální obsazenost kolejí či uživatelské nastavení nemá na tuto spotřebu viditelný vliv. Z tohoto důvodu není možné vytvářet typické profily spotřeby závislé na uživatelské spotřebě v areálu kolejí. Porovnání převrácené venkovní teploty a spotřeby tepla na vytápění areálu je vyobrazeno na následujícím grafu.



Obrázek 1-8: Denní spotřeba tepla spotřebovaného na vytápění porovnaná s průměrnou venkovní teplotou

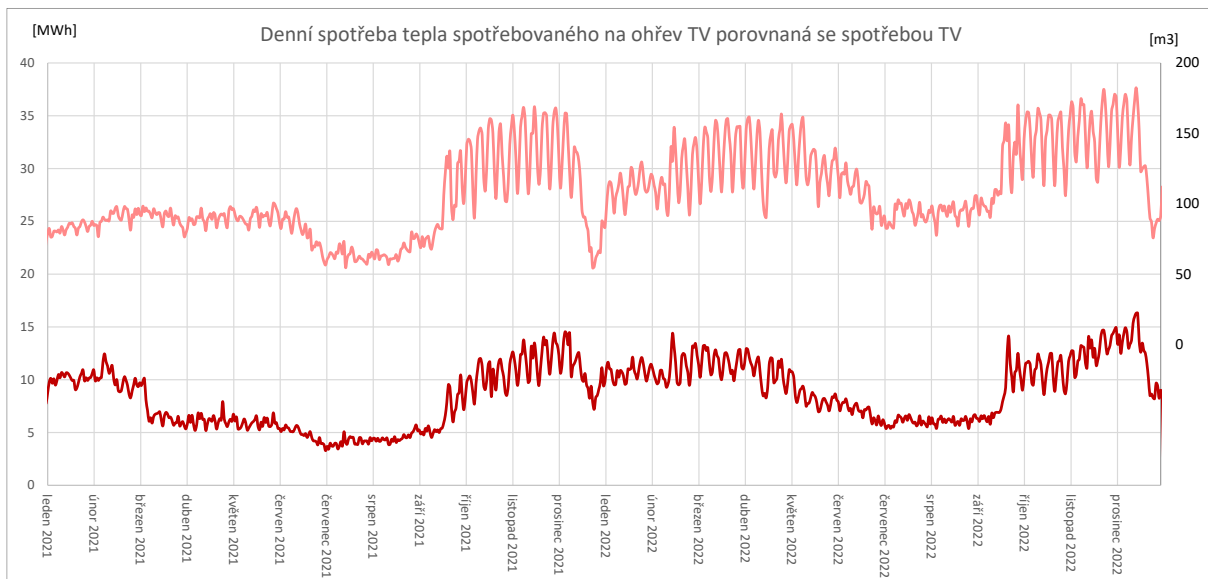
## 1.10 Spotřeba teplé vody

Spotřeba tepla na ohřev teplé vody není v areálu přímo měřena. Data o spotřebě tepla jsou získána rozdílem celkové vyrobené tepelné energie a tepla potřebného k vytápění jednotlivých bloků kolejí. Celková výroba tepla je měřena u zdrojů tepla, tedy plynových kotlů nacházejících se v kotelnách bloků 1, 3, 6, 9 a 11. Měřená je však spotřeba studené vody, která je dopouštěna do zásobníků teplé vody na všech kolejních blocích. Studená voda je doplňována podle odběru vody ze zásobníků. Spotřeba doplňované studené vody je tedy shodná se spotřebou teplé vody odebrané ze zásobníku tepla.



Obrázek 1-9: Denní spotřeba tepla na TV v průběhu roku

Pro ověření přímé závislosti mezi doplňováním studené vody do zásobníků teplé vody a spotřebě tepla potřebného k ohřevu teplé vody jsou jednotlivé průběhy zobrazeny na následujícím grafu. Z něj je zřetelně patrná závislost jednotlivých spotřeb.



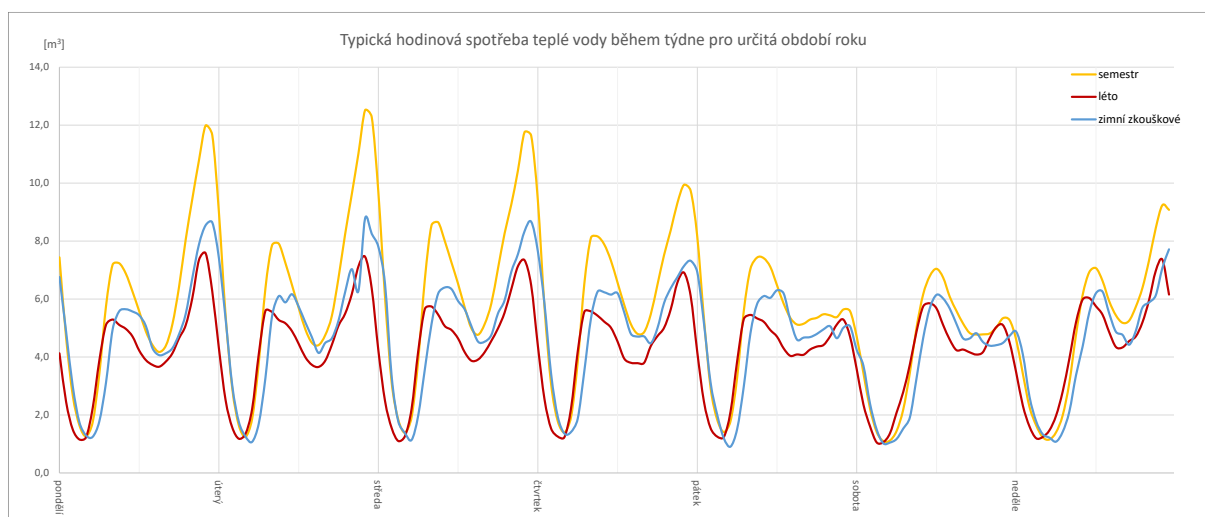
Obrázek 1-10: Denní spotřeba tepla na TV v porovnaná se spotřebou TV

Z předešlého grafu je jasně zřetelná závislost spotřeby tepla na ohřev teplé vody a spotřeby teplé vody. Při porovnání těchto průběhů vychází průměrná spotřeba tepla na ohřev 1 m<sup>3</sup> teplé vody na 64,6 kWh. Tato hodnota je získána průměrem dat měrné spotřeby tepla na ohřev teplé vody za období mimo topnou sezónu. V tomto období není soustava zatížena výrobou tepla na vytápění areálu a teplo je spotřebovávané pouze na ohřev teplé vody.

Stejně jako u spotřeby elektřiny lze i u spotřeby teplé vody vyčíst jistá týdenní pravidelnost pro jistá období v průběhu roku. Z naměřených dat je pak pro daná časová období možné pomocí průměrných hodnot v jednotlivých hodinách během týdne vytvořit typický profil spotřeby teplé vody. Rozdělení roku na období, pro která jsou jednotlivé typické průběhy počítány je zobrazen v následující tabulce. Následně jsou pro tato období v hodinovém kroku vykresleny typické týdenní průběhy.

rok	začátek	konec	týdnů
zimní zkuškové období	01.01.	18.02.	7
semestr	19.02.	20.05.	13
léto	21.05.	16.09.	17
semestr	17.09.	16.12.	13
Vánoce	17.12.	01.01.	2

Tabulka 1-5: Rozdělení modelového roku na období s rozdílnými profily spotřeby TV



Obrázek 1-11: Typická hodinová spotřeba teplé vody během týdne pro určitá období roku s obdobnými profily spotřeby

V letním období a v průběhu zkuškových období je spotřeba teplé vody, opět z důvodu snížené obsazenosti, ztlačně nižší než v průběhu letních a zimních semestrů. Z týdenního profilu průměrné hodinové spotřeby je rovněž patrná i denní pravidelnost ve spotřebě teplé vody. Rozložení odběru během dne zůstává u všech průměrných dní stejné, liší se pouze celková spotřeba teplé vody. Maximální spotřeba je měřena ve dnech pondělí až středa, minimální naopak v pátek a sobotu.

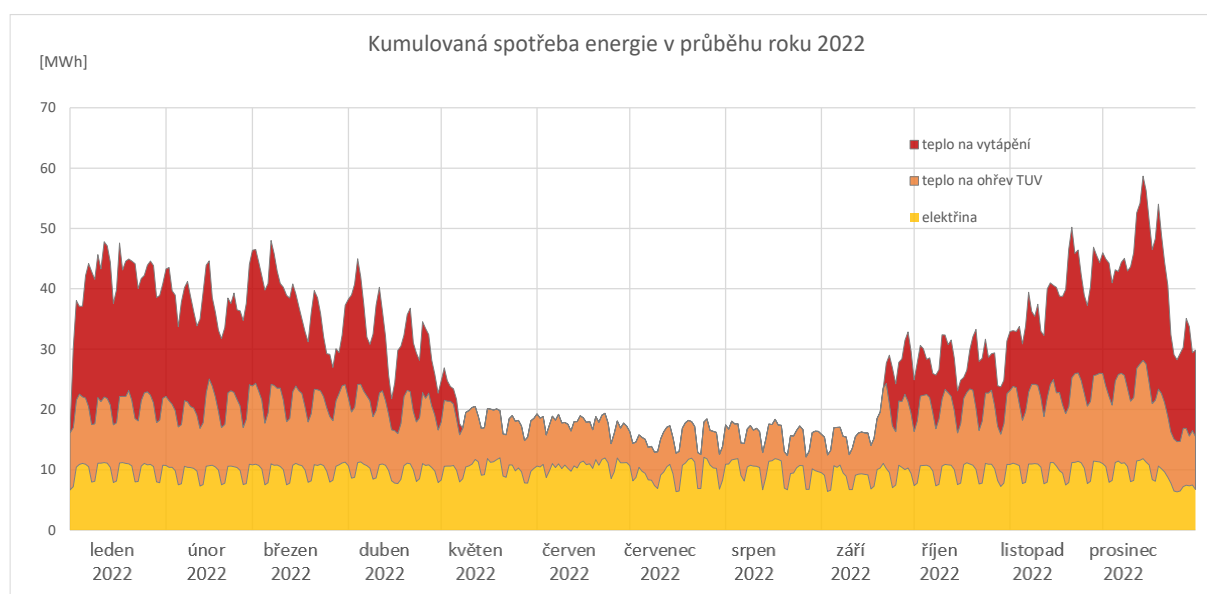
Z denního profilu jsou ztlačně dvě doby se zvýšenou spotřebou teplé vody. Ranní špička nastává v 8 hodin, večerní mezi 22. a 23. hodinou. Průměrná denní spotřeba TV na osobu je pak zobrazena v následující tabulce. Kvůli značnému rozdílu v celkové denní spotřebě je průměrná denní spotřeba teplé vody, rozdělena na dny s vyšší a nižší spotřebou.

	<b>semestr</b> [l/os./den]	<b>mimo semestr</b> [l/os./den]
<b>Po-Čt</b>	31,2	21,7
<b>Čt-Ne</b>	24,2	20,2

Tabulka 1-6: Průměrná denní spotřeba TV na obyvatele

## 1.11 Analýza celkové spotřeby areálu kolejí

Z výše popsaných a naměřených dat spotřeby energií je možné získat celkovou spotřebu kolejního areálu. Výsledek je znázorněn na následujícím skládaném grafu, kde jsou jednotlivé denní spotřeby sečteny a obálka grafu tvoří výslednou denní spotřebu všech energií komplexu kolejí.



Obrázek 1-12: Kumulovaná spotřeba energie v průběhu roku 2022

Z předcházejícího grafu je dobře patrná celková spotřeba areálu v jednotlivých dnech roku v technických jednotkách (MWh). Výše celkové spotřeby se v průběhu roku znatelně mění. Výrazně proměnnou složku celkově spotřebované energie tvoří teplo na vytápění objektů v rámci areálu Strahov. Jak již bylo dokázáno v kapitole zabývající se analýzou spotřeby tepla, je tato energie závislá především na denní venkovní teplotě a v teplých měsících mimo topnou sezónu je tak jeho spotřeba nulová. Výrazně sezónně stabilnější průběh je patrný u spotřeby elektřiny a tepla na ohřev teplé vody, kdy minimální spotřeba během roku neklesá pod určité minimální hodnoty. Tyto hodnoty jsou pro spotřebovávané druhy energií uvedeny v následující tabulce.

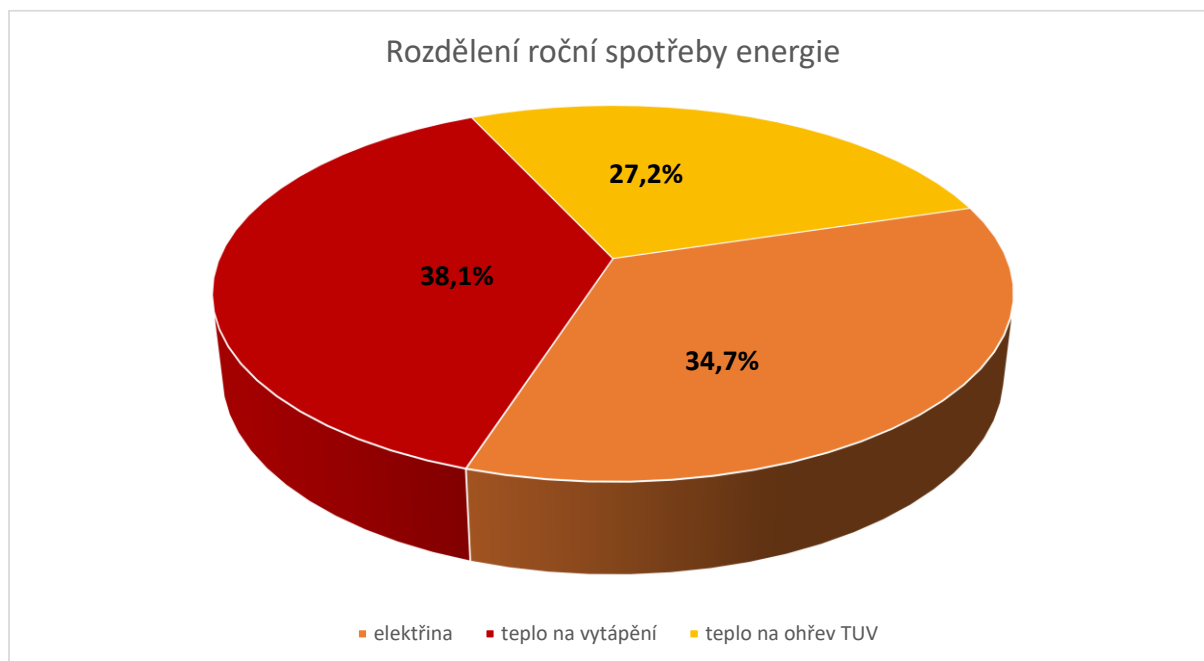
	<b>[MWh/den]</b>
<b>elektřina</b>	6,4
<b>teplo na vytápění</b>	0,0
<b>teplo na ohřev TV</b>	5,4

Tabulka 1-7: Minimální denní spotřeba elektřiny a tepla během roku

Z hodinových a denních hodnot spotřeb energií v areálu kolejí lze jejich sumou zobrazit celkovou roční spotřebu podle jednotlivých energií. Celkové roční hodnoty spotřeb energií v areálu kolejí Strahov v roce 2022 včetně jejich procentuálního rozložení je zobrazeno v následující tabulce:

	[MWh]	[%]
<b>elektřina</b>	3 566,6	34,7%
<b>teplo na vytápění</b>	3 920,9	38,1%
<b>teplo na ohřev TV</b>	2 792,4	27,2%

Tabulka 1-8: Rozdělení celkové roční spotřeby

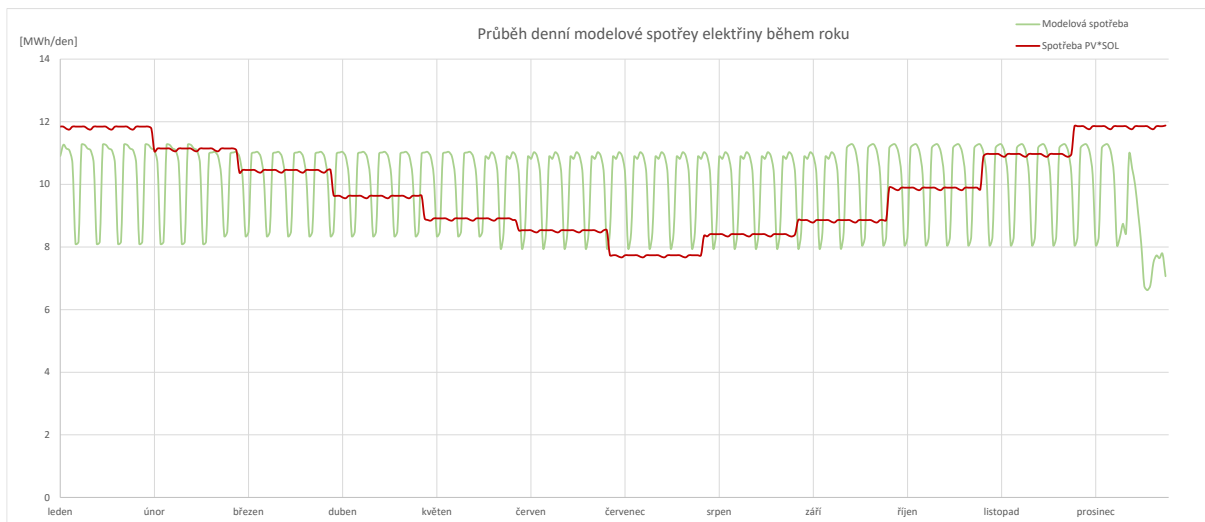


Obrázek 1-13: Rozdělení roční spotřeby energií podle komodit

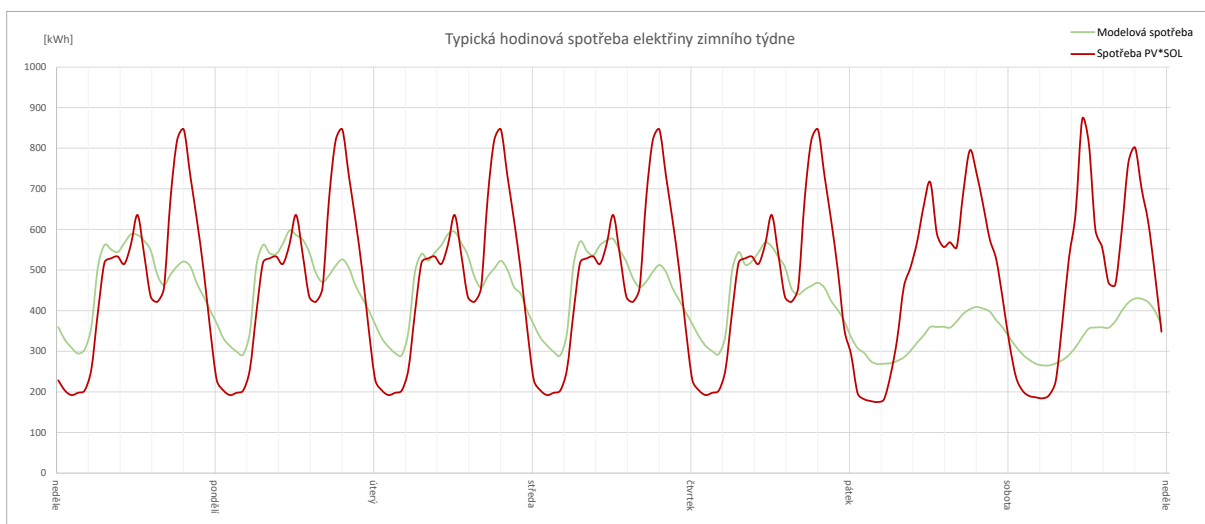
## 1.12 Průběhy energií komerčních programů

Modelová data spotřeb elektrické energie jsou často poskytována i komerčními programy pro návrh fotovoltaické elektrárny. V těchto programech se jedná o typické průběhy budov se stejným profilem užívání. S využitím naměřených dat a z nich vytvořených typických modelů spotřeb, které jsou popsány v předcházejících kapitolách diplomové práce, lze tyto modely porovnat a zhodnotit tak přínos měření a využití naměřených dat.

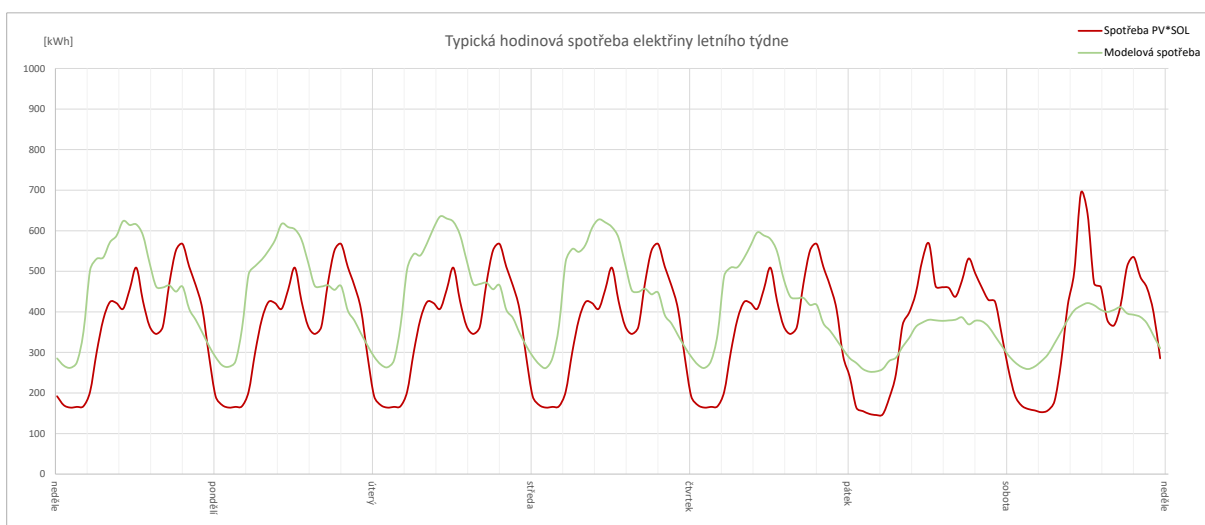
Připravené průběhy spotřeb energií byly získány z programu PV\*SOL, který k návrhu fotovoltaické elektrárny nabízí možnost využít jednoho z předem připravených typických průběhů spotřeb energií. Tyto profily pro vysokoškolské koleje či ubytovacího zařízení však v nabídce typických průběhů nejsou k dispozici. Z těch je studentskému ubytování nejblíže průběh obytného komplexu. Jeho průběhy spolu s průběhy vytvořených modelových spotřeb studentských kolejí je zobrazeno na následujících grafech. Aby byly jednotlivé průběhy vzájemně porovnatelné, byla v typickém profilu PV\*SOLu nastavena hodnota roční spotřeby elektrické energie na skutečnou hodnotu 3 674 MWh/rok.



Obrázek 1-14: Srovnání denních modelových spotřeb elektrické energie v průběhu roku



Obrázek 1-15: Hodinová spotřeba elektrické energie profilu „Obytný komplex“ PV\*SOL pro zimní týden



Obrázek 1-16: Hodinová spotřeba elektrické energie profilu „Obytný komplex“ PV\*SOL pro letní týden

Z porovnání typických průběhů nabízených programem PV\*SOL a vytvořených modelem spotřeby ze skutečně naměřených dat je i přes stejnou hodnotu roční spotřeby vidět značný rozdíl v jejich průběhu. V průběhu roku, kdy je během jednotlivých týdnů skutečný profil spotřeby velice podobný a liší se pouze v drobných odlišnostech se nabízený profil spotřeby elektrické energie naopak výrazně mění. V průběhu týdne jsou mezi skutečným a programem nabízeným průběhem spotřeby opět patrné nemalé rozdíly. Profil denní spotřeby je velmi podobný, u programem nabízeného průběhu však chybí pokles spotřeby ve víkendových dnech.

Z vytvořených porovnání vykreslených na předcházejících grafech je patrné, že na průběh spotřeby a její rozložení je odlišné od skutečně naměřených spotřeb komplexu studentských kolejí. Vliv naměřených dat na využití a ekonomickém hodnocení projektu bude shrnut v závěrečných kapitolách diplomové práce.

## 1.13 Možnosti úspory elektrické energie

Z vysokých hodnot a velké rovnoměrnosti spotřeby elektrické energie plyne pro areál kolejí velký potenciál pro instalaci vlastního zdroje elektrické energie. V uvažovaném areálu kolejí přicházejí pro výrobu elektrické energie do úvahy dvě varianty řešení. Jedním z těchto řešení je instalace fotovoltaické elektrárny, druhou možností je pak výroba elektrické energie pomocí kogenerační jednotky.

### 1.13.1 Kogenerační jednotka

Díky kombinaci celoročně vysoké spotřeby elektrické energie v areálu kolejí, avšak i celoročnímu odběru tepla, který je soudobý se spotřebou elektrické energie se v areálu kolejí Strahov nabízí instalace kogenerační jednotky. Vyrobena elektrická energie z kogenerační jednotky může být přímo spotřebována na provoz elektrických zařízení areálu, vyrobené teplo je pak možné spotřebovat na ohřev v zásobnících teplé vody. Dimenzi je pro kontinuální chod kogenerační jednotky možné zvolit podle minimálního výkonu, který byl v areálu v minulých letech odebírán. Minimální hodinový odběr elektrické energie a tepla na ohřev teplé vody je v podobě hodinové spotřeby energie zobrazen v následující tabulce.

	[kWh/hod]
<b>elektřina</b>	211,0
<b>teplo na vytápění</b>	0,0
<b>teplo na ohřev TV</b>	136,6

Tabulka 1-9: Minimální hodinová spotřeba elektřiny a tepla během roku

Moderní kogenerační jednotky dokáží vyrábět energii s účinností až 90 %, přičemž poměr výroby využitelné energie mezi elektřinu a teplo je v poměru přibližně 45 a 55 %. Při těchto předpokladech by bylo možné s ohledem na maximální využití vyrobené elektrické a tepelné energie instalovat kogenerační jednotku o výkonu 250 kW.

Instalace kogenerační jednotky však má i spoustu nevýhod, kvůli kterým není tato technologie v areálu kolejí instalována. Z technických důvodů je kogenerace spojena především se spalováním paliv ve spalovacích motorech, které při spalování paliva produkují značné množství znečišťujících látek a nečistot. Dalším, však řešitelným problémem je hlučnost kogenerační jednotky, která by při umístění v jedné z kotelen areálu musela být zvláště

odhlučněna. Dalším aspektem může být zvyšující se závislost areálu na spotřebě zemního plynu, jehož cena je v současné době nejistá. [6]

### 1.13.2 Fotovoltaická elektrárna

Druhou variantou výroby elektrické energie v rámci areálu studentských kolejí je produkce elektřiny pomocí vlastních fotovoltaických panelů. Na rozdíl od kogeneračních jednotek je elektrická energie produkována pomocí přeměny slunečního záření dopadajícího na povrch fotovoltaických částí panelů. Díky tomu přináší instalace fotovoltaické elektrárny bezemisní výrobu elektřiny a částečnou míru nezávislosti na dodávce paliv. Navíc je tuto variantu díky absenci pohyblivých částí možno provozovat bezhlučně a pouze s velmi nízkými nároky na údržbu.

Jistým problémem však v případě intermitentních zdrojů, mezi které patří i fotovoltaické elektrárny může být nepravidelnost a značná neovlivnitelnost výroby elektrické energie. Proto je při návrhu fotovoltaické elektrárny nutno spotřebu a výrobu v aktuálním čase porovnat a zjistit tak skutečné využití vyrobené elektrické energie. Návrh je případně možno doplnit o akumulaci elektrické energie pomocí bateriových úložišť či odporový ohřev teplé vody.

Z výše popsaných srovnání možných variant se pro výrobu elektrické energie v rámci areálu kolejí Strahov jako výhodnější řešení jeví instalace fotovoltaické elektrárny. Tento způsob výroby bude popsán a navrhován i v následujících kapitolách práce.



## KAPITOLA 2: FOTOVOLTAICKÁ ELEKTRÁRNA

Fotovoltaický systém optimálně generující elektrickou energii je tvořen z několika základních komponentů. Základem fotovoltaických systémů jsou fotovoltaické panely, které samotnou elektrickou energii vyrábějí. Jednotlivé panely však musí být dále vzájemně propojeny tak, aby produkovaly energii o požadovaných hodnotách napětí a proudu. Napětí a proud vyráběné fotovoltaickým článkem jsou stejnosměrné. Elektrická energie je podle potřeby využívána přímo v místě instalace fotovoltaických panelů nebo je za určitých podmínek dodávána do distribuční sítě. Spotřeba elektrické energie objektů i distribuční síť jsou však ve většině případů uzpůsobeny pro veličiny střídavé, a proto je potřeba stejnosměrné napětí a proud, které fotovoltaické panely generují přeměnit na veličiny střídavé. Tuto funkci zajišťuje měnič neboli střídač. Kvůli bezpečnosti je nutné doplnit systém o různé druhy elektrických ochrany. Dále je možné k systému fotovoltaické elektrárny připojit systémy akumulace do různých forem energií a různé další přístroje vylepšující účinnost či bezpečnost fotovoltaické elektrárny.

Pro co nejefektivnější využití elektrické energie vyrobené fotovoltaickými panely je velmi důležité vytvořit vhodný návrh fotovoltaické elektrárny. Výrobu elektrické energie a její využitelnost ovlivňuje kromě výběru základních prvků fotovoltaické elektrárny také jejich dimenzování, propojení a řada dalších parametrů jako například orientace a sklon fotovoltaických panelů, jejich rozmístění, výběr plochy vhodné pro instalaci, stínění a mnoho dalších. Jednotlivé části systému fotovoltaické elektrárny včetně parametrů návrhu jsou popsány v následujících kapitolách práce.

### 2.1 Fotovoltaické panely

Fotovoltaické panely jsou základní částí fotovoltaické elektrárny, která přeměňuje energii dopadajícího slunečního záření na energii elektrickou. Tyto panely obsahují fotovoltaické moduly, které se skládají z jednotlivých fotovoltaických článků. Jejich základem jsou polovodičové diody s PN přechodem, které jsou složeny ze dvou vrstev rozdílných typů polovodičů (P a N).

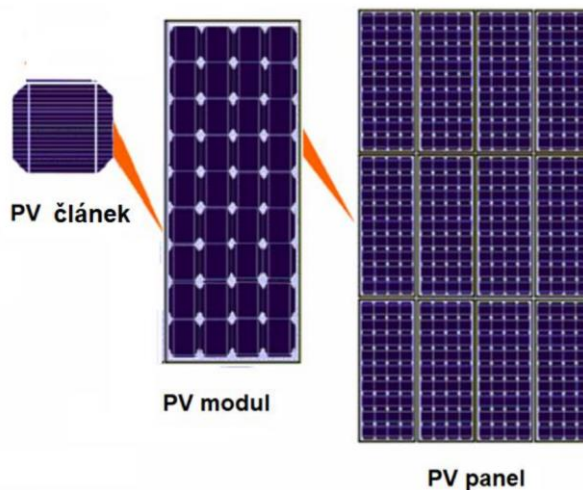
#### 2.1.1 Princip přeměny energie pomocí fotovoltaických panelů

Dopadem fotonů na povrch fotovoltaického článku dochází k jejich absorpci a předání energie částicím materiálu, při které jsou (při dodání dostatečně velké energie) z krystalické mřížky uvolňovány elektrony. Volné elektrony se nahromadí ve vrstvě N, díry pak ve vrstvě P. *„Tímto způsobem se oblast typu N nabíjí záporně a oblast typu P nabíjí kladně tak, že na osvětleném polovodiči s přechodem PN vzniká fotovoltaické napětí.“*[7]

Napětí a výkon na ozářeném fotovoltaickém článku jsou však velmi malé a pro praktické využití téměř nepoužitelné. Z tohoto důvodu se fotovoltaické články sériově propojují do modulů, což zvyšuje hodnotu jejich výstupního napětí. Výkon článků je závislý zejména na velikosti jejich plochy. Z těchto modulů jsou následně tvořeny fotovoltaické panely. Typický fotovoltaický panel je v současné době tvořen 60 až 72 fotovoltaickými články zapojenými v sérii. Pro zvýšení výstupního proudu je možné panely zapojit v paralelní kombinaci.

Dalším důvodem pro spojování jednotlivých článků do funkčních částí je jejich ochrana vůči vnějšímu prostředí. Fotovoltaické moduly musí být odolné proti větru, dešti, případně vlhkosti, prachu nebo mechanickému namáhání. Z tohoto důvodu jsou spojovány a zapouzdřovány do

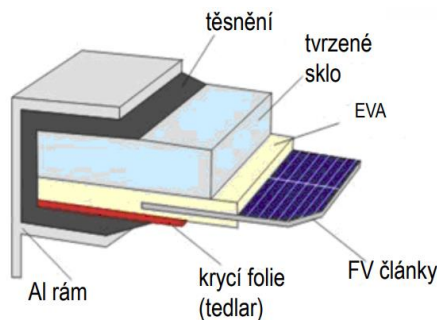
odolné konstrukce. Konstrukci fotovoltaického panelu tvoří z přední strany tvrzené sklo. Na skle jsou umístěny dvě vrstvy plastové EVA fólie, mezi kterými se nacházejí propojené fotovoltaické články. Panel je na spodní části uzavřen zadní krycí fólií. Následně jsou fotovoltaické moduly vsazeny do hliníkové konstrukce. [8]



Obrázek 2-1: Ukázka skladby FV pole z FV modulů a skladby FV modulu z FV článků [9]



Obrázek 2-2: Schéma zapojení FV modulů [10]



Obrázek 2-3: Struktura FV modulu s články z krystalického křemíku [7]

## 2.1.2 Výkonové charakteristiky fotovoltaických článků

Grafickou závislost proudu na napětí fotovoltaického panelu při určitých pracovních podmínkách znázorňuje V-A charakteristika. Na tvar V-A charakteristiky má vliv především ozáření a teplota měřeného fotovoltaického panelu, které ovlivňují hodnoty proudu nakrátko ( $I_{sc}$ ) a napětí naprázdno ( $U_{oc}$ ). Výkon, který je fotovoltaický panel schopen vyrábět je pak součinem proudu a napětí v určitém pracovním bodě. Nejvyššího výkonu dosahuje panel v bodě maximálního výkonu (MPP), kdy je součin proudu a napětí maximální.

Jmenovitý výkon fotovoltaického panelu je hodnota změřená v bodě maximálního výkonu. Výrobci jmenovitý výkon fotovoltaických panelů udávají v tzv. špičkovém výkonu, jehož jednotkou je Wattpeak (Wp). Jedná se o hodnotu elektrického výkonu, kterou je panel schopen vyprodukovat za standardizovaných podmínek – STC<sup>1</sup>. Díky tomu je snadné fotovoltaické panely výkonově porovnávat. Skutečný výkon však závisí především na skutečných klimatických a provozních podmínkách, ve kterých se fotovoltaické panely nacházejí.

### 2.1.3 Účinnost fotovoltaických článků

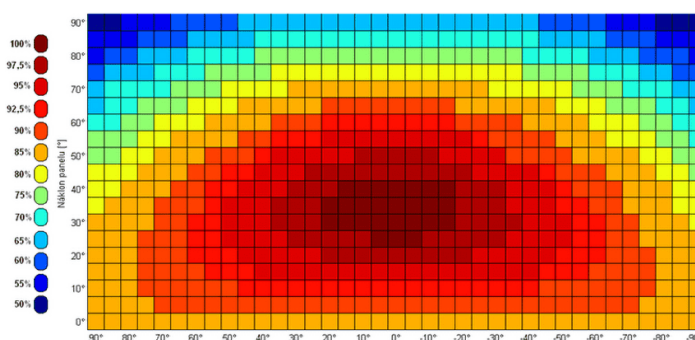
Účinnost fotovoltaických článků je podíl mezi elektrickým výkonem dodávaným fotovoltaickým článkem a sluneční energií dopadající na jeho plochu. Udává tedy efektivitu přeměny sluneční energie na elektrickou. Hodnoty účinnosti klasických monokrystalických fotovoltaických článků se pohybují v rozmezí 18 až 23 %. Trh s fotovoltaickými články je však v poslední době velmi progresivní a účinnosti článků tak s novými technologiemi postupně roste.

Účinnost fotovoltaických panelů je pak o jednotky procent nižší z důvodu ztrát způsobených odrazem světla od krycích vrstev článků. [11]

### 2.1.4 Orientace a sklon

#### 2.1.4.1 Vliv orientace a sklonu na výkon

Velmi zásadní vliv na výrobu fotovoltaických elektráren a její rozložení během dne má orientace modulů vůči světovým stranám a úhel jejich sklonu. Pro maximální využití dopadajícího slunečního záření by bylo nutné použít pohyblivou konstrukci fotovoltaických panelů, která mění sklon a orientaci tak, aby sluneční záření dopadalo vždy kolmo na plochu panelů. Problémem při instalaci těchto konstrukcí na budovách je však silné namáhání větrem a změna architektonického vzhledu budovy. Proto se na většině budov instalují fotovoltaické panely s pevnou orientací a sklonem. [12]



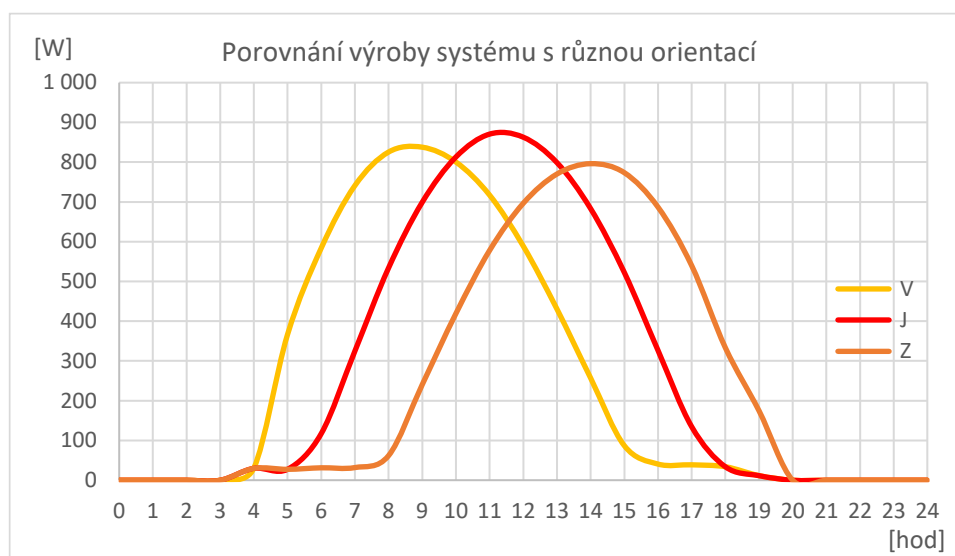
Obrázek 2-4: Vliv orientace a sklonu FV panelu na produkci elektrické energie<sup>2</sup> [21]

<sup>1</sup> Standardní testovací podmínky – STC, za kterých jsou charakteristiky fotovoltaických panelů měřeny je intenzita záření 1 000 W/m<sup>2</sup>, spektrum AM1,5 Global a teplota panelu 25 °C.

<sup>2</sup> Na vodorovné ose znázorněna orientace panelů v rámci světových stran. Na svislé ose je pak uveden sklon panelů (0 ° je jih, 90 ° je západ)

Optimální orientací pevně natočených fotovoltaických panelů je orientace na jižní stranu. V případě odchylky o 30° od jižní strany se snižuje účinnost fotovoltaických panelů o 5 až 10 %. Orientací fotovoltaických panelů na západní stranu lze posunout produkci maximálního výkonu do odpoledních hodin. Opačnou, východní orientací pak lze dosílit opačného efektu, tedy přesunutí hlavní části denní produkce vyrobené elektrické energie do hodin dopoledních. [13]

Pro Českou republiku pak nejvyšší výtěžnosti elektrické energie dosahují moduly se sklonem 35°. Menší sklon fotovoltaických panelů zvyšuje solární výkon v letních měsících, zvýšení sklonu pak přináší mírné zvýšení výkonu v měsících zimních. [12] Vyšší sklon fotovoltaiky přináší také lepší samočistící schopnost od napadaného sněhu či jiných nečistot.



Obrázek 2-5: Porovnání výroby systémů s jižní, východní a západní orientací (1 kW, 35°)

Z grafu porovnávajícího produkci různě orientovaných fotovoltaických panelů je patrné, že při vychýlení jejich orientace od jižní polohy klesá i jejich maximální produkovaný výkon. Dále je při východní orientaci v letních měsících výkon panelů nepatrně vyšší než v případě orientace západní. Tento rozdíl je způsoben vyšší teplotou venkovního vzduchu, ve kterém fotovoltaické panely pracují, a tedy i zhoršenou účinností v odpoledních hodinách.

#### 2.1.4.2 Způsoby instalace podle orientace a sklonu fotovoltaických panelů

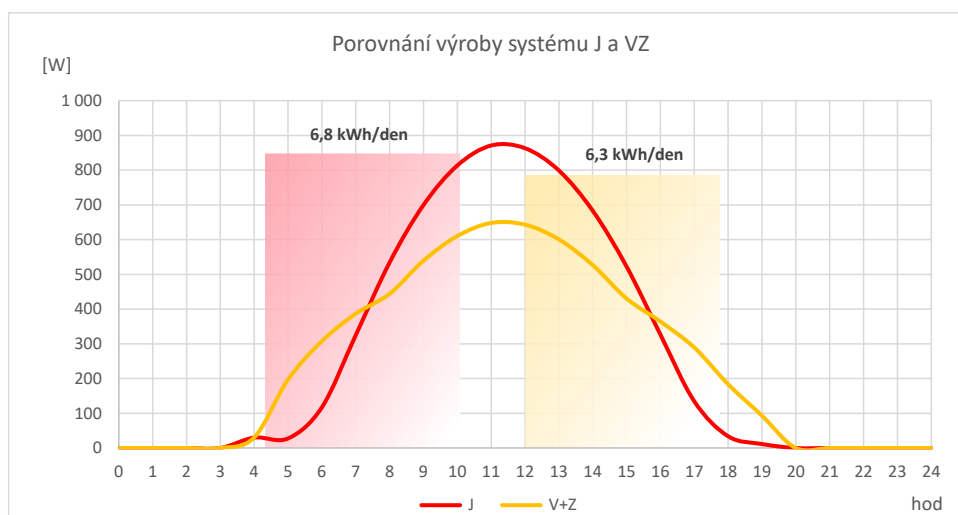
Jak je patrné z předchozí kapitoly, orientace a sklon fotovoltaických panelů velmi výrazně ovlivňuje profil výroby elektřiny během dne i během celého roku. Při pevné instalaci fotovoltaických panelů je jejich umístění neměnné, a proto je důležité zvolit správnou orientaci a sklon fotovoltaických panelů už při jejich návrhu.

##### Jednostranně orientované panely

Nejčastějším způsobem instalace fotovoltaických panelů z hlediska jejich orientace je umístění panelů souhlasným směrem. Energeticky nejvýhodnější variantou je natočení panelů na jižní stranu, při které dochází k maximální denní produkci energie. V profilu výroby elektrické energie pak dochází k nejvyšším hodnotám výkonu v poledních hodinách. Dalšími častými orientacemi fotovoltaických panelů jsou orientace západní a východní.

## Stříšky východ – západ

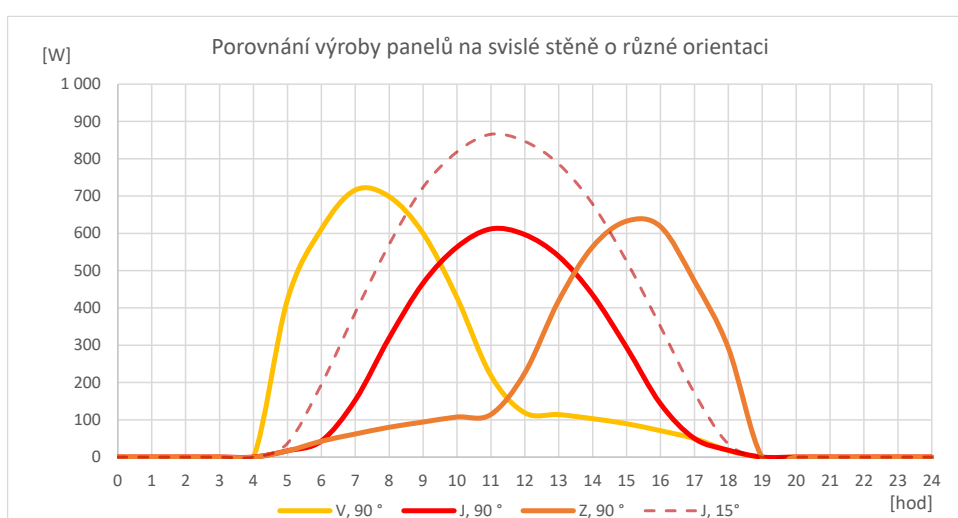
V poslední době se na střechách objektů stále častěji objevují fotovoltaické panely sestavené pomocí dvou orientací, východní a západní. Tento typ instalace přináší z hlediska produkce elektrické energie mnohem rovnoměrnější rozložení dodávky elektrické energie během dne s menším špičkovým výkonem v poledních hodinách. Celkově však vyprodukuje v porovnání s jižně orientovanými panely o 6 % méně elektřiny. V denním součtu se pak jedná o 0,4 kWh z celkových 6,8 kWh na 1 kWp instalovaného výkonu. [14]



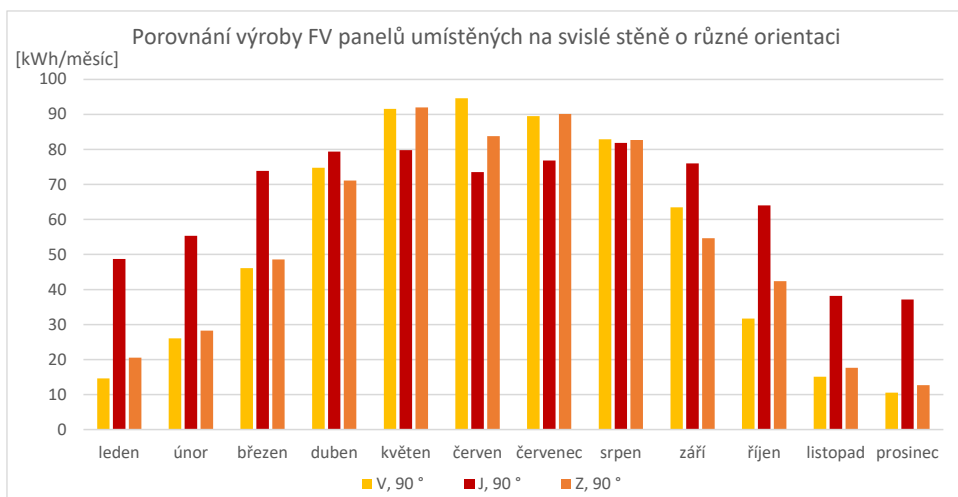
Obrázek 2-6: Porovnání výroby systémů s jižní a východozápadní orientací (1 kW, 35°)

## Fotovoltaické panely umístěné na fasádě

Dalším možným umístěním fotovoltaických panelů je fasáda objektu. Tento způsob instalace je vhodné volit v případech, kdy je výkon fotovoltaických panelů na střeše nedostatečný, případně střecha instalaci neumožňuje. Fotovoltaické panely instalované v kolmé poloze však mají oproti panelům s ideálním sklonem nižší hodnoty vyrobené energie. Pro zjištění míry negativního vlivu na výrobu elektrické energie a porovnání různých orientací vertikálně nakloněných panelů byla v programu PV\*SOL vytvořena simulace, jejíž výsledky jsou zobrazeny v následujících grafech a tabulkách.



Obrázek 2-7: Porovnání výroby FV panelů na svislé stěně s jižní, východní a západní orientací



Obrázek 2-8: Porovnání měsíční výroby 1kWp FV panelů na svislé stěně s jižní, východní a západní orientací

orientace, sklon FV panelu	roční vyrobená elektřina [kWh]
V, 90°	641
J, 90°	785
Z, 90°	644
J, 15°	1 080

Tabulka 2-1: Roční elektřina z 1 kWp FV panelů se sklonem 90° s jižní, východní a západní orientací

Z výsledků simulace je patrné, že nejvyšší roční výtěžnosti a nejrovnoměrnější výroby elektrické energie v průběhu roku dosahují fotovoltaické panely s jižní orientací. I tak však oproti stejně orientovaným panelům s klasickým sklonem (15°) dosahují o 27 % nižší roční elektrické výtěžnosti.

Z hlediska denních profilů výroby se však vertikálně instalované fotovoltaické panely zcela zásadně odlišují v závislosti na orientaci a roční době. V průběhu zimních a přechodných měsíců dosahují vyšší denní výtěžnosti jižně orientované panely, v průběhu letních měsíců naopak panely orientované východním a západním směrem. Maximálního výkonu vyráběné energie dosahují fotovoltaické panely v závislosti na jejich orientaci v ranních, poledních či odpoledních hodinách.

## 2.1.5 Provozní teplota

Fotovoltaické panely při svém provozu pracují za podmínek značně odlišných od podmínek testovacích, za kterých jsou výrobcem udávány instalované výkony fotovoltaických panelů. Panely jsou ohřívány dopadajícím slunečním zářením a jejich pracovní teplota tak roste. Dalšími vlivy ovlivňujícími pracovní teplotu fotovoltaických panelů je venkovní teplota, tepelný odpor modulu nebo rychlost proudění okolního vzduchu. S rostoucí povrchovou teplotou fotovoltaických panelů klesá, při stejném výkonu dopadajícího slunečního záření, výkon fotovoltaického panelu a tím i jeho účinnost. [7]

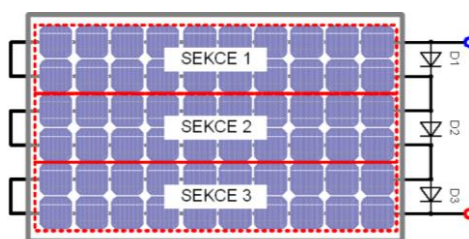
Pro přepočítání výkonu při měnících se pracovních teplotách fotovoltaického panelu je udáván teplotní koeficient výkonu, který znázorňuje změnu výkonu panelu při změně pracovní teploty o 1 K. U monokrystalických fotovoltaických panelů se tato hodnota pohybuje kolem hodnoty - 0,4 %/K, u tenkovrstvých panelů je tato hodnota zhruba poloviční. [11]

Výkon fotovoltaických článků je udáván při teplotě článků za nominálních provozních podmínek neboli NOCT. Tato teplota se měří při intenzitě záření  $1\,000\text{ W/m}^2$ , teplotě okolního vzduchu  $20\text{ }^\circ\text{C}$ , rychlosti větru  $1\text{ m/s}$  a při volném přístupu vzduchu k zadní straně panelu.<sup>3</sup>

## 2.1.6 Stínění

Při návrhu fotovoltaické elektrárny je nutné brát zřetel také na stínění fotovoltaických panelů, které může negativně ovlivňovat výkon fotovoltaického systému. Stínění střešních fotovoltaických elektráren je nejčastěji způsobeno okolní zástavbou, stromy, komíny či střešními objekty vyčnívajícími z povrchu střechy. Tento typ stínění nazýváme lokální stínění.

Vliv zastínění části fotovoltaického pole na výkon celého fotovoltaického systému závisí především na tom, jak jsou jednotlivé panely navzájem propojeny. Tento vliv lze odvodit ze samotného principu fungování a zapojení fotovoltaických panelů, který již byl popsán v předchozích kapitolách této práce. Fotovoltaický panel se skládá z jednotlivých fotovoltaických článků, které jsou vzájemně sériově propojeny. Fotovoltaické panely jsou následně opět sériově propojeny do jednotlivých řetězců (*stringů*), které jsou paralelně připojeny k napěťovému střídači. Proud protékající řetězcem určuje nejméně generující fotovoltaický článek. Pokud je tedy řetězec sériově zapojených článků ovlivněn lokálním stíněním, výkon celého stringu bude po dobu stínění výrazně omezen. Z tohoto důvodu jsou využívány překlenovací, tzv. *bypass* diody. Tyto diody přemostují část fotovoltaických článků, chrání je proti nadměrnému přehřívání vlivem částečného zastínění či poruchy a pomáhají omezit vliv ztráty výkonu zastíněných fotovoltaických článků na celkovém výkonu panelu. Bypass dioda většinou přemostuje třetinu fotovoltaického modulu.



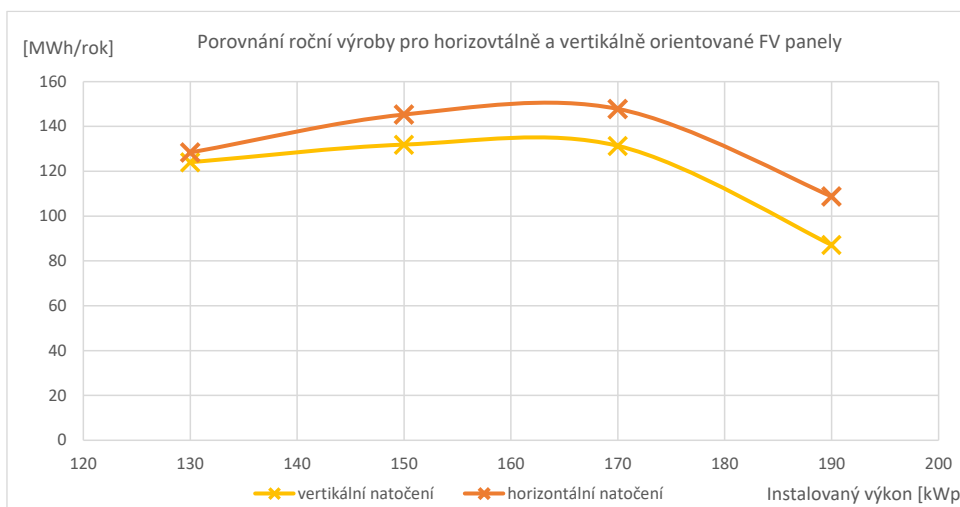
Obrázek 2-9: Schématické zapojení typického FV modulu se 3 bypass diodami [15]

Další stíny snižující výkon fotovoltaické elektrárny mohou mít za příčinu samotné fotovoltaické panely stojící v řadě před panely zastíněnými. Tento jev je nazýván jako vlastní stínění. Postihuje panely instalované v rámech na rovné ploše, a to zejména v ranních nebo odpoledních hodinách, kdy je výška slunce nad obzorem nejnižší. Vlastní stínění lze minimalizovat vhodným návrhem úhlu sklonu fotovoltaických panelů a odstupem jednotlivých řad. Při návrhu odstupem je uvažován návrhový úhel. Jedná se o nejmenší úhel osvětlení, při kterém nedochází k vlastnímu stínění jednotlivých řad fotovoltaických panelů. Reakci panelu na vlastní stínění také ovlivní, zda jsou panely instalovány ve vertikální nebo horizontální poloze. Díky bypass diodám mohou horizontálně orientované panely vyrábět elektrickou energii z nezastíněných sekcí panelu. Naopak vertikálně instalované panely mají při vlastním stínění podlouhlým stínem zasaženy

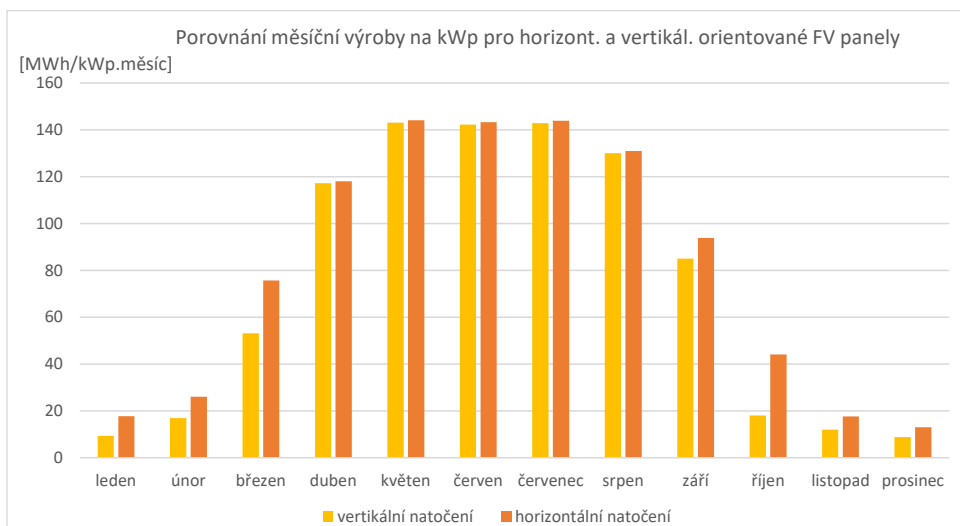
<sup>3</sup> Hodnoty teplotního koeficientu výkonu i teploty článků za nominálních provozních podmínek jsou uvedeny v produktovém listu fotovoltaických panelů.

všechny oddělené sekce a jejich produkce je tak daleko více omezena. Skutečnost je zobrazena na obrázku 2-12.

Pro ověření výše popsaných poznatků byla v programu PV\*SOL vytvořena simulace porovnávající celkovou roční vyrobenou energii horizontálně a vertikálně instalovaných half-cut fotovoltaických panelů. Jednotlivé instalace o různém celkovém instalovaném výkonu, pomocí kterého byly měněny rozestupy jednotlivých řad, a tedy i úrovně vlastního stínění byly sestaveny na ploše 1 000 m<sup>2</sup> pro jižně orientované panely se sklonem 15 °. Výsledek simulace je znázorněn na následujícím obrázku. Z toho je patrné, že vyšších hodnot vyrobené elektrické energie při stejných instalovaných výkonech fotovoltaických elektráren dosahují panely s horizontálním natočením. Zároveň tento typ instalace poskytuje oproti instalaci vertikální příznivější průběh a vyšší množství vyrobené elektrické energie v zimních a přechodných měsících.



Obrázek 2-10: Srovnání roční výroby horizontál. a vertikál. FV panelů pro různé instalované výkony<sup>4</sup>

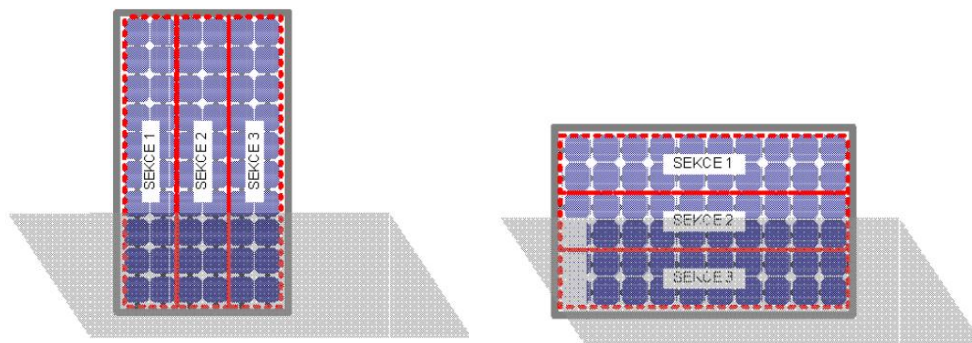


Obrázek 2-11: Srovnání měsíční výroby elektrické energie na kWp pro horizontál. a vertikál. FV panely

<sup>4</sup> FV panely jsou o různém instalovaném výkonu instalovány na ploše 1 000 m<sup>2</sup>

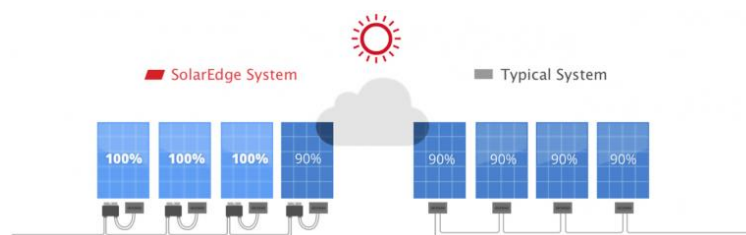


Výkon fotovoltaického panelu snižuje také jeho případné znečištění, prach nebo vrstva sněhu, které zabraňují dopadu slunečního záření, a tedy i maximální výrobě elektrické energie. S těmito faktory je nutné počítat zejména u panelů s nižším sklonem. U panelů se sklonem přesahujícím 15° dochází k tzv. samočisticímu efektu a plocha panelů je čištěna a omývána odtékající dešťovou vodou. [21]



Obrázek 2-12: Průběh stínu při vlastním stínění pro horizontální (vlevo) a vertikální (vpravo) instalaci fotovoltaického panelu [15]

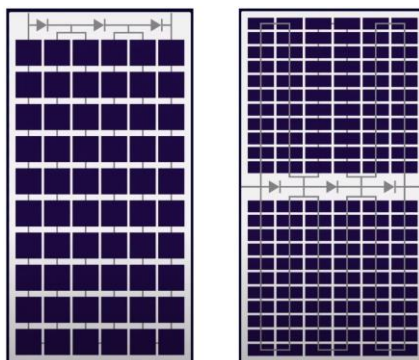
Jedním z možných řešení omezení negativního vlivu lokálního stínění se zdá být osazení stíněných fotovoltaických panelů výkonovými optimizéry. Jedná se o zařízení umístěné na spodní části panelu. Výkonový optimizér vytvoří okolo zastíněného panelu tzv. přemostovací tunel, kterým je veden elektrický proud, který by byl jinak omezen méně osvětleným panelem. Z každého panelu je pak získáván maximální možný elektrický výkon a ztrátou výkonu tak není omežován výkon všech sériově zapojených panelů. Výkon stíněného panelu je optimalizován sledováním bodu maximálního výkonu MPPT. Výkonový optimizér však najde využití nejen u stíněných panelů, avšak i u panelů s nižším instalovaným výkonem, odlišnou orientací či panelů s jiným stářím nebo jinou úrovní poškození. Osazení vybraných panelů výkonovými optimizéry může ve vybraných případech zásadně ovlivnit návratnost investice do fotovoltaické elektrárny. [16]



Obrázek 2-13: Příklad využití výkonového optimizéru při lokálním stínění jednoho fotovoltaického panelu [16]

Zmírnění negativního vlivu stínění, ať už vlastního či lokálního můžeme docílit také instalací tzv. half-cut fotovoltaických panelů. Jedná se o fotovoltaické panely s dvojnásobným počtem půlených fotovoltaických článků poloviční velikosti. Tento systém přináší díky nižšímu protékajícímu proudu jednotlivými půlčlánky nižší energetické ztráty, než je tomu u běžných fotovoltaických panelů. Dále tyto fotovoltaické články dokáží zmírnit dopad stínění a lokální stíny tak ovlivní pouze polovinu článků v porovnání s klasickými panely. Při vertikální instalaci dokáží half-cut panely značně snížit ztrátu vlastním stíněním panelů. [17]

Schématické zapojení klasického a half-cut fotovoltaického panelu je znázorněno na následujícím obrázku.



Obrázek 2-14: Schématické elektrické zapojení klasického a half-cut fotovoltaického panelu [18]

## 2.1.7 Typy fotovoltaických panelů

Při optimálním návrhu fotovoltaické elektrárny je třeba dbát také na výběr správného typu fotovoltaických panelů. Různé typy fotovoltaických panelů se liší nejen technologickými postupy jejich výroby, avšak značné rozdíly jsou zaznamenány i v jejich parametrech. „Ideální panel by měl mít především co nejvyšší účinnost, která by nezávisela ani na teplotě, ani na intenzitě osvětlení. Kromě toho by panel nedegradoval, obešel by se bez údržby, byl co nejlehčí, a přitom pevný a odolný.“ [19] Takovéto fotovoltaické panely však v dnešní době vyráběny nejsou a při jejich výběru je tedy nutno zvážit výhody jednotlivých typů.

### 2.1.7.1 Monokrystalické fotovoltaické panely

Nejrozšířenějším typem fotovoltaických panelů jsou panely vyráběné z monokrystalických článků. Základem těchto článků jsou křemíkové destičky vzniklé řezáním tenkých plátků z krystalu křemíku. Jejich výroba je tak velmi náročná a finančně nákladná. [7] Panely tvořené monokrystalickými články jsou v současné době nejrozšířenějšími panely, které jsou používány při instalaci fotovoltaických elektráren. Ze všech komerčně prodávaných panelů disponují při ideální orientaci vůči slunci také nejvyšší hodnotu účinnosti, mají největší elektrický výkon na jednotku plochy a k pokrytí požadované spotřeby je zapotřebí nejmenší instalační plocha. Tento typ panelů je hojně využíván pro instalace s omezenou plochou a možností umístění v optimální orientaci vůči slunci. [20]

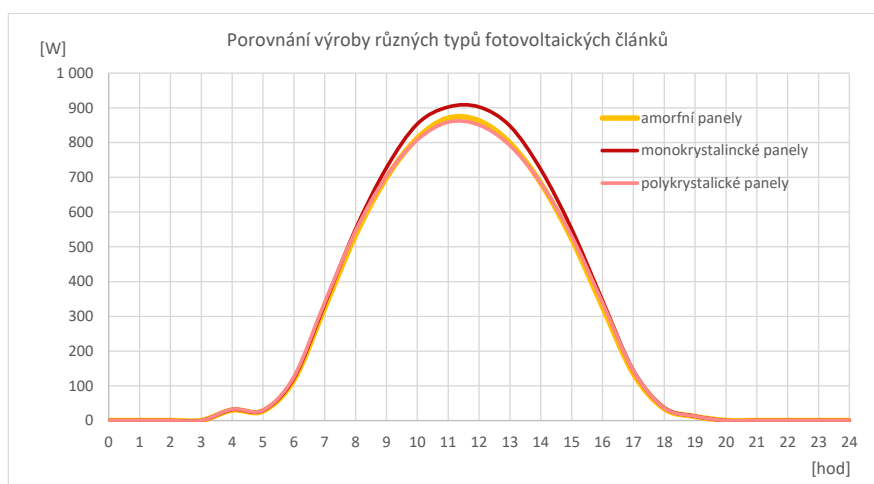
### 2.1.7.2 Polykrystalické fotovoltaické panely

Díky snaze snížit cenu vstupního křemíkového materiálu byly vyvinuty články polykrystalické. Bloky, ze kterých jsou destičky křemíku pro výrobu fotovoltaických článků řezány, jsou vyrobeny z více krystalů vzniklých řízeným tuhnutím taveniny křemíku. [7] Oproti monokrystalickým fotovoltaickým článkům mají jednodušší a levnější výrobu. Díky své struktuře polykrystalické články také lépe zachycují rozptýlené a odražené sluneční paprsky, případně paprsky přicházející z ostrých úhlů. Díky těmto vlastnostem poskytují stabilnější výkon během zimních a přechodných období s nižším dobou slunečního svitu a vyšší oblačností. Na druhou stranu disponují polykrystalické fotovoltaické panely nižší účinností a nižším špičkovým výkonem. Při návrhu panelů je tedy vhodné porovnat požadovaný výkon fotovoltaických panelů s povrchem plochy, která je pro instalaci panelů k dispozici. [20]

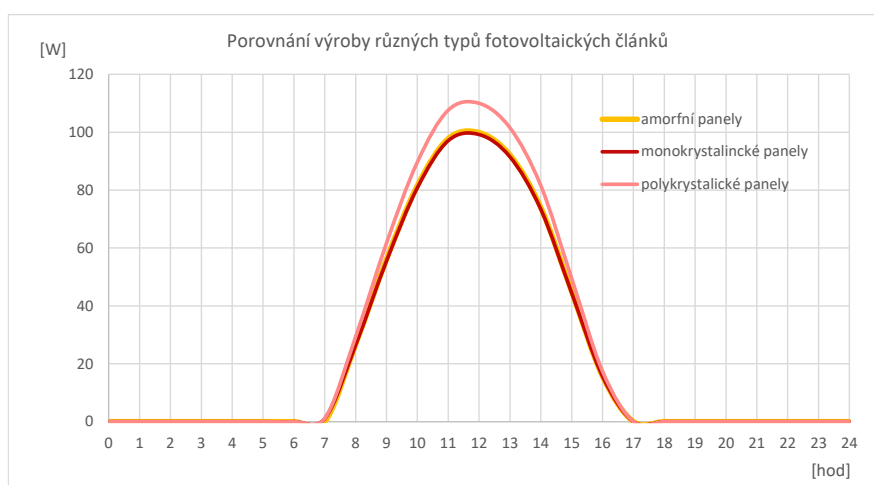
### 2.1.7.3 Tenkovrstvé fotovoltaické panely

Zcela odlišnou technologií výroby, a tedy i rozdílné vlastnosti přinášejí tenkovrstvé fotovoltaické panely. Výroba tenkovrstvých článků probíhá pomocí nanesení velmi tenké vrstvy polovodičového materiálu na pevnou podložku. Tou může být například sklo nebo plast. Tloušťka polovodičové vrstvy je v řádu několika  $\mu\text{m}$ . Díky této technologii je možno uspořit velké množství materiálu a vyrábět tak panely za nižší cenu. [7] Zároveň však mají tenkovrstvé panely vysokou tvarovou přizpůsobivost a lze je proto využít jako integrované solární panely v budovách. Vysoká je také jejich citlivost na intenzitu slunečního záření a odražené světlo. Elektrickou energii tak vyrábí i za horších světelných podmínek či oblačnosti. Jejich instalace tak opět přinese stabilnější výkon v obdobích s nižší úrovní osvětlení panelů nebo v ranních či odpoledních hodinách. Navzdory uvedeným benefitům mají tenkovrstvé panely z uvedených panelů nejnižší účinnost. Pro dosažení stejného výkonu jako u klasických fotovoltaických článků je při jejich instalaci potřeba zhruba 2,5x větší plocha. Dalším otázníkem při pořizování tohoto typu fotovoltaických panelů může být jejich životnost, která je v porovnání s ostatními druhy panelů nejnižší.

Velkou výhodou tenkovrstvých fotovoltaických panelů je však jejich nízká hmotnost. Proto se tento typ fotovoltaických panelů hodí na povrchy, na kterých by ostatní typy panelů příliš zatěžovaly nosnou konstrukci objektu.



Obrázek 2-15: Porovnání výroby různých typů FV panelů o 1 kWp se sklonem 35° pro slunečný letní den

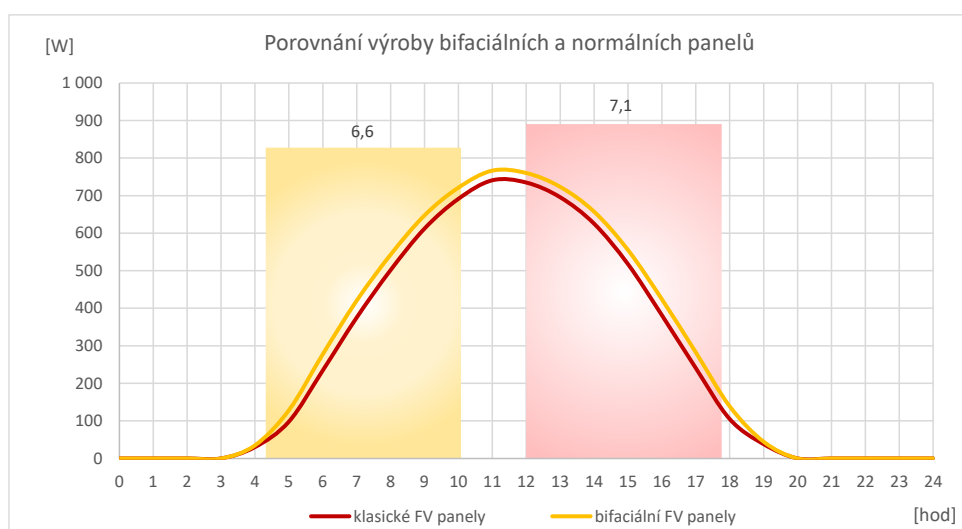


Obrázek 2-16: Porovnání výroby různých typů FV panelů o 1 kWp se sklonem 35° pro oblačný zimní den

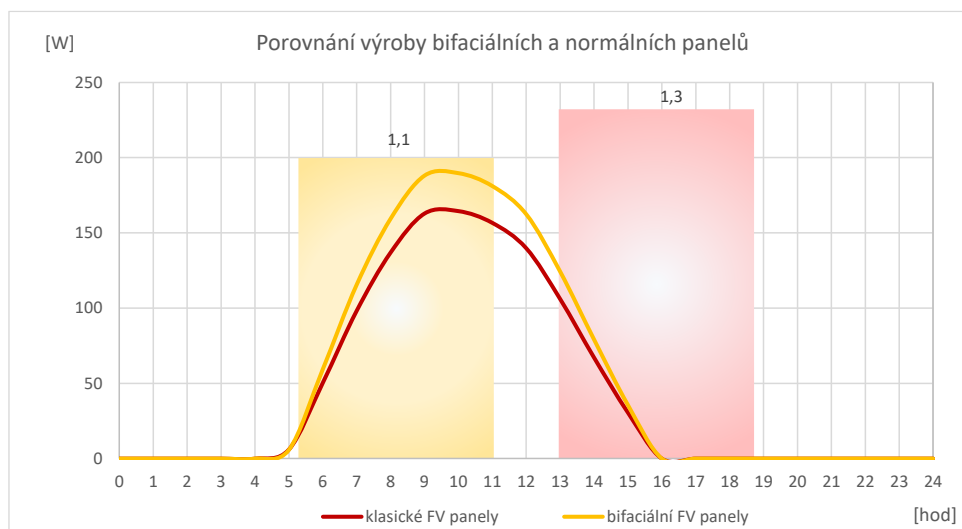
Porovnávané fotovoltaické panely jsou vybrány z běžně dostupných panelů. Parametry a cena tak odpovídají aktuálním podmínkám vyskytujícím se na trhu s fotovoltaickými komponenty.

#### 2.1.7.4 Bifaciální fotovoltaické panely

Bifaciální neboli oboustranné fotovoltaické panely jsou schopny přeměňovat sluneční energii na energii elektrickou na vrchní i spodní ploše panelu. Díky větší dopadající ploše dokáží při správném umístění vyrobit větší množství energie. Při klasických způsobech instalace však na spodní stranu panelu dopadá jen velmi malé množství odraženého slunečního světla a fotovoltaické panely tak nedokáží zcela využít veškerou užitnou plochu. Z provedené simulace následně vyplývá, že oproti běžným fotovoltaickým panelům dokáží ve slunečných dnech zvýšit energetické zisky o 7,5 %, ve dnech oblačných o 18 %. Zároveň však tento typ panelů disponuje výrazně vyšší hmotností a na střešní konstrukci tak působí výrazně vyšší hodnotou zatížení.



Obrázek 2-17: Porovnání výroby FV panelů s bifaciálními panely o 1 kWp se sklonem 35° pro slunečný letní den



Obrázek 2-18: Porovnání výroby FV panelů s bifaciálními panely o 1 kWp se sklonem 35° pro oblačný zimní den

## 2.1.8 Návrh

U většiny investic do fotovoltaických elektráren umístěných na obálkách budov je hlavní motivací snížení vlastní spotřeby energií a dosažení maximálních finančních úspor. Fotovoltaické elektrárny jsou proto navrhovány nejen s ohledem na maximální energetický výnos zastavěné plochy, ale také s účelem co nejvíce přizpůsobit profil výroby elektrické energie diagramu spotřeby objektu. A právě vhodné rozestupy řad fotovoltaických panelů, jejich natočení nebo sklon může, zejména při instalaci panelů na ploché střeše zcela zásadně ovlivnit profil výroby elektrické energie a tím zvýšit její soudobost se spotřebou energií. Z tohoto důvodu má geometrie fotovoltaických panelů schopnost nejenom efektivněji využít omezenou instalační plochu, ale také ovlivnit provozní úspory či snížit investiční náklady fotovoltaické elektrárny.

Zcela zásadní pro návrh dalších kritérií a geometrie fotovoltaických panelů je volba plochy, na které budou fotovoltaické panely instalovány. Podle velikosti plochy je pak ovlivněn i instalovaný výkon jednotlivých panelů tak, aby dokázaly vyrobit takové množství elektrické energie, které co nejlépe splní požadavky investora. Skutečný elektrický výkon však nezávisí pouze na celkovém instalovaném výkonu fotovoltaických panelů, avšak také na dalších parametrech jako jsou sklon, stínění a další. Tyto parametry a jejich vlivy na výkon elektrárny byly popsány v předchozích kapitolách diplomové práce.

Vhodnými plochami pro instalaci fotovoltaické elektrárny budov mohou být ploché střechy objektů, vhodně orientované šikmé střechy nebo například fasády objektů. Zvláštní, architektonicky elegantní variantou je pak integrace fotovoltaických článků do obálky budovy. Zcela nové možnosti mohou přijít s vydáním zákona o komunitní energetice, umožňující pro distribuci vyrobené elektrické energie využití veřejné distribuční sítě. Díky tomu by bylo možné instalovat fotovoltaické panely například na nevyužitých plochách brownfieldů a využívat vyrobenou energii ve vzdálených objektech, či sdílet vyrobenou elektrickou energii mezi jednotlivými objekty.

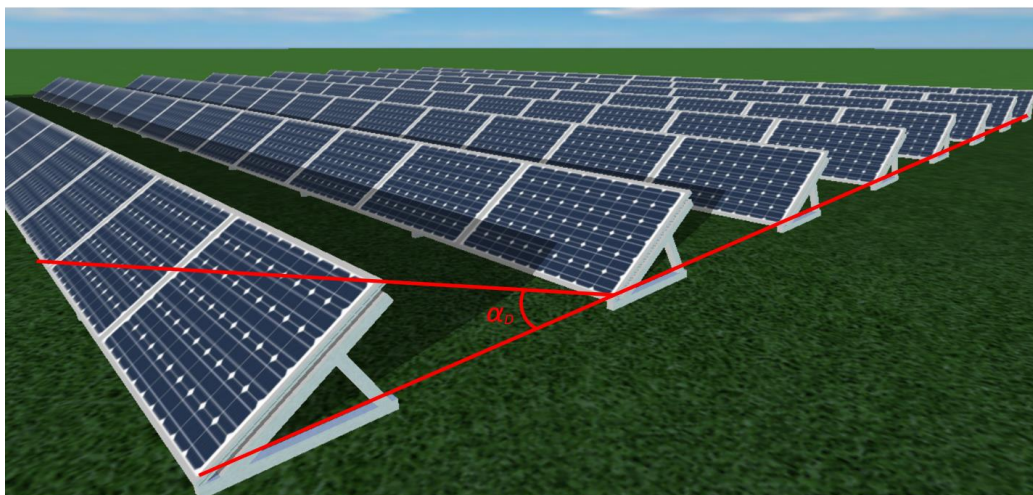
### 2.1.8.1 Geometrie fotovoltaických panelů na rovné ploše

U fotovoltaických elektráren stavěných na rovné ploše hraje velmi významnou roli sklon a vzájemná vzdálenost jednotlivých řad fotovoltaických panelů. Tyto parametry návrhu ovlivňují požadovaný instalovaný výkon fotovoltaické elektrárny i úroveň vlastního stínění panelů, které bude výrobu elektrické energie omezovat. U volby úhlů sklonu a vzdáleností řad fotovoltaických panelů se vychází z tzv. *návrhového úhlu*  $\alpha_D$ . Jedná se o nejmenší úhel dopadajících slunečních paprsků od vodorovné roviny, při kterém nedochází k vlastnímu stínění řad fotovoltaických panelů. Snížení rozestupů mezi jednotlivými řadami fotovoltaických panelů způsobí zvýšení návrhového úhlu a umožní zvýšit hustotu osazení plochy fotovoltaickými panely za cenu častějšího vlastního stínění fotovoltaických panelů a omezení celkové energetické výtěžnosti panelů. Ke snížení návrhového úhlu, a tedy i omezení vlastního stínění však vede snižování sklonu panelů, díky kterému je opět možno snížit úroveň vlastního stínění, či zvýšit hustotu instalovaného výkonu na jednotku plochy a efektivněji tak využít plochu určenou k instalaci fotovoltaické elektrárny. Nižší sklon fotovoltaické elektrárny také přináší více vyrobené energie v zimních měsících a rovnoměrnější profil roční výroby elektrické energie.<sup>5</sup> [15]

<sup>5</sup> Pozn.: Návrhový úhel  $18^\circ$  odpovídá úhlu dopadu slunečního záření v poledne zimního slunovratu.

K vlastnímu stínění fotovoltaických panelů dochází především při nízkých výškách slunce nad obzorem, jak bylo uvedeno v kapitole o stínění fotovoltaických panelů. Geometrie fotovoltaických panelů na rovné ploše ovlivní zejména výrobu elektrické energie v brzkých ranních či pozdních odpoledních hodinách, zvýrazní špičkový profil výroby elektrické energie a může tak mít výrazný vliv na soudobost výroby a spotřeby a velikost vlastního využití elektrické energie.

Se snižujícím se sklonem panelů klesá také plocha, do které se opírá vítr, což snižuje zatížení stavební konstrukce větrem, nároky na statiku objektu a náklady spojené s uchycením a zatížením konstrukce panelů. [21]

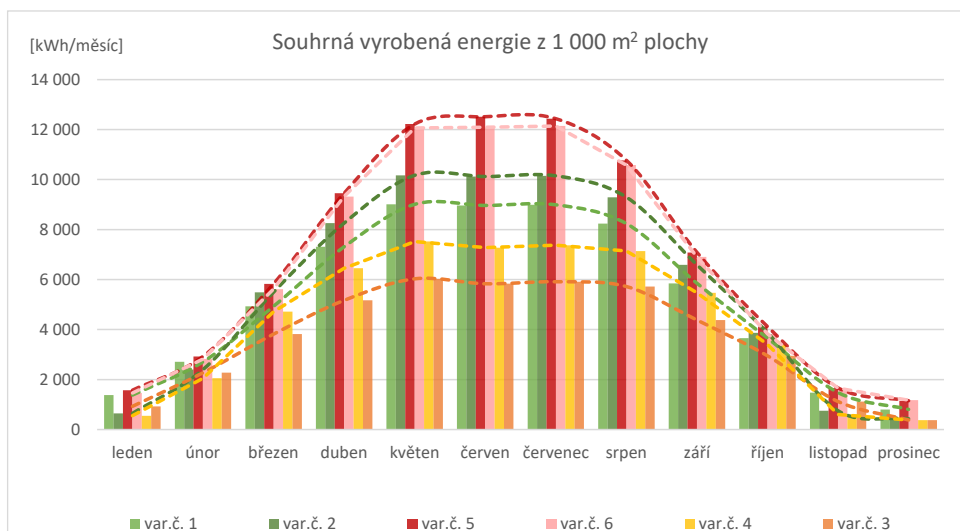


Obrázek 2-19: Znárodnění návrhového úhlu [1]

Míra vlivu geometrie fotovoltaických systémů na rovné ploše byla stejně jako předešlé simulace provedena v programu PV\*SOL. Simulováno bylo pět odlišných variant instalace lišících se v orientaci, sklonu a návrhovém úhlu panelů. Instalační plocha je u všech variant 1 000 m<sup>2</sup>, použity byly 200Wp fotovoltaické panely o rozměrech 1,640 x 0,990 m. Počet fotovoltaických panelů a jejich celkový instalovaný výkon se u jednotlivých variant liší s ohledem na zvolené parametry. Varianta č. 1 znázorňuje výrobu ideálně orientovaných fotovoltaických panelů s optimálním sklonem. Návrhový úhel 18 ° je zvolen tak, aby odpovídal úhlu dopadu slunečního záření v poledne zimního slunovratu, tedy 21. prosince. Ostatní varianty jsou voleny tak, aby za cenu zhoršení parametrů orientace, sklonu či zastínění, snižovali vzdálenosti mezi jednotlivými řadami a zvyšovaly celkový instalovaný výkon na zvolené ploše. Výsledky simulace jsou znázorněny v následující tabulce. V grafu jsou pak zobrazeny souhrnné měsíční energetické výnosy fotovoltaických elektráren v průběhu roku.

	var.č. 1	var.č. 2	var.č. 3	var.č. 4	var.č. 5	var.č. 6
<b>orientace</b>	J	J	J	J	V-Z	V-Z
<b>sklon</b>	15°	15°	35°	35°	15°	35°
<b>návrhový úhel</b>	18°	25°	18°	25°	-	-
<b>počet panelů [ks]</b>	330	390	240	300	480	552
<b>instalovaný výkon [kWp]</b>	66	78	48	60	96	110,4
<b>roční vyrobená el. energie [kWh/rok]</b>	63 322	68 158	44 544	52 944	81 733	79 674
<b>plocha FV panelů [m<sup>2</sup>]</b>	535,8	633,2	389,7	487,1	779,3	896,2
<b>poměr instalační plochy ku celkové ploše panelů</b>	54 %	63 %	39 %	49 %	78 %	90 %

Tabulka 2-2: Souhrnná vyrobená energie pro různé orientace a sklony FV panelů na jednotné ploše



Obrázek 2-20: Souhrnná vyrobená energie pro různé orientace a sklonů FV panelů na stejné ploše

Ze simulace je možné porovnat roční výroby elektrické energie. Z porovnání vyplývá, že nejvyšší roční výtěžnost elektrické energie ze zvolené plochy má varianta stříšek orientovaných východozápadním směrem. Z jižně orientovaných fotovoltaických panelů pak vyšších hodnot celkové vyrobené energie dosahují systémy s nižším sklonem, které umožňují instalaci většího množství fotovoltaických panelů s celkově vyšším instalovaným výkonem. Varianta jižně orientovaných panelů se sklonem 15 ° a návrhovým úhlem 25 ° dosahuje nejvyšší výtěžnosti energie v porovnání s ostatními jižně orientovanými panely v letních a přechodných měsících. V zimních měsících produkují nejvíce elektrické energie fotovoltaické panely s návrhovým úhlem 18 °.

Celková výtěžnost fotovoltaických panelů však není u fotovoltaických elektráren instalovaných na objektech za účelem snížení odběru elektrické energie ze sítě jediným a rozhodujícím faktorem. Pro optimální návrh je zcela zásadní soudobost výroby a spotřeby elektrické energie v objektu, která závisí na denních profilech výroby a spotřeby elektřiny. Výrobu elektrické energie fotovoltaickými panely lze opět ovlivnit jejich typem, orientací, sklonem či rozmístěním a omezením stínění panelů. Tyto parametry se budou pro každou variantu spotřeby, typu nebo způsobu instalace fotovoltaických panelů lišit a schopnost využití vyrobené elektrické energie bude v praktické části diplomové práce posuzována u jednotlivých navrhovaných variant.

## 2.2 Střídač

Dalším základním komponentem fotovoltaické elektrárny je elektrický střídač, též často nazývaný jako měnič nebo invertor. Úkolem střídače je přeměnit stejnosměrné napětí, které je výstupem z fotovoltaických panelů na střídavé síťové napětí, které je možné využít pro napájení klasických elektrických spotřebičů nebo k dodávce vyrobené elektrické energie do distribuční sítě. Elektrické střídače však elektrárně neposkytují pouze přeměnu parametrů vyráběné elektrické energie, avšak i funkce doplňkové jako například optimalizaci chodu fotovoltaických panelů, hlídání parametrů sítě, rozdělení vyrobené energie mezi jednotlivé spotřeby, monitoring a sběr dat nebo komunikaci elektrárny s uživateli. Princip a jednotlivé funkce střídače budou popsány v následujících kapitolách.

Střídač odděluje dvě strany fotovoltaické elektrárny, a to stranu stejnosměrnou (DC) a stranu střídavou (AC). Na stejnosměrné straně měnič řídí výrobu elektrické energie pomocí fotovoltaických panelů, případně akumulaci vyrobené elektrické energie do bateriových úložišť či zásobníků teplé vody. Na straně střídavé pak řídí dodávku elektřiny k vlastní spotřebě objektu a dodávku elektrické energie do distribuční sítě zajišťováním požadovaných parametrů napětí a frekvence. [22]

### 2.2.1 Princip

Napěťový střídač se skládá ze 4 tranzistorů zapojených v H můstku pro každou fázi. Při chodu střídače jsou pravidelně střídány tři základní stavy – všechny tranzistory jsou vypnuty, kdy je hodnota proudu na zátěži nulová a dva stavy, kdy jsou sepnuty vždy dva schematicky diagonálně zapojené tranzistory a obvodem protéká proud. Přepnutím dvojice tranzistorů se otočí směr toku proudu na zátěži a ze stejnosměrného průběhu proudu je vytvářen střídavý, obdélníkový průběh. Sinusový průběh, který je požadován pro optimální chod většiny spotřebičů je z obdélníkového vytvořený pomocí pulzně šířkové modulace, která mění střední hodnotu napětí pomocí změny doby trvání jednotlivých pulzů.

### 2.2.2 Doplnkové funkce

Jak již bylo naznačeno v úvodní kapitole pojednávající o měničích, poskytuje střídač kromě své hlavní funkce i mnoho dalších funkcí zvyšující efektivitu, komunikaci či bezpečnost fotovoltaické elektrárny.

#### 2.2.2.1 Sledování bodu maximálního výkonu

Jednou z možných funkcí elektrického střídače je sledování bodu maximálního výkonu – MPP (Maximum Power Point). Jedná se o pracovní bod voltampérové charakteristiky fotovoltaického panelu, ve kterém dodává panel nejvyšší výkon. MPP se mění v závislosti na intenzitě dopadajícího slunečního záření, teplotě panelu a dalších parametrech ovlivňující výkon fotovoltaického panelu. Zařízení udržující fotovoltaické panely v bodě maximálního výkonu se nazývá MPP tracker. Bod maximálního výkonu je hledán experimentální metodou a měřením vstupního výkonu. Zvýšení výkonu je pak zajišťováno vhodnou změnou impedance. Důležitou hodnotou pro správné fungování MPP trackeru je rozsah MPP. Jedná se o rozsah vstupního napětí, při kterých je MPP tracker schopen regulovat a udržovat bod maximálního výkonu.

Dalším parametrem ovlivňujícím výběr měniče pro fotovoltaickou elektrárnu je počet obsahujících MPP trackerů. Každý z nich lze využít pro hledání bodu maximálního výkonu u jinak umístěného či orientovaného fotovoltaického pole a stanovit tak optimální podmínky pro odlišně vyrábějící fotovoltaická pole. Měniče s minimálně dvěma MPP trackery je vhodné navrhovat pro fotovoltaické panely s orientací východ – západ. [22]

#### 2.2.2.2 Sběr a analýza dat

Další funkcí, kterou disponuje již většina moderních fotovoltaických střídačů je monitoring fotovoltaické elektrárny. Měření výroby a využití elektrické energie je zcela zásadní zejména pak pro energetický management objektu. Díky sběru dat a komunikaci s uživateli lze v provozu vyhodnocovat přínos fotovoltaického systému, případně odhalit provozní chyby či navrhnout další opatření zlepšující efektivitu fotovoltaické elektrárny. U většiny moderních střídačů probíhá



komunikace s uživateli bezdrátově. Díky tomu je možné sledování výkonu a ovládání fotovoltaické elektrárny v reálném čase například pomocí mobilní aplikace.

### 2.2.2.3 Zajišťování parametrů distribuční soustavy

U systémů připojených do distribuční soustavy je v případě dodávek do sítě potřeba zajistit požadované parametry dodávané elektrické energie, jako jsou elektrické napětí a frekvence. Zároveň je nutná funkce rozpoznání poruchy distribuční soustavy a případné odpojení dodávek elektřiny vyrobené pomocí vlastní fotovoltaické elektrárny. Odpojení od distribuční sítě při její poruše je požadováno legislativně, zejména kvůli případnému umožnění její bezpečné opravy. [22]

## 2.2.3 Parametry

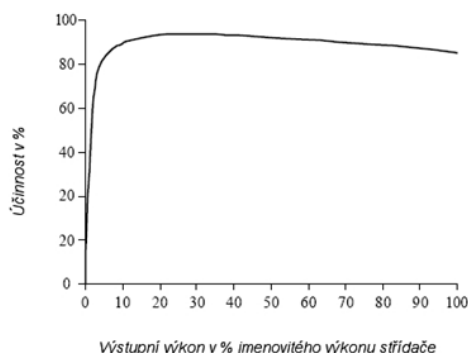
### 2.2.3.1 Výkon

Na stejnosměrné straně měniče udávají produktové listy jednotlivých střídačů maximální vstupní (stejnosměrný) výkon. Jedná se o maximální elektrický výkon, který měnič dokáže využít a přetvářet jeho parametry na střídavé. U některých řad měničů je dále uveden jmenovitý vstupní výkon uvádějící maximální trvale udržitelnou hodnotu stejnosměrného výkonu.

Na střídavé straně fotovoltaického měniče je výrobcem stanoven jmenovitý výstupní výkon, který udává maximální dlouhodobou hodnotu střídavého elektrického výkonu, kterou je střídač schopný dodávat do elektrické sítě.

### 2.2.3.2 Účinnost

Účinnost střídačů není při měnících se provozních podmínkách konstantní. Závisí především na napětí a příkonu na stejnosměrném vstupu střídače, a tedy na provozních a klimatických podmínkách, které se velice často mění. Maximální účinnost měničů pro fotovoltaické systémy se pohybuje v rozmezí 90 až 98 %. Zbylá energie se při přeměně parametrů elektrické energie zmaří a přemění na energii tepelnou. Tato účinnost je však pouze teoretická. V produktových listech fotovoltaických měničů však bývá kromě hodnoty maximální účinnosti uvedena také hodnota účinnosti evropské, která je pro oblast České republiky více vypovídající. Jedná se o vážený průměr měření při odlišných hodnotách zatížení měniče. [7], [24]



Obrázek 2-21: Charakteristika účinnosti střídače [27]

### 2.2.3.3 Účinnost přizpůsobení MPP

Účinnost přizpůsobení MPP je hodnota odpovídající rychlosti změny MPP trackeru na změnu provozních podmínek fotovoltaických panelů a přizpůsobení bodu maximálního výkonu. U kvalitních střídačů se tato hodnota pohybuje nad 99 %. Pomalejší reakce znamenají snížení efektivity výroby elektrické energie.

### 2.2.3.4 Napěťové rozmezí

Důležitou hodnotou při návrhu střídače je hodnota rozsahu jeho stejnosměrného vstupního napětí. Udávána je v produktových listech výrobců maximální a minimální hodnotou. Napětí dodávané fotovoltaickým polem musí být udržováno v rozmezí těchto hranic. Při dosahování nižšího napětí pracuje střídač s omezeným výkonem, při překročení hranice maximální hodnoty vstupního napětí však může dojít k jeho poškození. Dále je v produktových listech uvedena také hodnota jmenovitého stejnosměrného napětí, které je pro práci měniče optimální.

Další udávané hodnoty napěťového rozsahu jsou určeny pro MPP tracker. Jedná se o hodnoty napěťové oblasti, ve které je zařízení schopné regulovat bod maximálního výkonu fotovoltaických panelů.

### 2.2.3.5 Komunikace s ostatními prvky elektrárny

Schopnost komunikace jednotlivých prvků fotovoltaické elektrárny je opět zcela zásadní funkcí fotovoltaického systému. Informace o způsobu komunikace a typech sběrnic jsou opět uvedeny v produktových listech jednotlivých měničů.

## 2.2.4 Typy střídačů

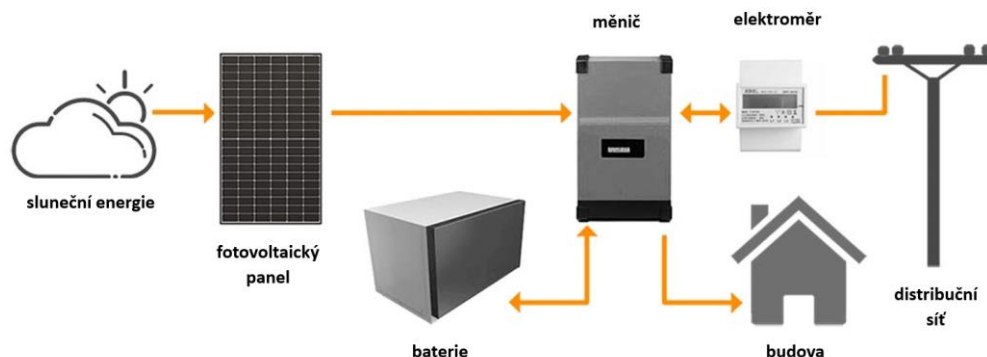
Z hlediska rozdělení vyrobené energie do jednotlivých fází elektrické sítě na straně spotřeby existují střídače symetrické a střídače asymetrické.

Symetrické střídače rozdělují elektrický výkon dodávaný fotovoltaickou elektrárnou rovnoměrně do všech fází, bez ohledu na spotřebu elektřiny v jednotlivých fázích. Při nerovnoměrném zatížení jednotlivých fází se však může snadno stát, že v jedné fázi dochází k nedostatku vyrobené elektrické energie, zatímco v ostatních fázích je této energie přebytek a je dodávána do distribuční sítě. Tento problém může vyřešit instalace asymetrického měniče, který vyrobenou elektrickou energii mezi jednotlivé fáze okruhů spotřeby rozděljuje s ohledem na výši aktuálních spotřeb jednotlivých fází. Asymetrický měnič tak oproti střídači symetrickému dokáže zefektivnit využití elektrické energie. Většina asymetrických střídačů však není schopno plné asymetrie a do jednotlivých fází dokáží nad rámec symetrie dodat pouze desítky procent jmenovitého výkonu střídače. Symetrické střídače mají na druhou stranu díky menšímu množství elektronických součástek nižší vlastní spotřebu elektřiny a díky menší složitosti obvodu a menšího průměru vodičů i nižší pořizovací cenu. [26]

Dalším typem rozdělení střídačů je podle toho, zda a jakým způsobem je fotovoltaický systém zapojen do distribuční sítě. Nejuniverzálnějším řešením je hybridní měnič, který dokáže vyrobenou elektrickou energii dělit mezi elektrickou síť a elektrochemickou baterii či ohřev teplé

vody. Dodávka elektrické energie do akumulátorů pak probíhá pouze pokud je výroba elektřiny větší než vlastní spotřeba objektu. [25]

Dalšími typy střídačů jsou síťové střídače (On-Grid) nebo ostrovní střídače (Off-Grid).



Obrázek 2-22: Schéma fotovoltaické elektrárny [28] - přeloženo

### 2.2.5 Návrh střídače pro vlastní fotovoltaickou elektrárnu

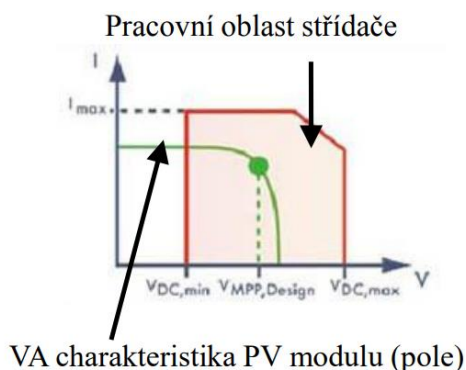
Prvním krokem při výběru střídače pro fotovoltaickou elektrárnu je výběr vhodného typu s ohledem na způsob zapojení do distribuční sítě, možnosti připojení akumulace energie nebo počtu fází elektrické sítě spotřeby.

Dále je potřeba stanovit maximální výkon střídače. Tento výkon musí být zvolen s ohledem na požadovaný výkon spotřeby, který chce uživatel pokrývat nebo výkon fotovoltaických panelů, které jsou na střídač připojeny. Volba výkonu střídače má vliv také na jeho účinnost. Energetická účinnost však má vypovídající hodnotu spíše v jižněji položených evropských oblastech. „V klimatických podmínkách České republiky, kde je nízký podíl přímého slunečního záření a velký počet oblačných dnů, je nutné se také zaměřit na účinnost při zatížení střídače cca 0 – 30 %. To je totiž rozmezí, při kterém střídače v ročním průměru u nás často pracují.“ [29] Při předimenzování střídače se tedy může snadno stát, že pracovní bod měniče spadá do oblasti strmě se snižující účinnosti a měnič tak po značnou část svého provozu pracuje s nízkou účinností. Tuto úvahu je do návrhu vhodné zahrnout obzvláště u instalací fotovoltaických panelů tvarovaných do stříšek s orientací východ-západ, které podle Obrázku 2-6 dosahují ve špičkovém výkonu maximálně 60 % instalovaného výkonu.

Dalším parametrem ovlivňující výběr měniče pro fotovoltaickou elektrárnu je počet obsahujících MPP trackerů. Každý MPP tracker lze využít pro hledání bodu maximálního výkonu u jinak umístěného či orientovaného fotovoltaického pole a stanovit tak optimální podmínky pro odlišně vyrábějící fotovoltaická pole. [22]

Zejména u objektů s velkým počtem točivých zdrojů je při návrhu vhodného střídače potřeba zohlednit také vyšší proudové přetížitelnosti fotovoltaického měniče. Připojení točivých strojů k elektrické síti totiž po krátkou dobu rozběhu vyvolává tzv. rozběhový proud, který může až několikanásobně převyšovat proud jmenovitý. U fotovoltaických systémů, které jsou připojeny k distribuční síti, však tento proud může být odebírán z distribuční soustavy.

V neposlední řadě je při výběru střídače zapotřebí správně navrhnout parametry střídače s ohledem na ostatní prvky fotovoltaické soustavy a parametry spotřebičů a distribuční sítě.



Obrázek 2-23: Voltampérová charakteristika FV modulu [23]

## 2.3 Elektroinstalace

### 2.3.1 Kabelové rozvody

Dalším zásadním bodem pro správnou funkci fotovoltaické elektrárny je fyzické propojení jejích jednotlivých částí pomocí kabelů. Vzájemné propojení je důležité zejména pro vedení elektrické energie z oblasti její výroby – fotovoltaických panelů přes akumulaci a ochranné prvky, střídač, hlavní rozvaděč a elektroměr až do místa její spotřeby. Přenášení elektrického výkonu z oblasti výroby do místa odběru elektrické energie zprostředkovává silová část rozvodu. Zejména kabely stejnosměrné části, které jsou každodenně namáhány klimatickými vlivy musí splňovat předepsanou odolnost z hlediska vlhkostních a povětrnostních podmínek, UV záření nebo mechanickému namáhání. „Příčiny požáru jsou evidovány na všech komponentech fotovoltaických elektráren, ve zvýšené míře však na proudových spojkách a kabelových konektorech.“ [32] Při projekci kabelových tras je vhodné správnou dimenzí vodiče zohlednit vyšší koeficient bezpečnosti a dosáhnou tak nižší tepelné zátěže kabelových tras a jejich spojů. Kabelové trasy je pak zejména ve venkovním prostředí nutné vést v plastových chráničkách nebo kovových žlabech. Jednotlivé fotovoltaické panely je dále vhodné propojovat do stringů s napětím do 400 V.

Vedle silové části je vhodné zřídit také datové kabely, které napomáhají ke vzájemné komunikaci jednotlivých prvků fotovoltaické elektrárny, přenosu dat z elektroměrů či senzorů monitorujících chod fotovoltaické elektrárny. Z důvodu požární bezpečnosti je vhodné, zejména v klimaticky namáhaných částech rozvodů, vést kabelové trasy v nehořlavých lištách.

### 2.3.2 Elektroměrový rozvaděč

Další nutnou částí při instalaci fotovoltaické elektrárny je výměna hlavního dvoukvadrantového elektroměru za elektroměr čtyřkvadrantový, který umožňuje měřit jak spotřebu, tak dodávku elektrické energie do sítě.

S výměnou hlavního elektroměru probíhá současně také výměna hromadného dálkového odečtu (HDO), díky kterému je distributor elektrické energie schopen vzdáleného odpojení fotovoltaické elektrárny od distribuční sítě. Nutnou součástí musí být také ovládací relé, sloužící ke spínání spotřebičů.

Z důvodu bezpečnosti při práci na rozvaděči je předepsané osadit elektroměrový sloupek vypínačem instalace. Účelem vypínače je odpojení fotovoltaické elektrárny od rozvaděče a zajistit tak bezpečnost pracovníků při práci na elektroměrovém rozvaděči. Dodatečným rozšířením je instalace protipožárního alarmu v rozvaděčích, přímo spojených se samočinným odpojením fotovoltaické elektrárny. [30], [32]

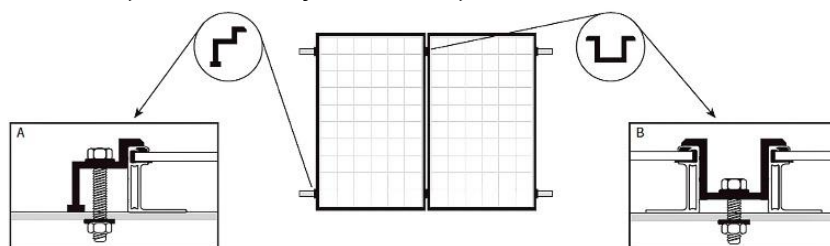
## 2.4 Stavební řešení fotovoltaiky

### 2.4.1 Kotvení fotovoltaických panelů

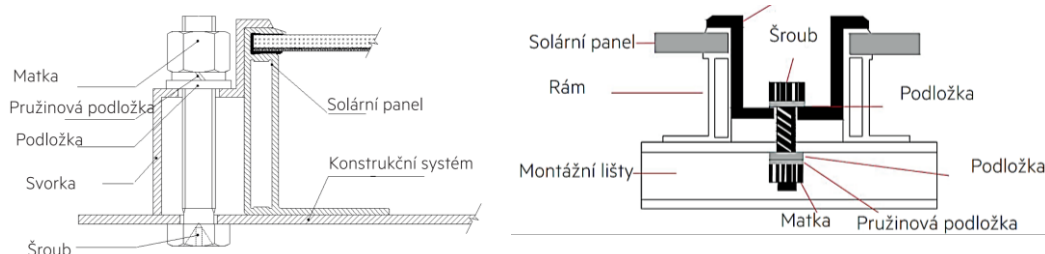
U fotovoltaických panelů umístěných na plochých střechách budov je nutné panely pomocí nosných konstrukcí připevnit ke konstrukci střechy. Účelem konstrukce je zejména orientování panelů v požadovaném sklonu a zajištění jejich odolnosti vůči zatížení vnějšími vlivy, zejména pak větrem. Upevnění panelů ke střešní konstrukci může být provedeno různými způsoby s ohledem na stav střešní konstrukce, její nosnost, případně očekávané hodnotě zatížení fotovoltaických panelů větrem. Nejpoužívanější způsoby upevnění fotovoltaických panelů jsou popsány v následujících kapitolách.

#### 2.4.1.1 Kovové nosné konstrukce

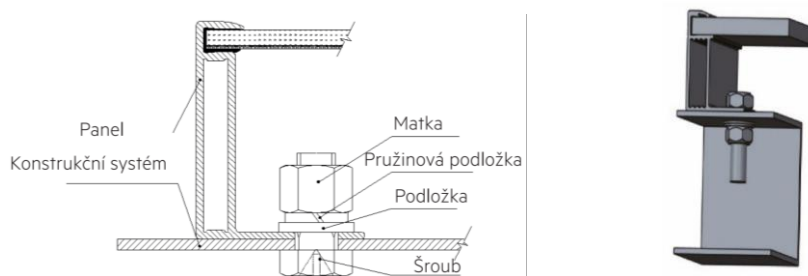
Prvním velmi často navrhovaným montážním řešením je upevnění fotovoltaických panelů do kovových nosných rámců, které musejí být odolné klimatickým podmínkám, zejména korozi a UV záření. Nejčastěji jsou rámy vyráběny z hliníkových profilů. Do nich jsou fotovoltaické panely upevňovány pomocí svorek či upevňovacích otvorů. Pro bezpečnou montáž musí být fotovoltaické panely k rámu připevněny alespoň pomocí 4 montážních bodů. Příklady uchycení fotovoltaických panelů k nosnému rámu jsou zobrazeny na následujících montážních schématech. [33]



Obrázek 2-24: Příklady upínání FV panelů do rámu pomocí svorek [34]



Obrázek 2-25: Řez upevnění FV panelů k nosné konstrukci pomocí svorek [35]



Obrázek 2-26: Řez upevnění FV panelů k nosné konstrukci pomocí upevňovacích otvorů [35], [36]

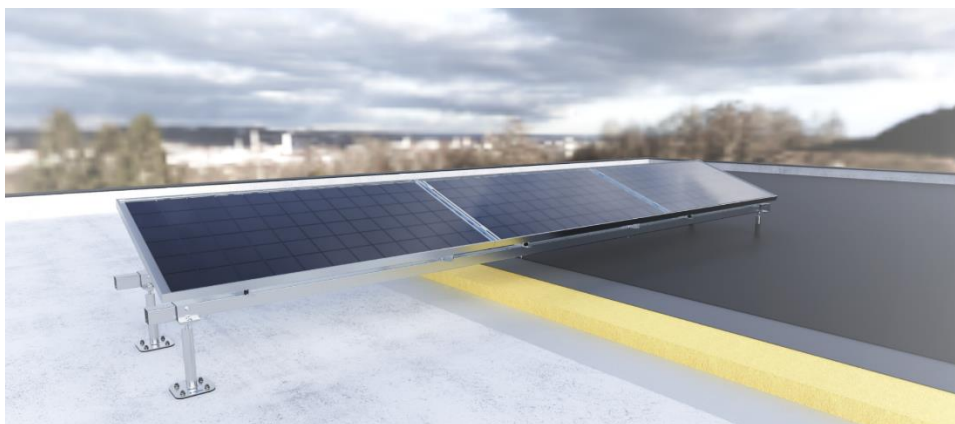
Fixování panelů v požadovaném směru pak zajišťují trojúhelníkové rámy, ke kterým jsou fotovoltaické panely připevněny pomocí spojovacích svorek. Montážní systém využívající trojúhelníkové rámy je znázorněn na následujícím obrázku. Výhodou tohoto způsobu montáže je vysoká variabilita sklonu fotovoltaických panelů, která je díky přizpůsobení nosných profilů téměř neomezená. Připevnění panelů ke konstrukci pak probíhá třemi způsoby. [31]



Obrázek 2-27: Příklad montáže pomocí trojúhelníkových hliníkových profilů [31]

Prvním způsobem připevnění nosné konstrukce fotovoltaických panelů ke střeše objektu je její zatížení pomocí zatěžovacích prvků. K zatížení se pak nejčastěji používají betonové tvárnice, které díky své vysoké hmotnosti napomáhají konstrukci fotovoltaických panelů odolávat vnějším vlivům a zabránit pohybu panelů z určeného místa. Tento způsob fixace je oblíbený zejména proto, že nezasahuje do konstrukce střešní krytiny a nenarušuje tak hydroizolaci a paroizolaci objektu. Na druhou stranu však přináší vysoké zatížení střešní konstrukce, které nemusí být pro některé již stávající budovy ze statického hlediska přijatelné. Z tohoto důvodu je před instalací fotovoltaické elektrárny na stávající objekty nutné posoudit statický stav střešních konstrukcí.

Dalšími způsoby připevnění fotovoltaických panelů na střeše objektu je ukotvení nosných konstrukcí do konstrukce objektu. Toto řešení snižuje zatížení fotovoltaických panelů na střechu objektu. Zároveň však při kotvení nosné konstrukce do spodních vrstev střechy dochází zejména u stávajících budov k přerušení izolace střešního pláště. V prostupech pláště pak hrozí riziko zatékání vody či vlhkosti. V blízkosti prostupů je tak nutno dbát na detailní a velice precizní řešení hydroizolačních a paroizolačních vrstev.

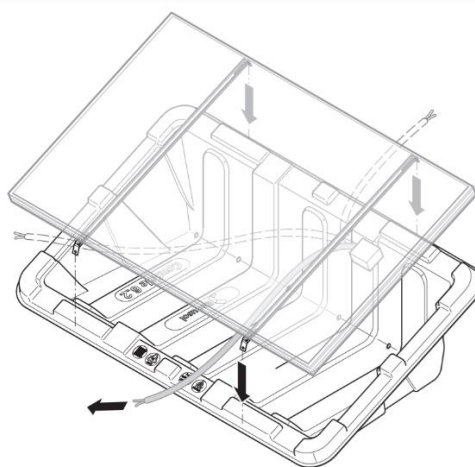


Obrázek 2-28: Způsob kotvení FV panelů do nosné konstrukce střechy [42]

Alternativním řešením upevnění fotovoltaické elektrárny na střeše objektu je ukotvení nosných konstrukcí fotovoltaických panelů do atiky objektu. Díky tomu dojde k přenesení zatížení fotovoltaických panelů do nosných konstrukcí budovy a odlehčení zatížení působící na konstrukci střechy. [40]

#### 2.4.1.2 Zatěžovací nosné konstrukce

Dalším oblíbeným montážním řešením upevnění fotovoltaických panelů na horizontální ploše je jejich ukotvení přímo na systém zátěžové konstrukce. K tomuto účelu slouží montážní plastové vaničky (plastboxy), které jsou výrobcem předpřipravené na montáž fotovoltaických panelů. Následně jsou naplněny šterkem, cihlami či jiným zatěžovacím materiálem pro zatížení solárních panelů. Instalace je tak při tomto způsobu kotvení velmi rychlá a snadná. Zároveň díky zatížení konstrukce není opět nutné zasahovat do jednotlivých vrstev střechy a narušovat tak jednotlivé vrstvy izolace. Konstrukce plastových vaniček je uzavřená a proudění vzduchu je zajištěno vytvořenými větracími otvory. V porovnání s provětrávanými instalacemi fotovoltaických panelů je však na spodním povrchu fotovoltaických panelů vyšší teplota a účinnost fotovoltaických panelů může mírně klesat. Zároveň však díky uzavřené konstrukci a menším silám působícím na fotovoltaický panel a montážní konstrukci je možné navrhovat takto instalované fotovoltaické panely na povrchy s nižší hodnotou únosnosti. [39]



Obrázek 2-29: Instalace FV panelu do montážního systému Renusol [43]

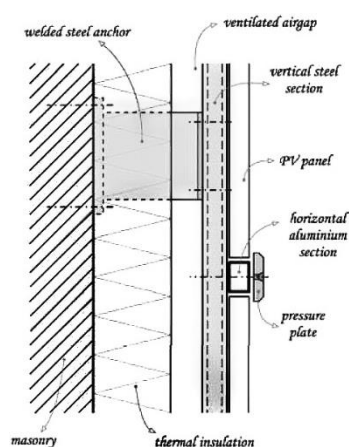
### 2.4.1.3 Integrované fotovoltaické panely

Posledním navrhovaným řešením instalace fotovoltaických panelů na střeše budovy je jejich integrace do obálky budovy. Integrací panelů do střešního pláště není nutné fotovoltaické panely upevňovat na nosné konstrukce ani fotovoltaické panely zatěžovat nebo narušovat vrstvy střešního pláště. Fotovoltaické panely jsou navíc lehké, a proto vytvářejí minimální podmínky na zatížení konstrukce střechy. Tato varianta montáže je navíc zajímavá také z architektonického hlediska. Integrované fotovoltaické panely nenarušují estetiku budovy a ve vybraných případech je tak lze použít i v památkově chráněných oblastech. Stejně jako předchozí varianta instalace však integrované fotovoltaické panely netvoří provětrávanou vzduchovou mezeru mezi obálkou budovy a povrchem fotovoltaického panelu a fotovoltaický panel tak opět pracuje při zvýšené provozní teplotě. [39]

### 2.4.1.4 Kotvení fotovoltaických panelů na stěně

Možnosti uchycení fotovoltaických panelů do konstrukce obvodového pláště jsou obdobné jako v případě střešních instalací kotvených pomocí kovových nosných konstrukcí. Prvky nosné konstrukce jsou opět kotveny do konstrukce obvodového pláště objektu. Stejně jako u střešních instalací je možné pomocí trojúhelníkové konstrukce vytvořit odklon, tentokrát od vertikální stěny a zvýšit tak výrobu elektrické energie. Velké množství instalací je však kvůli vyšší estetičnosti budov instalováno ve vertikálním sklonu. Mezi panely a povrchem obvodového pláště vzniká provětrávaná mezera, kterou proudí vzduch ochlazující fotovoltaické panely. Zároveň zde vzniká prostor pro vedení kabeláže. [31]

Dále je opět možné fotovoltaické panely integrovat do konstrukce obvodové stěny, případně fotovoltaické panely připevnit na vnější vrstvu obvodového pláště.



Obrázek 2-30: Řez instalace FV panelů na fasádu objektu [45]

### 2.4.2 Zatížení střešní konstrukce

Před instalací panelů fotovoltaické elektrárny je zapotřebí, zejména pak při instalaci na budovy s plochou střechou, určit celkové zatížení střešní konstrukce, které se vlivem instalace panelů může velmi výrazně zvýšit. Následně je podle statického posudku střechy nutno posoudit, zda zvolená instalace, typ montáže a kotvení nosných konstrukcí fotovoltaických panelů konstrukce střechy unese či je nutné hledat jiné způsoby a kombinace instalací fotovoltaické elektrárny.



Statické stanovisko není vhodné podceňovat ani u nových objektů. Lokálním či globálním přetížením střech, mohou vzniknout výrazné škody, které mohou mnohonásobně převyšovat náklady na statický posudek. [46]

#### 2.4.2.1 Zatížení hmotností fotovoltaických panelů

Základním typem zatížení, o které se instalací fotovoltaické elektrárny zvýší základní zatížení střešní konstrukce je zatížení vlastní vahou fotovoltaických panelů a jejich nosných konstrukcí. U tohoto typu zatížení závisí zejména na hmotnosti panelů. Zatížení střešní konstrukce fotovoltaickými panely, včetně podpůrných konstrukcí se podle [46] uvažuje v průměru  $20 \text{ kg/m}^2$ , tedy  $0,2 \text{ kN/m}^2$ .

Další částí zatížení, se kterým je při posuzování únosnosti střešní konstrukce nutno uvažovat je zatížení sněhem. To vzniká zejména v mezerách mezi řadami jednotlivých panelů. Celkové zatížení sněhem se pak pohybuje kolem hodnoty  $24 \text{ kg/m}^2$ .

#### 2.4.2.2 Zatížení větrem

Další výraznou část celkového zatížení ovlivňuje způsob kotvení fotovoltaických panelů ke konstrukci střechy. To se provádí zejména kvůli zatížení větrem, které působí na fotovoltaické panely a jejich nosné konstrukce. Staticky nejnáročnější variantou řešení proti účinkům větru je zatížení fotovoltaických panelů zatěžovací konstrukcí, ať už betonovými tvárniciemi či štěrkem plněnými plastovými vaničkami. Podle [46] je zatížení na střešní konstrukci způsobené působením větru dalších  $30$  až  $50 \text{ kg/m}^2$ , tedy  $0,3$  až  $0,5 \text{ kN/m}^2$ .

Návrhové zatížení větrem se však mění také v závislosti na výšce a lokalitě budovy osazené fotovoltaickou elektrárnou. Pro jeho určení je nutné brát v úvahu maximální opakující se rychlost větru. [47] Faktory ovlivňující hodnotu rychlosti větru, a tedy i s tím související hodnotu zatížení jsou například výška budovy, nadmořská výška a topologie lokality či vzdálenost a výška okolních budov. [47]

Omezit zatížení větrem a snížit tak hodnotu svislého zatížení střešní konstrukce vlivem zatížení fotovoltaického panelu lze docílit uzavřením nosné části konstrukce fotovoltaického panelu. Při montáži fotovoltaických panelů pomocí plastových vaniček je toto uzavření řešeno automaticky, při použití kovových nosných konstrukcí je však spodní části konstrukce možno zakrýt plechovými kryty.



Obrázek 2-31: Příklad zakrytí zadní části konstrukce FV panelů plechovými kryty [48]

### 2.4.3 Požárně bezpečnostní opatření

Přes veškeré výhody vlastních fotovoltaických elektráren popsanych v předešlých kapitolách jsou s využíváním fotovoltaických zařízení zcela nepochybně spojena i potenciální požární rizika. Toto riziko je však podle HZS ČR relativně malé. „Při řádné instalaci a pravidelné údržbě je fotovoltaika naprosto bezpečná technologie.“[50] „Pokud je fotovoltaický panel nainstalován na střeche předepsaným způsobem, riziko vzniku požáru je minimální. Výroba elektřiny ze slunce se proto řadí k nejbezpečnějším.“[50] [49]

S cílem lépe informovat vlastníky fotovoltaických elektráren, případně firmy zabývající se jejich instalacemi a servisem, byla odborníky požární bezpečnosti od Hasičského záchranného sboru Středočeského kraje až po Univerzitní centrum energeticky efektivních budov ČVUT v Praze sepsána brožura shromažďující základní zásady požární ochrany a bezpečnosti fotovoltaických elektráren. [50]

Fotovoltaické elektrárny je podle [50] nutné vnímat jako elektroinstalaci s potenciálním rizikem zdroje požáru. Z tohoto důvodu je nutné fotovoltaickou elektrárnu požárně oddělit od ostatních prostor objektu a zamezit tak případnému šíření požáru mezi střechou a interiérem objektu oběma směry. „Dostatečným zajištěním požární bezpečnosti z hlediska reakce materiálů na oheň střešního pláště je použití skladby s klasifikací Broof(t3).“[32] Pokud skladba střechy tuto klasifikaci nesplňuje, je nutné zamezit vznícení povrchu střechy a šíření požáru lokálně, například vhodným umístěním plechových van pod prvky s rizikem vzniku požáru.

Užitečným doplňkem požárně bezpečnostního řešení objektu je umístění centrálního odpojovače fotovoltaické elektrárny na snadno dostupné místo poblíž vstupu do objektu. Stop tlačítko pak může být využito pro odpojení fotovoltaické elektrárny v krizových situacích.

### 2.5 Životnost a životní cyklus fotovoltaického systému

Životnost fotovoltaického systému jako celku je dána životností jednotlivých částí fotovoltaické elektrárny, z nichž nejdelsí doby životnosti dosahují fotovoltaické panely. Kratších hodnot pak dosahují střídače, rozvody a prvky akumulace elektrické energie, které se musejí po dobu provozu fotovoltaické elektrárny postupně obnovovat. U fotovoltaické elektrárny, kdy zejména vlivem stárnutí a klimatického zatížení dochází ke snižování účinností jednotlivých komponentů je potřeba rozlišovat životnost technickou a životnost ekonomickou. Ekonomická životnost udává dobu od instalace po snížení účinnosti na takovou hodnotu, při které dochází ke ztrátě ekonomické užitečnosti a smysluplnosti. Technická životnost, která obvykle ekonomickou životnost převyšuje udává dobu, po které zařízení ztrácí svoji funkci. [51]

Životnost fotovoltaických panelů je zpravidla udávána jejich výrobcem v technické dokumentaci příslušných panelů. Ti ve většině případů garantují dobu, po kterou reálný výkon fotovoltaických panelů neklesne pod hodnotu 80 % výkonu instalovaného. Jedná se o hodnotu ekonomické účinnosti, která se v současné době pohybuje v okolí 25 let. Technická životnost fotovoltaických panelů však značně převyšuje životnost ekonomickou a fotovoltaické panely jsou schopny produkovat elektrickou energii za snížené účinnosti i v dalších letech po skončení garance výkonu. V technickém listu panelu pak může být výrobcem stanovený roční procentuální pokles účinnosti, který je způsoben především klimatickými podmínkami, kterým jsou panely neustále vystaveny. V průměru klesá hodnota účinnosti o 0,55 % ročně.

Záruka na střídače pro fotovoltaiku se pohybuje v rozmezí 5 až 10 let, technická životnost se pak pohybuje v rozmezí 10 až 15 let. Tyto hodnoty jsou mnohem nižší než hodnoty životnosti fotovoltaických panelů, a proto je při návrhu životního cyklu a ekonomické analýze projektu nutné počítat s obměnou jednotlivých střídačů. U střídačů však nedochází k výraznému snížení účinnosti během doby jejich životnosti a lze ho tak v návrhu zanedbat. Z hlediska účinnosti střídače hraje velmi výraznou roli jeho umístění a možnost chlazení. Životnost pak dále zkracuje časté spínání, které je kvůli střídání klimatických podmínek a opakovanému střídání dne a noci velmi časté. [52]

Životnost baterií je dána především stárnutím materiálu a počtem provedených cyklů od úplného nabití do vybití baterie. Současné bateriové úložiště dosahují kapacity 10 000 cyklů. Při správném navržení bateriového úložiště je během jednoho roku provedeno zhruba 250 cyklů. Z pohledu životnosti však baterii limituje spíše již uvedené přirozené stárnutí materiálu baterie, jehož životnost se ohybuje kolem 15 let. [53]

## KAPITOLA 3: NÁVRH FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU

V následujících kapitolách diplomové práce budou na základě naměřených údajů o spotřebě strahovského areálu, znalosti stavebního a technického řešení a výsledků simulací jednotlivých instalací fotovoltaických panelů modelovaných v předcházející kapitole diplomové práce navrženy způsoby výroby elektřiny pomocí fotovoltaických systémů. Tyto návrhy mají za cíl omezit nákup elektřiny a plynu a snížit náklady na energie areálu bez jakéhokoliv omezení komfortu uživatelů. Při navrhování jednotlivých variant instalací fotovoltaických systémů studie vychází z modelových návrhů instalací fotovoltaických panelů a poznatků popsanych v teoretických kapitolách této práce.

Uvažovaným areálem, pro který bude vlastní fotovoltaická elektrárna navrhována je areál kolejí ČVUT na Strahově. Pro nalezení optimálního řešení fotovoltaického systému z hlediska maximálního pokrytí spotřeby areálu pomocí vyrobené elektřiny budou v hodinovém kroku porovnávány modely výroby a spotřeby elektrické energie. Tyto modely jsou vytvořeny na základě zjištěné spotřeby energií v areálu strahovských kolejí za předchozí roky, ze kterých byly vytvořeny typické průběhy spotřeb za jednotlivá časová období. Tyto typické průběhy jsou promítnuty do předpokládané doby trvání investice. Výpočetní postupy, kterými byly modely typické spotřeby vytvořeny společně s jejich průběhy jsou popsány v úvodní kapitole diplomové práce.

### 3.1 Technická specifikace komponent

Jednotlivé technologické součásti a komponenty navržené v této práci byly zvoleny na základě postupů a parametrů popsanych v kapitolách pojednávajících o návrhu fotovoltaické elektrárny. Při návrhu vlastní fotovoltaické elektrárny jsou uvažovány parametry získané z technických listů výrobců jednotlivých komponentů.

#### 3.1.1 Fotovoltaické panely

Pro účely studie výroby a spotřeby energií na studentských kolejích Strahov byly zvoleny fotovoltaické panely od firmy Sunova Solar o instalovaném výkonu 460 Wp. Na fasády objektů byly umístěny flexibilní panely Sunman 430 Wp. Parametry fotovoltaických panelů uvedené výrobcem, testované za podmínek STC jsou uvedeny v následujících tabulkách.

<b>maximální výkon [Wp]</b>	460
<b>rozměry [mm]</b>	1903 x 1134 x 30
<b>hmotnost [kg]</b>	24,0
<b>garance 80 % výkonu [let]</b>	25
<b>roční pokles výkonu [%/rok]</b>	0,55
<b>zkratový proud [A]</b>	13,6
<b>napětí naprázno [V]</b>	460,0
<b>napětí v MPP [V]</b>	34,9
<b>proud v MPP [A]</b>	13,2
<b>účinnost [%]</b>	21,3 %
<b>teplotní koeficient napětí [%/K]</b>	-0,28
<b>teplotní koeficient proudu [%/K]</b>	0,045
<b>teplotní koeficient výkonu [%/K]</b>	-0,35

Tabulka 3-1: Technická specifikace pro FV SUNOVA SOLAR SS-460-60MDH [54]

maximální výkon [Wp]	430
rozměry [mm]	1080 x 2054 x 2
hmotnost [kg]	7,2
garance 80 % výkonu [let]	25
roční pokles výkonu [%/rok]	0,53
zkratový proud [A]	10,0
napětí naprázno [V]	74,0
napětí v MPP [V]	42,0
proud v MPP [A]	10,2
účinnost [%]	19,4 %
teplotní koeficient napětí [%/K]	-0,28
teplotní koeficient proudu [%/K]	0,020
teplotní koeficient výkonu [%/K]	-0,38

Tabulka 3-2: Technická specifikace pro FV SUNMAN SMF430F-12X12UM [55]

### 3.1.2 Střídač

Z naměřených toků elektrické energie a jejich výkonů není možné zjistit rozložení spotřeby v jednotlivých fázích rozvodu elektrické energie. Vzhledem k velkému množství ubytovacích zařízení a absenci elektrického ohřevu teplé vody však lze předpokládat, že spotřeba je mezi jednotlivé fáze rozdělena přibližně rovnoměrně.

Velikost střídače pro fotovoltaickou elektrárnu byla volena podle instalovaného výkonu a možnosti rozdělení vyrobené elektrické energie jednotlivých fází. Pro návrh byly zvoleny střídače od firmy Huawei.

jmenovitý výstupní (AC) výkon [kW]	100
rozsah napětí MPP trackeru [V]	200 - 1 000
počet MPP trackerů [ks]	10
jmenovité vstupní napětí [V]	600 / 720
jmenovité výstupní napětí [V]	400 / 480
evropská účinnost [%]	98,4
počet fází (AC) [ks]	3

Tabulka 3-3: Technická specifikace pro střídač SUN2000-100KTL-M2

### 3.1.3 Baterie

Vzhledem k tomu, že pro různé velikosti fotovoltaické elektrárny jsou zvoleny bateriové úložiště o různé kapacitě byl k akumulaci elektrické energie zvolen set BYD Battery Box Premium LVS. Bateriový set je tvořen z přípojovací jednotky, řídicího modulu a až z šesti na sebe umístitelných 4kWh bateriových modulů. Pomocí těchto setů lze propojit až 64 bateriových jednotek. Kapacita bateriového úložiště tak může být rozšířena až na 256 kWh.

počet modulů [ks]	6
využitelná energie [kWh]	24
max. výstupní výkon [A]	250
jmenovité napětí [V]	51,2
pracovní napětí [V]	40 - 57,6
pracovní teplota [°C]	-10 - 50
záruka [let]	10

Tabulka 3-4: Technická specifikace pro bateriovou jednotku BATTERY-BOX PREMIUM LVS 24.0 [57]

### 3.1.4 Topné těleso

Z provedených simulací vyplývá, že v určitých časových obdobích dochází k přebytkům vyrobené elektrické energie. Tuto energii může spotřebovávat topné těleso umístěné v zásobníku teplé vody. Maximální průměrný hodinový nabíjecí výkon během roku je dle provedených simulací a výpočtů 18 kW na každý zásobník teplé vody. Z tohoto důvodu bylo vybráno topné těleso o výkonu 24 kW, které bude spotřebovávat většinu využitelných přebytků elektrické energie. Rezerva výkonu by měla napomoci k lepšímu pokrytí špiček, které nemusí být simulací v hodinovém kroku zaznamenány.

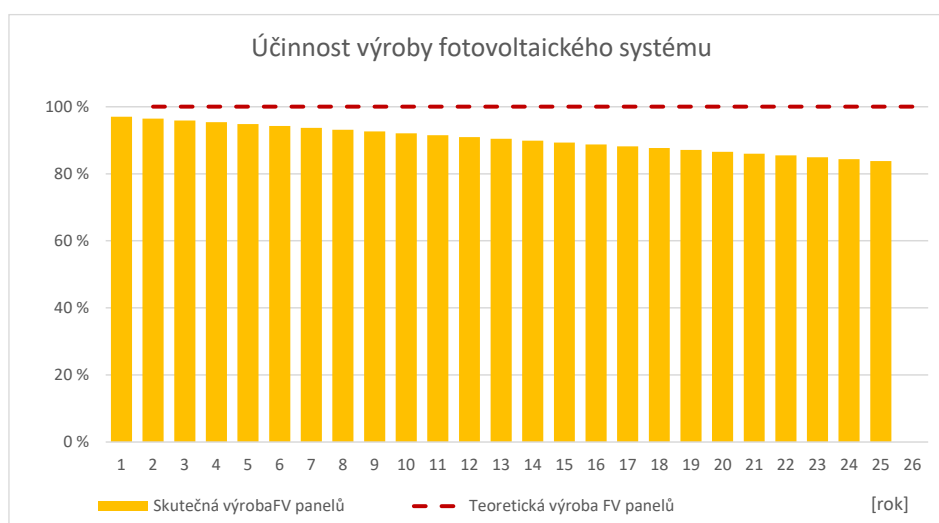
výkon [kW]	24
napětí [V]	400/692
délka [mm]	1 060

Tabulka 3-5: Technická specifikace pro topné těleso M77x2 [58]

### 3.1.5 Účinnost fotovoltaického systému

K návrhu fotovoltaického systému je důležité započítat také ztráty vznikající přenosem či přeměnou jednotlivých forem energie. Hodnoty vyrobené elektřiny je tedy nutné snížit v závislosti na účinnosti jednotlivých částí fotovoltaické elektrárny. Data o účinnosti a ztrátách jednotlivých komponentů použitých v návrhu fotovoltaického systému byla získána z technických listů udávaných výrobcí jednotlivých zařízení.

Do modelu výroby elektrické energie je dále zapotřebí započítat pokles účinnosti fotovoltaických panelů způsobený vlivem jejich stárnutí. Tuto skutečnost popisuje koeficient udávající pokles účinnosti za každý rok provozu fotovoltaického panelu. U zvolených panelů klesá účinnost výroby o 0,55 % ročně. Ztráty vlivem přeměny stejnosměrného proudu na střídavý jsou započteny v datech vyrobené elektrické energie. V průměru napříč jednotlivými výkony se jedná o 97 %. Celkovou účinnost fotovoltaického systému snižují také ztráty způsobené distribucí a transformací vyrobené elektrické energie na energii požadovaných parametrů. Ztráty v kabelové soustavě byly stanoveny na 3 % z celkové distribuované energie. Celková účinnost fotovoltaického systému se započtením vlivu stárnutí fotovoltaických panelů je zobrazena na následujícím grafu.

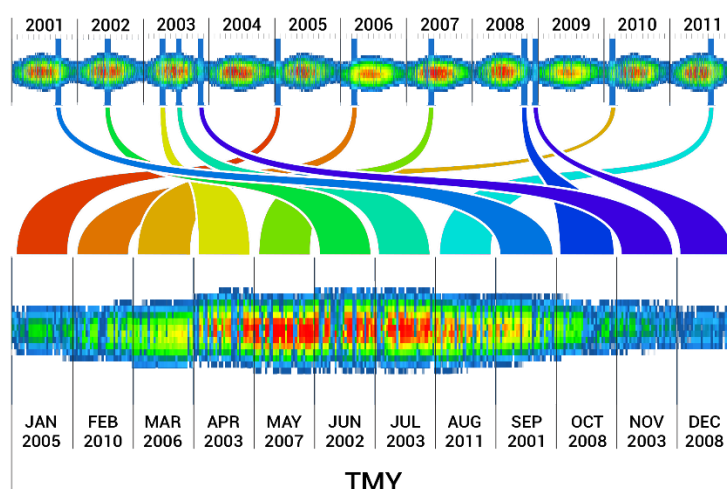


Obrázek 3-1: Graf poklesu účinnosti výroby FV systému vlivem stárnutí komponent

### 3.2 Data o výrobě fotovoltaické elektrárny

Data o dopadu slunečního záření na povrch fotovoltaických panelů, ze kterých vycházejí i údaje o výrobě elektřiny z fotovoltaických panelů byla získána z programu PV\*SOL. Klimatický model, který program využívá je založen na datech od švýcarské společnosti MeteoNorm [1]. Všechny zde uvedené hodnoty jsou zobrazeny v hodinovém kroku.

Databáze programu využívá data posledních 10 až 30 let. Provoz fotovoltaické elektrárny v budoucích letech je pak vyhodnocována na základě klimatických dat tzv. typického meteorologického roku (TMY), který do konečného souboru dat přebírá konkrétní klimatická data z typických období předchozích let. Díky tomu je ve variantách návrhů zohledněna také proměnná intenzita slunečního svitu během dne a v průběhu ročních období. [59]



Obrázek 3-2: Ilustrace složení typického meteorologického roku [59]

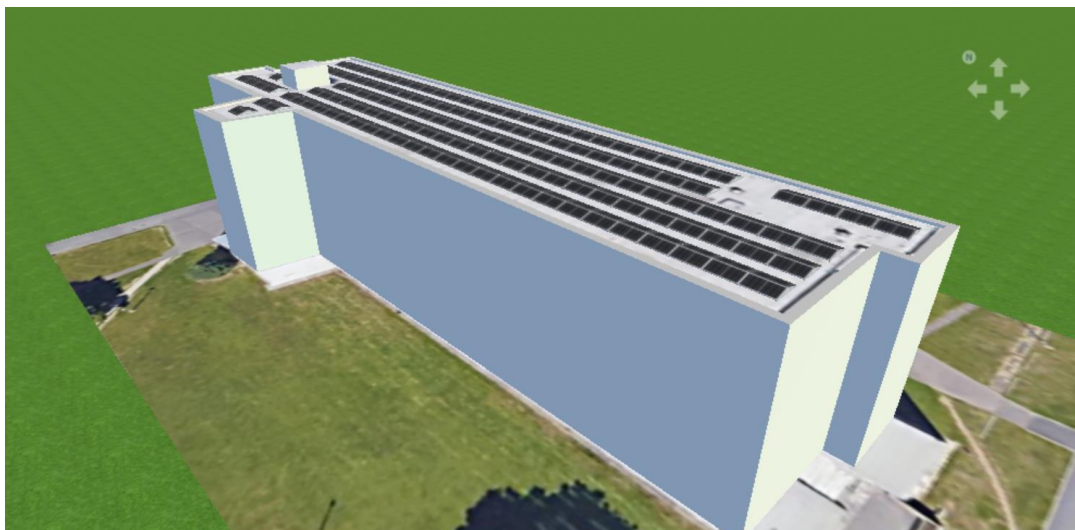
### 3.3 Návrh rozmístění fotovoltaických panelů obálce budovy

Pro možnost výběru vhodné instalace a geometrie panelů napříč různými instalovanými výkony fotovoltaických elektráren bylo před začátkem návrhů jednotlivých variant systémů výroby a spotřeby elektrické energie vytvořeno několik možných instalací fotovoltaických panelů lišících se v geometrii návrhu fotovoltaických panelů.

Díky téměř identickému stavebnímu řešení jednotlivých bloků areálu kolejí je možné vytvořit modely různých řešení a velikostí fotovoltaických elektráren na obálce pouze typizovaného objektu. Dále bude možné tyto vytvořené modely rozšířit a kombinovat na dalších budovách v rámci areálu studentských kolejí. Pomocí těchto simulací bude následně možné navrhované fotovoltaické elektrárny porovnat z hlediska množství využití elektrické energie a tím dosažené úspory pro různé způsoby provedení a různé instalované výkony. Postup tvorby modelů a porovnání jednotlivých variant fotovoltaických systémů je popsán v následujících odstavcích.

Pro účely analýzy byl v programu PV\*SOL vytvořen model bloku č. 3, na který byly panely s různými způsoby instalace umístovány. V této vizualizaci lze pomocí změny návrhového úhlu optimalizovat instalovaný výkon fotovoltaické elektrárny. Minimální návrhový úhel je 18 °. Pro

následující varianty je pak tento úhel zvyšován tak, aby při nárůstu návrhového úhlu přibyla alespoň jedna řada fotovoltaických panelů a zvýšil se tak instalovaný výkon na dané ploše. Maximální návrhový úhel je pak omezen minimálním průchozím prostorem mezi jednotlivými řadami fotovoltaických panelů. Pro panely umístěné na fasádě objektu byly do simulace vloženy také modely bloků sousedních objektů způsobující zastínění panelů. Vytvořený model pro jeden ze způsobů instalace je zobrazen na následujícím obrázku.



Obrázek 3-3: Příklad pokrytí bloku FV panely s východozápadní orientací [1]

Pro simulaci jsou použity 460Wp panely od firmy Sunova Solar a flexibilní fotovoltaické panely o výkonu 430 Wp od firmy Sunman. Porovnávané varianty střešní geometrie byly vybrány tak, aby vytvářely optimální podmínky z hlediska výroby elektrické energie nebo optimální podmínky z hlediska časové soudobosti výroby vzhledem ke spotřebě areálu. Jedná se o instalaci jižně orientovaných fotovoltaických panelů o sklonu 15 ° a 35 ° a panelů instalovaných do tvaru stříšek s východozápadní orientací se sklonem 15 °. Tento způsob instalace přináší podle simulací provedených v teoretické části práce rovnoměrnější výrobu během dne i během různých období během roku. Na základě srovnání průběhů vytvořených a popsáných v teoretické části práce jsou dále instalovány pouze fotovoltaické panely s horizontální orientací. Tento způsob instalace dosahuje na omezené ploše vyšších hodnot roční energetické výtěžnosti a příznivějších průběhů zejména v zimních a přechodných měsících.

Výsledky simulace jednotlivých variant pokrytí střechy kolejniho bloku fotovoltaickými panely jsou shrnuty a popsány v následující tabulce.

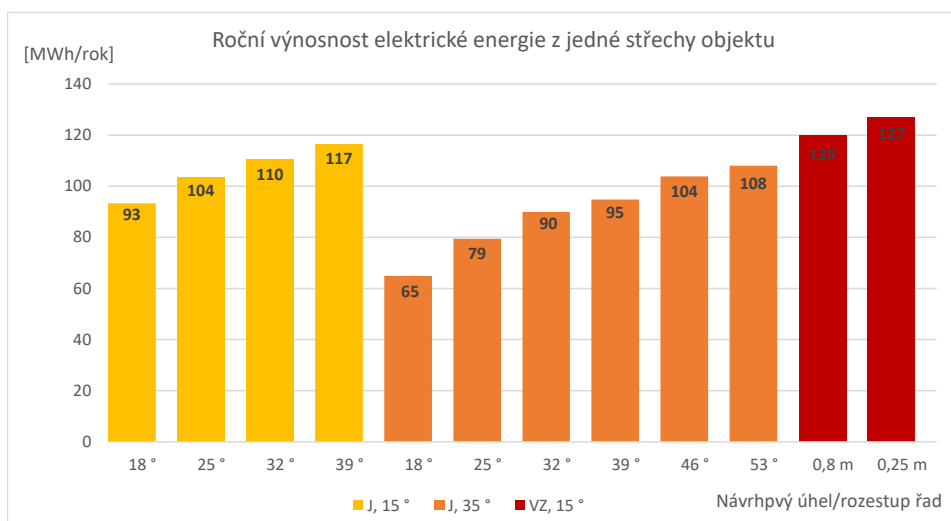
	var.č. 1	var.č. 2	var.č. 3	var.č. 4	var.č. 5	var.č. 6	var.č. 7	var.č. 8	var.č. 9	var.č. 10	var.č. 11	var.č. 12	var.č. 11	var.č. 12
orientace	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	VZ	VZ	VZ	VZ
sklon	15 °	15 °	15 °	15 °	35 °	35 °	35 °	35 °	35 °	35 °	15 °	15 °	15 °	15 °
návrhový úhel	18 °	25 °	32 °	39 °	18 °	25 °	32 °	39 °	46 °	53 °	-	-	-	-
rozestupy [m]	0,83	0,58	0,43	0,33	1,83	1,28	0,95	0,79	0,58	0,45	0,80	0,80	0,80	0,25
instalovaný výkon [kWp]	89	100	109	117	60	76	89	98	113	124	100	117	126	136
roční vyrobená el. energie [MWh/rok]	93	104	110	117	65	79	90	95	104	108	97	111	120	127
energie na kWp [kWh/kWp.rok]	1 045,3	1 033,2	1 012,3	997,5	1 081,4	1 052,3	1 009,4	969,6	920,2	873,3	969,9	951,4	954,3	934,1

Tabulka 3-6: Výsledky simulace jednotlivých variant pokrytí kolejniho bloku FV panely

Z výsledků simulace shrnutých v předchozí tabulce je možné vytvořit porovnání výtěžnosti jednotlivých způsobů instalace fotovoltaických panelů. Jedním z kritérií je porovnání celkové roční vyrobené energie z jednotné instalační plochy, tedy z plochy střechy jednoho kolejniho bloku. Z následujícího grafu je patrné, že s rostoucím návrhovým úhlem a snižováním rozestupů



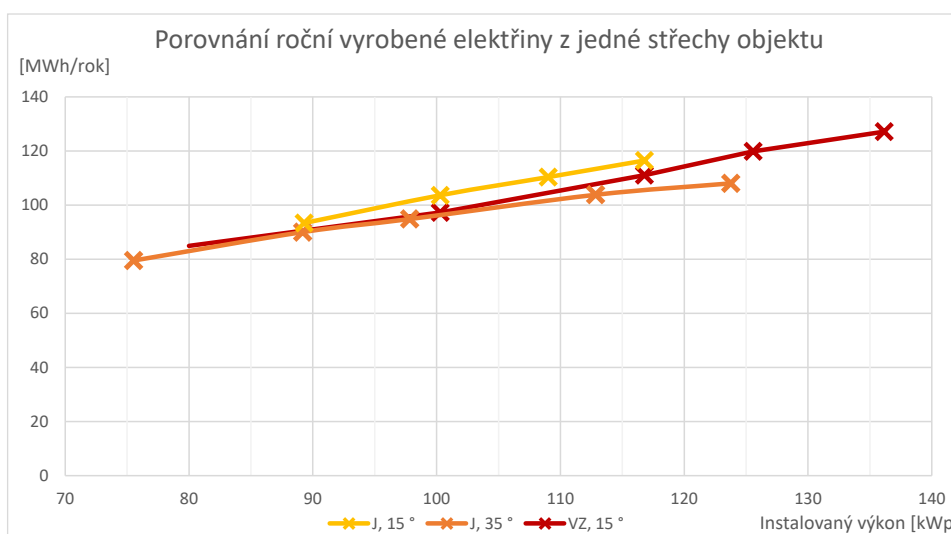
řad fotovoltaických panelů narůstá u jednotlivých variant instalace také jejich celková roční výtěžnost. Nejvýhodnější hodnoty z hlediska množství vyrobené elektrické energie pak dosahuje varianta stříšek orientovaných východozápadním směrem. Pro získání maximální možné vyrobené elektrické energie z fotovoltaické elektrárny je tedy nejvýhodnější volit tuto variantu.



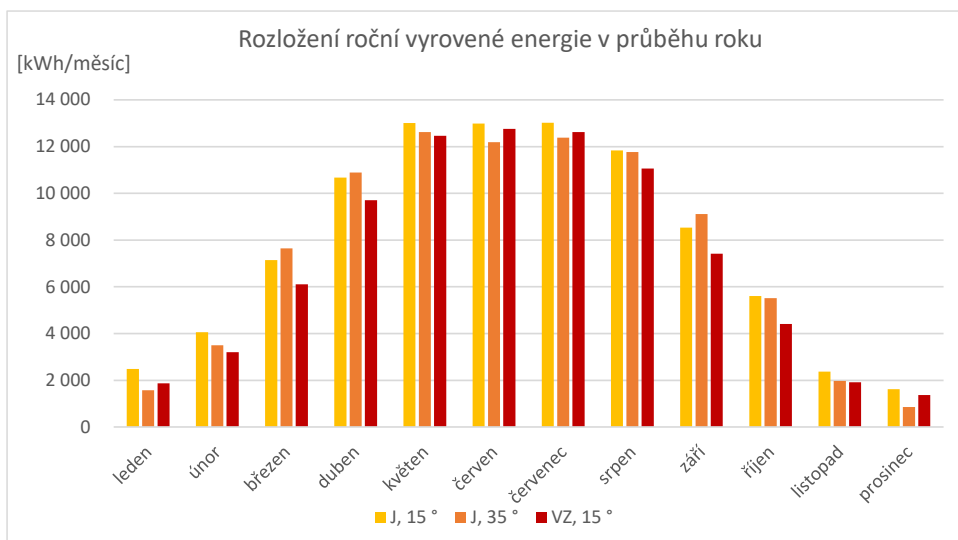
Obrázek 3-4: Roční výnosnost elektřiny pro různé geometrie návrhu

Výsledek předchozího srovnání však ukazuje pouze energetický potenciál jednotlivých variant instalací na dané ploše a nenapovídá nic o instalovaném výkonu a počtu panelů potřebných k dosažení této hodnoty. Z tohoto důvodu jsou uvedené varianty porovnány také z hlediska celoroční bilance výroby elektrické energie při instalaci panelů o proměnné dispozici, avšak stejném instalovaném výkonu.

Z tohoto srovnání vyplývá, že při stejném instalovaném výkonu na stejné instalační ploše dosahují vyšších hodnot roční vyrobené elektrické energie jižně orientované panely se sklonem 15°. Nejrovnoměrnější výrobu elektřiny během jednotlivých dnů v průběhu roku, a tedy i výrobu, která je nejvýhodnější ke spotřebě elektrické energie mají naopak panely s východozápadní orientací.



Obrázek 3-5: Porovnání roční výroby z jedné střechy pro různé geometrie návrhu jižně a východozápadně orientovaných FV panelů



Obrázek 3-6: Roční rozložení vyrobené energie pro různé geometrie návrhu o 100 kWp

### 3.3.1 Způsoby navýšení instalovaného výkonu

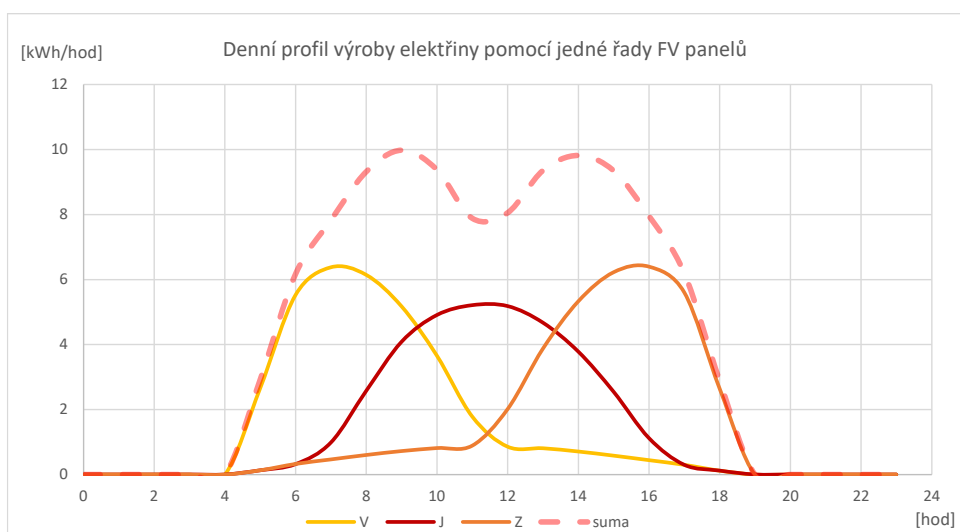
Pro další navýšení hodnoty instalovaného výkonu fotovoltaické elektrárny za plného stavu pokrytí střech jednotlivých budov areálu, kdy již není možné dále snižovat rozestupy mezi jednotlivými řadami fotovoltaických panelů je nutné pro instalaci fotovoltaických ploch nalézt alternativní umístění. Řešením mohou být fasády kolejních bloků, na něž by bylo možné v prostoru vrchních částí objektu fotovoltaické plochy instalovat.

Pro instalaci fotovoltaických panelů na fasádu objektu byly navrženy flexibilní monokrystalické panely o výkonu 430 Wp. Zdánlivě nejvýhodnější fasádou pro instalaci fotovoltaických panelů s nejrovnoměrnejším profilem výroby elektrické energie je jižní plocha objektu. Tato stěna má však u strahovských bloků příliš malou využitelnou plochu a může být pokryta jen malým množstvím fotovoltaických panelů. Pro znatelnější zvýšení instalovaného výkonu je nutno osadit fotovoltaické panely také na stěnách z východní a západní strany objektu. Kombinací těchto ploch lze vytvořit poměrně rovnoměrný profil výroby elektřiny v průběhu dne, jak je znázorněno na následujícím grafu denní výroby. Fotovoltaické řady jsou instalovány mezi jednotlivé okenní otvory. U východních a západních stěn kolejních bloků dochází vlivem stavební pozice okolních budov k jejich zastínění. Z tohoto důvodu jsou jednotlivé řady fotovoltaických panelů instalovány vždy v prostoru vyšších částí fasád.

Profil výroby elektrické energie pomocí panelů umístěných na fasádě objektu byl opět stanoven provedením simulace výroby elektrické energie. Pro zohlednění zastínění, které může mít při tomto způsobu instalace fotovoltaických panelů v zastavěné oblasti velmi výrazný vliv na celkovou výrobu elektrické energie byly do modelu umístěny budovy sousedních bloků. Výsledky simulace pro jednotlivé řady fotovoltaických panelů jsou zobrazeny v tabulce 3-7.



Obrázek 3-7: Pokrytí bloku nástěnnými FV panely ve 4 řadách



Obrázek 3-8: Profil výroby elektřiny pomocí jedné řady FV panelů umístěných na stěně

řada	1	2	3	4
instalovaný výkon [kWp]	21,9	21,9	21,9	21,9
počet panelů [ks]	51	51	51	51
orientace, sklon	V, J, Z, 90°	V, J, Z, 90°	V, J, Z, 90°	V, J, Z, 90°
roční vyrobená el. energie [MWh/rok]	<b>14,3</b>	<b>13,7</b>	<b>13,0</b>	<b>12,6</b>
roční vyrobená el. energie na kWp [kWh/ kWp.rok]	651,1	626,0	592,4	574,2

Tabulka 3-7: Výsledky simulace pokrytí fasády bloku řadami FV panelů

Z výsledků provedené simulace a hodnot roční výroby elektrické energie je patrný značný pokles ve výrobě elektrické energie oproti panelům umístěným na střeše objektu. Tento pokles je způsoben výrazným odklonem panelů od ideálního úhlu instalace a stíněním okolních objektů. Stále však fotovoltaické panely dokáží v nejvyšší řadě vyprodukovat více než 60 % roční produkce ideálně orientovaných panelů. S klesající výškou instalace však výroba vlivem zvyšujícího se stínění značně klesá.



Obrázek 3-9: Maximální uvažované pokrytí bloku FV panely [1]

### 3.3.1.1 Rozšíření fotovoltaické elektrárny na další objekty areálu

Vytvořené modely různých instalací fotovoltaických panelů lze kombinovat na ostatních objektech areálu kolejí pro vytvoření elektráren požadovaných instalovaných výkonů. Varianty o různých instalovaných výkonech lze následně porovnat s předpokládanou modelovou spotřebou areálu, a zvolit tak nejvýhodnější instalaci fotovoltaických panelů s nejvyšší hodnotou využití energie. Výběr vhodné fotovoltaické elektrárny s optimálním instalovaným výkonem byl proveden u každé uvažované varianty využití vyrobené energie a každého způsobu instalace fotovoltaických panelů.

Pro následující simulace byly zvoleny dvě střešní varianty instalace fotovoltaických panelů. Jako energeticky výnosnější varianta byla vybrána instalace orientovaná jižním směrem. Sklon těchto panelů je 15 °, což je podle dříve provedených simulací energeticky výnosnější variantou řešení. Jako zástupce instalace s vyšší soudobostí denního profilu výroby se spotřebou elektrické energie byla zvolena varianta východozápadně orientovaných fotovoltaických panelů, opět instalovaných pod úhlem 15 °. Návrhové úhly určující rozestupy řad fotovoltaických panelů jsou na jednotlivých objektech voleny na základě požadavku celkového instalovaného výkonu fotovoltaické elektrárny. Z důvodu postupného zvyšování celkového instalovaného výkonu jsou modelové varianty postupně rozšiřovány na požadované množství objektů. Pro zvýšení instalovaného výkonu při plném pokrytí všech kolejních bloků byly postupně snižovány vzdálenosti mezi jednotlivými řadami fotovoltaických panelů až na minimum. Další zvýšení výkonu by bylo možné realizovat pomocí doplnění fotovoltaických panelů na fasády objektů. Výsledky simulace jsou zobrazeny v následujících obrázcích a tabulkách.<sup>6</sup>

počet budov	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12	12
instalovaný výkon [kWp]	100	201	301	401	501	602	702	802	903	1 003	1 103	1 203	1 308	1 402
počet panelů [ks]	218	436	654	872	1 090	1 308	1 526	1 744	1 962	2 180	2 398	2 616	2 844	3 048
orientace, sklon	J, 15 °	J, 15 °	J, 15 °	J, 15 °	J, 15 °	J, 15 °	J, 15 °	J, 15 °	J, 15 °	J, 15 °	J, 15 °	J, 15 °	J, 15 °	J, 15 °
návrhový úhel	25 °	25 °	25 °	25 °	25 °	25 °	25 °	25 °	25 °	25 °	25 °	25 °	32 °	39 °
roční vyrobená el. energie [MWh/rok]	101	201	302	403	503	604	705	805	906	1 007	1 107	1 208	1 286	1 357
vyrobená energie za dobu životnosti [MWh/rok]	2 275	4 550	6 825	9 100	11 374	13 649	15 924	18 199	20 474	22 749	25 024	27 299	29 057	30 669

Tabulka 3-8: Výsledky simulace pokrytí střech areálu kolejí jižně orientovanými FV panely o různém instalovaném výkonu

<sup>6</sup> Uvedené hodnoty vyrobené energie jsou sníženy o ztráty jednotlivých komponent fotovoltaické elektrárny

počet budov	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12	12
instalovaný výkon [kWp]	100	200	300	400	501	601	701	801	901	1 001	1 101	1 201	1 305	1 403
počet panelů [ks]	220	440	660	880	1 100	1 320	1 540	1 760	1 980	2 200	2 420	2 640	2 868	3 084
orientace, sklon	VZ, 15°	VZ, 15°	VZ, 15°	VZ, 15°	VZ, 15°	VZ, 15°	VZ, 15°	VZ, 15°	VZ, 15°	VZ, 15°	VZ, 15°	VZ, 15°	VZ, 15°	VZ, 15°
rozestupy [m]	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0,8
roční vyrobená el. energie [MWh/rok]	94	189	283	377	472	566	660	755	849	943	1 037	1 132	1 212	1 296
vyrobená energie za dobu životnosti [MWh/rok]	2 132	4 263	6 395	8 526	10 658	12 789	14 921	17 052	19 184	21 315	23 447	25 578	27 382	29 284

Tabulka 3-9: Výsledky simulace pokrytí střech areálu kolejí stříškami FV panelů o různém instalovaném výkonu

počet budov	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
instalovaný výkon [kWp]	88	175	263	351	439	526	614	702	789	877
počet panelů [ks]	51	102	153	204	255	306	357	408	459	510
orientace, sklon	V, J, Z, 90°	V, J, Z, 90°	V, J, Z, 90°	V, J, Z, 90°	V, J, Z, 90°	V, J, Z, 90°	V, J, Z, 90°	V, J, Z, 90°	V, J, Z, 90°	V, J, Z, 90°
roční vyrobená el. energie [MWh/rok]	54	107	161	214	268	322	375	429	482	536
vyrobená energie za dobu životnosti [MWh/rok]	1 278	2 556	3 835	5 113	6 391	7 669	8 948	10 226	11 504	12 782

Tabulka 3-10: Výsledky simulace pokrytí fasád bloků kolejí FV panely o různém instalovaném výkonu

Zásadním faktorem při návrhu fotovoltaické elektrárny pro budovu či komplex budov však ve většině případů není maximální možné množství vyrobené elektrické energie, ale množství energie, které fotovoltaická elektrárna dokáže objektu uspořít a zastoupit tak energii nakupovanou z distribuční sítě. Charakter spotřeby se však s rozdílným nakládáním s vyrobenou fotovoltaickou elektřinou mění. Výsledky simulace výroby elektřiny bude v následující části diplomové práce možné v hodinovém kroku porovnat se spotřebou energií areálu a určit vhodné využití vyrobené elektrické energie. Simulace jsou provedeny pro různé způsoby spotřeby a využití elektrické energie.

### 3.4 Přímá spotřeba elektřiny

Prvním navrhovaným způsobem využití vyrobené energie je varianta využívající její okamžitou spotřebu pomocí aktuálně pracujících elektrických spotřebičů. U tohoto způsobu řešení není využít žádný způsob akumulace a vyrobenou elektřinu je tedy nutno v každém okamžiku spotřebovat. Proto se zde, více než na maximalizaci výroby elektrické energie, musí dbát na co nejvyšší okamžitou využitelnost vyrobené energie, která je dána soudobostí výroby a spotřeby elektřiny uvnitř areálu. Spotřebu elektrické energie není za současného stavu možno ovlivnit, a proto se nabízí řešení, co nejvíce přizpůsobit výrobu elektrické energie spotřebě už při samotném návrhu fotovoltaické elektrárny. Způsoby jak ve větší či menší míře ovlivnit změny v denním či ročním profilu výroby elektrické energie byly popsány v předcházejících kapitolách práce pojednávajících o návrhu komponent, typech, parametrech či geometrii fotovoltaických panelů.

Pro návrh optimálního řešení fotovoltaického systému bez systému akumulace byl za využití naměřených dat spotřeby elektrické energie v areálu studentských kolejí vytvořen model typické spotřeby elektrické energie vycházející ze skutečně naměřených spotřeb elektřiny v hodinovém kroku. Tento model je vykreslen na grafech 1-6 a 1-14.

#### 3.4.1.1 Instalace FV panelů na střechách objektů

Primárním umístěním fotovoltaických panelů je střešní plocha kolejních bloků. Při návrhu orientace panelů však záleží na velikosti výroby vůči spotřebě areálu. Zatímco při nižších instalovaných výkonech fotovoltaické elektrárny, kdy systém spotřeby dokáže velkou část vyrobené energie využít i při špičkovém profilu výroby, je vhodné navrhovat sklon a orientaci panelů zejména s ohledem na maximální výrobu elektrické energie, při výkonech vyšších je výhodnější navrhovat systém především s ohledem na rovnoměrné rozložení výroby. Při vyšších

instalovaných výkonech elektráren dochází k nárůstu špičkového výkonu, který však objekt nedokáže v daný čas využít. Proto je žádoucí pomocí operativní změny návrhu, i za cenu nižší hodnoty celkové vyrobené energie, zvýšit výrobu v hodinách, kdy je vyrobenou energií možné spotřebovat a napomoci tak vyššímu využití a pokrytí větší části spotřeby objektů. Napříč všemi instalovanými výkony je také vzhledem k rozložení spotřeby areálu kolejí v průběhu roku vhodné navrhovat elektrárnu s co nejrovnoměrnější výrobou energie napříč různými ročními obdobími.

V návrhu fotovoltaického systému je tedy vhodné stanovit hranici instalovaného výkonu, při jejímž překročení se výhodnost fotovoltaického systému mezi variantami s energeticky výnosnějším a spotřebě přizpůsobenějším způsobem řešení mění.

Následně jsou pro různé instalované výkony od minimálního výkonu instalovaného pouze na střešní ploše jednoho objektu až po instalaci s využitím veškeré střešní plochy areálu kolejí porovnány hodnoty využití vyrobené elektrické energie pro jižně a východozápadně orientované panely. Hodnoty využití elektrické energie jsou výsledkem porovnávání hodinové výroby a spotřeby elektrické energie v jednotlivých letech po dobu životnosti fotovoltaické elektrárny. Ve výpočtu je zohledněna postupná ztráta účinnosti fotovoltaických panelů jejich stárnutím a účinnost jednotlivých prvků fotovoltaického systému.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12	12
počet budov														
instalovaný výkon [kWp]	100	201	301	401	501	602	702	802	903	1003	1103	1203	1308	1402
počet panelů [ks]	218	436	654	872	1090	1308	1526	1744	1962	2180	2398	2616	2844	3048
orientace, sklon	J, 15°	J, 15°	J, 15°	J, 15°	J, 15°	J, 15°	J, 15°	J, 15°	J, 15°	J, 15°	J, 15°	J, 15°	J, 15°	J, 15°
návrhový úhel	25°	25°	25°	25°	25°	25°	25°	25°	25°	25°	25°	25°	32°	39°
roční vyrobená el. energie [MWh/rok]	101	201	302	403	503	604	705	805	906	1007	1107	1208	1286	1357
vyrobená energie za dobu životnosti [MWh]	2 275	4 550	6 825	9 100	11 374	13 649	15 924	18 199	20 474	22 749	25 024	27 299	29 574	30 669
využitá energie za dobu životnosti [MWh]	2 275	4 550	6 825	9 100	11 373	13 586	15 676	17 647	19 416	20 954	22 296	23 495	24 287	24 989
využití energie	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,5%	98,4%	97,0%	94,8%	92,1%	89,1%	86,1%	83,6%	81,5%
poměr pokrytí spotřeby	2,5%	5,0%	7,4%	9,9%	12,4%	14,8%	17,1%	19,2%	21,1%	22,8%	24,3%	25,6%	26,5%	27,2%

Tabulka 3-11: Výsledky simulace pokrytí střech areálu kolejí jižně orientovanými FV panely o různém instalovaném výkonu pro variantu bez akumulace energie

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12	12
počet budov														
instalovaný výkon [kWp]	100	200	300	400	501	601	701	801	901	1001	1101	1201	1305	1403
počet panelů [ks]	220	440	660	880	1100	1320	1540	1760	1980	2200	2420	2640	2868	3084
orientace, sklon	VZ, 15°	VZ, 15°	VZ, 15°	VZ, 15°	VZ, 15°	VZ, 15°	VZ, 15°	VZ, 15°	VZ, 15°	VZ, 15°	VZ, 15°	VZ, 15°	VZ, 15°	VZ, 15°
rozestupy [m]	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0,8
roční vyrobená el. energie [MWh/rok]	94	189	283	377	472	566	660	755	849	943	1037	1132	1212	1296
vyrobená energie za dobu životnosti [MWh]	2 132	4 263	6 395	8 526	10 658	12 789	14 921	17 052	19 184	21 315	23 447	25 578	27 382	29 284
využitá energie za dobu životnosti [MWh]	2 132	4 263	6 395	8 526	10 658	12 777	14 818	16 770	18 615	20 285	21 760	23 080	24 036	25 091
využití energie	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,9%	99,3%	98,3%	97,0%	95,2%	92,8%	90,2%	87,8%	85,7%
poměr pokrytí spotřeby	2,3%	4,6%	7,0%	9,3%	11,6%	13,9%	16,1%	18,3%	20,3%	22,1%	23,7%	25,1%	26,2%	27,3%

Tabulka 3-12: Výsledky simulace pokrytí střech areálu kolejí stříškami FV panely o různém instalovaném výkonu pro variantu bez akumulace energie

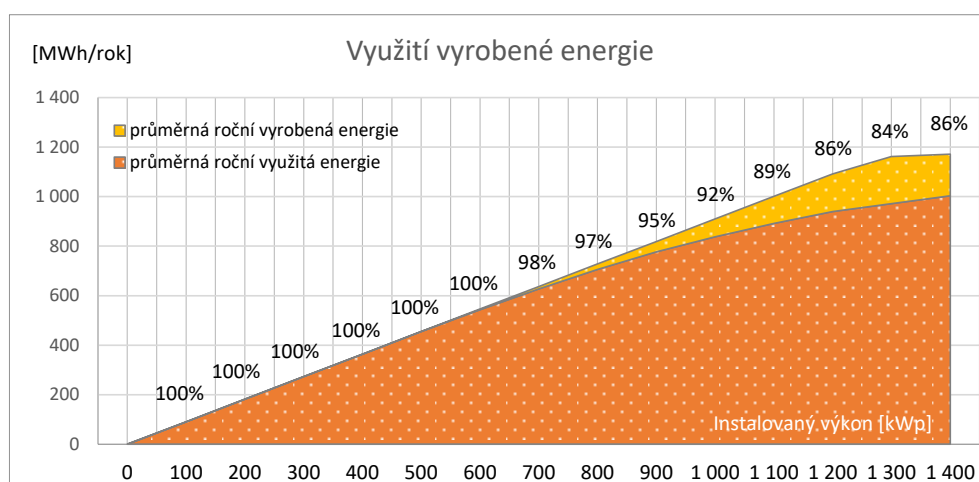
Z výsledků simulace je patrný rozdíl v procentu pokrytí spotřeby vyrobenou elektrickou energií mezi jednotlivými variantami. Tento rozdíl je patrný napříč různými velikostmi instalovaných výkonů fotovoltaických elektráren. Pro fotovoltaické elektrárny do 500 kWp instalovaného výkonu dochází ke 100% využití vyrobené elektrické energie vlastní spotřebou. Nad hranicí 500 kWp začíná docházet k přebytkům vyrobené elektrické energie. Větších přebytků, ale současně také větší přímé spotřeby energie vyrobené fotovoltaickými panely však dosahuje energeticky výnosnější varianta. Stejná bilance přetrvává až do hranice 1 300 kWp instalovaného výkonu, kdy i vlivem snižování vzdáleností řad fotovoltaických panelů dochází ke stínění fotovoltaických panelů v ranních hodinách. Rovnoměrnější výroba a nižší vliv stínění u východozápadně orientovaných panelů ve využití vyrobené energie v tomto případě převyšuje využití energie z výnosnějších, jižně orientovaných fotovoltaických panelů.

Na závěr simulace je tedy možno konstatovat, že z hlediska množství elektrické energie, které je vyrobeno fotovoltaickými panely a zároveň spotřebováno k okamžité spotřebě areálu kolejí je

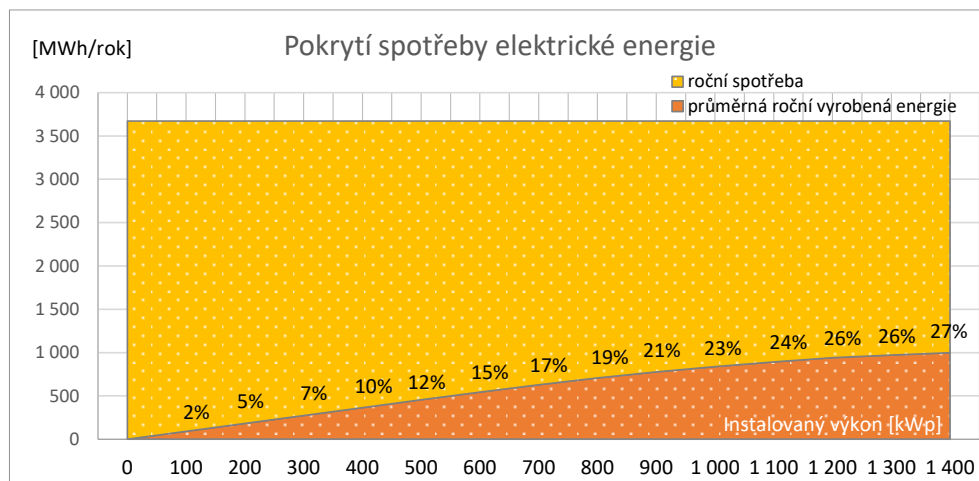
do 1 300 kWp vhodnějším řešením instalace jižně orientovaných fotovoltaických panelů ve sklonu 15 °. Opačná situace nastává nad touto hranicí. Pro tento stav je naopak výhodnější instalace s východozápadně orientovanými panely.

počet budov	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12	12
instalovaný výkon [kWp]	100	201	301	401	501	602	702	802	903	1 003	1 103	1 203	1 308	1 403
počet panelů [ks]	218	436	654	872	1 090	1 308	1 526	1 744	1 962	2 180	2 398	2 616	2 844	3 084
orientace, sklon	J, 15 °	J, 15 °	J, 15 °	J, 15 °	J, 15 °	J, 15 °	J, 15 °	J, 15 °	J, 15 °	J, 15 °	J, 15 °	J, 15 °	J, 15 °	VZ, 15 °
návrhový úhel	25 °	25 °	25 °	25 °	25 °	25 °	25 °	25 °	25 °	25 °	25 °	25 °	32 °	-
roční vyrobená el. energie [MWh/rok]	101	201	302	403	503	604	705	805	906	1 007	1 107	1 208	1 286	1 296
vyrobená energie za dobu životnosti [MWh]	2 275	4 550	6 825	9 100	11 374	13 649	15 924	18 199	20 474	22 749	25 024	27 299	29 057	29 284
využitá energie za dobu životnosti [MWh]	2 275	4 550	6 825	9 100	11 373	13 586	15 676	17 647	19 416	20 954	22 296	23 495	24 287	25 091
využitá energie	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,5%	98,4%	97,0%	94,8%	92,1%	89,1%	86,1%	83,6%	85,7%
poměr pokrytí spotřeby [%]	2,5%	5,0%	7,4%	9,9%	12,4%	14,8%	17,1%	19,2%	21,1%	22,8%	24,3%	25,6%	26,5%	27,3%

Tabulka 3-13: Výsledky simulace pokrytí střešního areálu kolejí FV panely s optimální orientací o různém instalovaném výkonu pro variantu bez akumulace energie



Obrázek 3-10: Využití vyrobené energie střešní FVE bez akumulace energie



Obrázek 3-11: Pokrytí spotřeby areálu pomocí střešní FVE bez akumulace energie

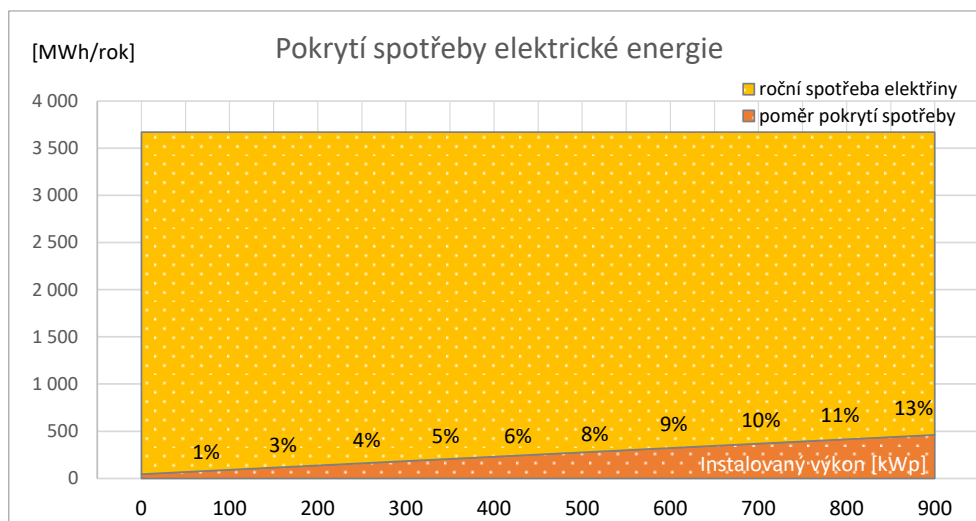
### 3.4.1.2 Instalace FV panelů na stěnách objektů

Alternativním způsobem instalace fotovoltaické elektrárny je umístění jejích fotovoltaických panelů na fasádě objektu. Pro celkový návrh je opět využít již dříve vytvořený a popsany model výroby elektrické energie. Fotovoltaické panely jsou postupně rozšiřovány až na deset kolejních bloků. Kvůli složitému členění fasády není fotovoltaickými panely pokryt administrativní blok 1 a

kvůli malé ploše a nízké výšce objektu je z úvahy pro instalaci fotovoltaických panelů na fasádě vyřazen také blok 12.

počet budov	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
instalovaný výkon [kWp]	88	175	263	351	439	526	614	702	789	877
počet panelů [ks]	204	408	612	816	1 020	1 224	1 428	1 632	1 836	2 040
orientace, sklon	V, J, Z, 90 °	V, J, Z, 90 °	V, J, Z, 90 °	V, J, Z, 90 °	V, J, Z, 90 °	V, J, Z, 90 °	V, J, Z, 90 °	V, J, Z, 90 °	V, J, Z, 90 °	V, J, Z, 90 °
roční vyrobená el. energie [MWh/rok]	54	107	161	214	268	322	375	429	482	536
vyrobená energie za dobu životnosti [MWh]	1 156	2 311	3 467	4 622	5 778	6 933	8 089	9 244	10 400	11 555
využitá energie za dobu životnosti [MWh]	1 156	2 311	3 467	4 622	5 778	6 933	8 089	9 244	10 400	11 555
využití energie	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %
poměr pokrytí spotřeby	1,3%	2,5%	3,8%	5,0%	6,3%	7,6%	8,8%	10,1%	11,3%	12,6%

Tabulka 3-14: Výsledky simulace pokrytí fasád bloků kolejí FV panely o různém instalovaném výkonu pro variantu bez akumulace energie



Obrázek 3-12: Pokrytí spotřeby areálu pomocí nástěnné FVE bez akumulace energie

V porovnání oproti střešním panelům mají nástěnné fotovoltaické panely na stejný instalovaný výkon menší výslednou hodnotu vyrobené elektrické energie. Z důvodu nižší výtěžnosti a velmi rovnoměrnému průběhu spotřeby elektrické energie je pro všechny varianty využita veškerá vyrobená elektrická energie. Pro stejnou hodnotu roční vyrobené energie je však nutné panely instalované na fasádě objektu oproti střešním panelům předimenzovat zhruba 1,6krát.

### 3.1 Spotřeba elektřiny s akumulací prvky energie

Dalším navrhovaným způsobem využití vyrobené energie je doplnění spotřeby areálu o systém krátkodobé akumulace. Krátkodobý způsob ukládání energie je řešen pomocí bateriových úložišť. Jiným řešením, kterým lze přebytečnou elektrickou energii okamžitě spotřebovat je rozšíření spotřeby elektrické energie v areálu kolejí o pomocný elektrický ohřev vody v zásobnících teplé vody. Ohřev otopné vody určené k vytápění objektu není z důvodu nízkých přebytků vyrobené elektrické energie uvažován.

Vzhledem k možnosti uchování přebytků energie vyrobené fotovoltaickými panely se rozšíří oblast možného navýšení instalovaného výkonu, pro kterou bude maximální množství vyrobené elektrické energie upřednostňováno před nižší, však rovnoměrnější výrobou elektřiny. Z tohoto důvodu jsou pro pokrytí střešních voleny pouze panely s jižní orientací.



Pro model spotřeby objektu je opět využit profil typické spotřeby elektrické energie. V případě využívání přebytků elektrické energie k ohřevu teplé vody je k přímé spotřebě elektrické energie doplněn také typický průběh spotřeby teplé vody v areálu kolejí. Ten je podle velikosti přebytků navržen na vhodný počet zásobníků teplé vody.

Model celkové výroby elektrické energie v areálu kolejí je opět pro různé instalované výkony fotovoltaické elektrárny sestavován z dříve vytvořených modelů. Instalované výkony fotovoltaických panelů jsou postupně zvyšovány od 500 kWp. Do této hodnoty dokáže elektrická spotřeba areálu veškerou vyrobenou elektrickou energii využít, nedochází k jejím přebytkům a akumulace elektrické energie tak pro tyto instalované výkony nemá smysl.

Pro navýšení instalovaného výkonu a celkové roční produkce elektrické energie mohou být střešní fotovoltaické panely doplněny o fotovoltaické panely instalované na fasádě objektu. Toto doplnění může přinést zvýšení instalovaného výkonu fotovoltaických elektráren až o 60 % a vyrobené energie až o 45 %.

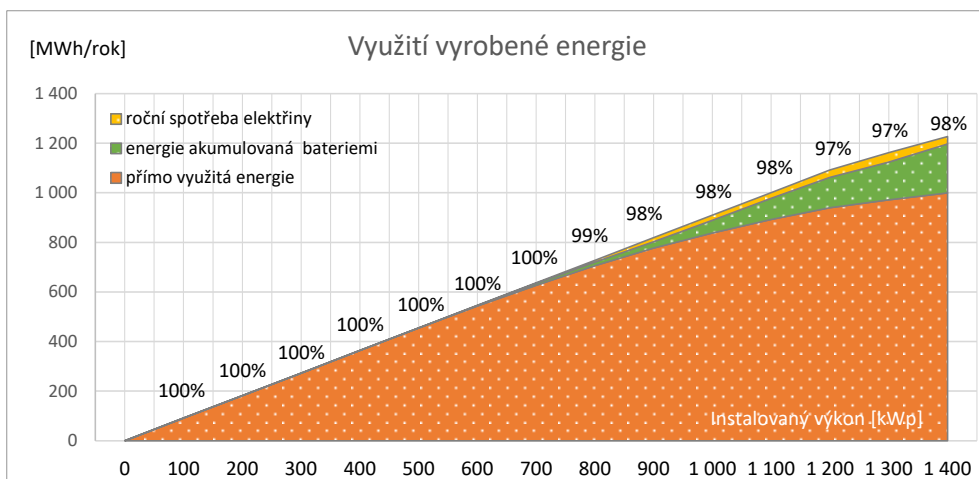
### 3.1.1 Akumulace elektrické energie do bateriových úložišť

Přínos doplnění systému fotovoltaiky o akumulaci pomocí fyzické baterie byl opět vyhodnocen porovnáním využití elektrické energie, kterou fotovoltaický systém dodá areálu kolejí. Jelikož systém fotovoltaické elektrárny s bateriovým úložištěm není kvůli nízkým přetokům elektrické energie po ekonomické stránce příliš výhodný (jak bude dokázáno v ekonomické kapitole práce), není možné kapacitu bateriového úložiště volit podle maximalizace ekonomických kritérií. Navzdory finanční nevýhodnosti však může systém akumulace elektrické energie přinést areálu i jiné benefity, kterými může být například využití baterie jako záložního zdroje při výpadku elektrického proudu, omezení kritických hodnot čtvrt hodinových maxim nebo vyšší nezávislost na energetické síti.

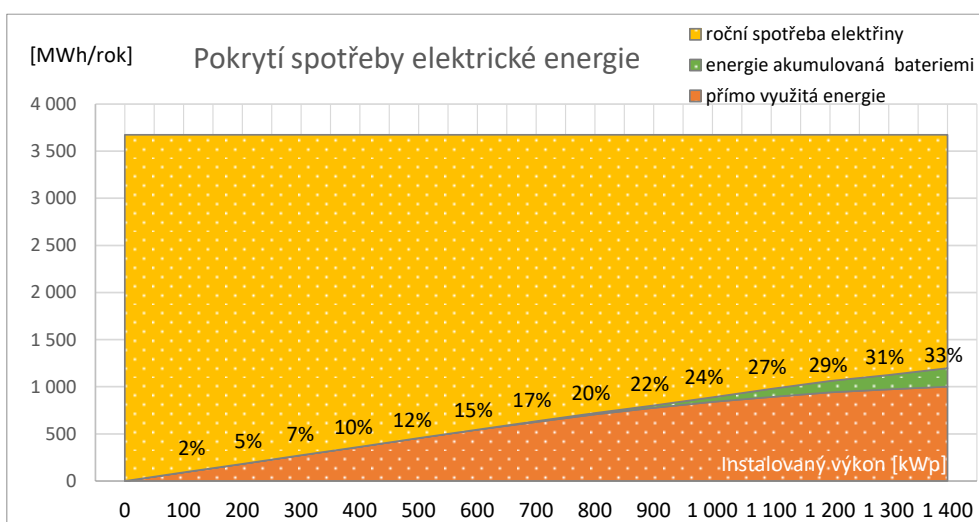
Pro porovnání více způsobů využití vyrobené elektrické energie však byla varianta fotovoltaické elektrárny s bateriovým úložištěm také vytvořena. Velikost úložiště byla volena pro různé výkony tak, aby došlo k maximálnímu využití elektrické energie za co nejmenší kapacity bateriového úložiště.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12	12
počet budov														
instalovaný výkon [kWp]	100	201	301	401	501	602	702	802	903	1 003	1 103	1 203	1 308	1 402
počet panelů [ks]	218	436	654	872	1 090	1 308	1 526	1 744	1 962	2 180	2 398	2 616	2 844	3 048
kapacita baterie [kWh]	0	0	0	0	50	250	400	450	500	800	1 200	1 500	1 700	2 300
orientace, sklon	J, 15 °	J, 15 °	J, 15 °	J, 15 °	J, 15 °	J, 15 °	J, 15 °	J, 15 °	J, 15 °	J, 15 °	J, 15 °	J, 15 °	J, 15 °	J, 15 °
návrhový úhel	25 °	25 °	25 °	25 °	25 °	25 °	25 °	25 °	25 °	25 °	25 °	25 °	32 °	39 °
roční vyrobená el. energie [MWh/rok]	101	201	302	403	503	604	705	805	906	1 007	1 107	1 208	1 286	1 357
vyrobená energie za dobu životnosti [MWh]	2 275	4 550	6 825	9 100	11 374	13 649	15 924	18 199	20 474	22 749	25 024	27 299	29 057	30 669
přímou využitá energie za dobu životnosti [MWh]	2 275	4 550	6 825	9 100	11 373	13 586	15 676	17 647	19 416	20 954	22 296	23 495	24 287	24 989
využití z baterie za dobu životnosti FV [MWh]	0	0	0	0	2	58	199	364	645	1 274	2 151	3 063	3 804	4 932
využitá energie za dobu životnosti [MWh]	2 275	4 550	6 825	9 100	11 374	13 644	15 875	18 011	20 061	22 228	24 447	26 557	28 091	29 922
využití energie	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	99,7 %	99,0 %	98,0 %	97,7 %	97,7 %	97,3 %	96,7 %	97,6 %
poměr pokrytí spotřeby	2,5 %	5,0 %	7,4 %	9,9 %	12,4 %	14,9 %	17,3 %	19,6 %	21,8 %	24,2 %	26,6 %	28,9 %	30,6 %	32,6 %

Tabulka 3-15: Výsledky simulace pokrytí střech areálu kolejí FV panely o různém instalovaném výkonu pro variantu s akumulací do baterií



Obrázek 3-13: Využití vyrobené energie FVE s akumulací do baterií



Obrázek 3-14: Pokrytí spotřeby areálu pomocí FVE s akumulací do baterií

Z porovnání s navrhovanými fotovoltaickými elektrárnami o stejném instalovaném výkonu a přímé spotřebě vyrobené elektrické energie dosahují systémy s akumulací větší hodnoty pokrytí spotřeby areálu kolejí. Zvýšení pokrytí elektrické spotřeby je však poznamenáno znatelně vyššími investičními náklady do systému bateriového úložiště. Celkový ekonomický přínos bude vyčíslen v ekonomické kapitole diplomové práce.

### 3.1.2 Akumulace elektrické energie do zásobníků teplé vody

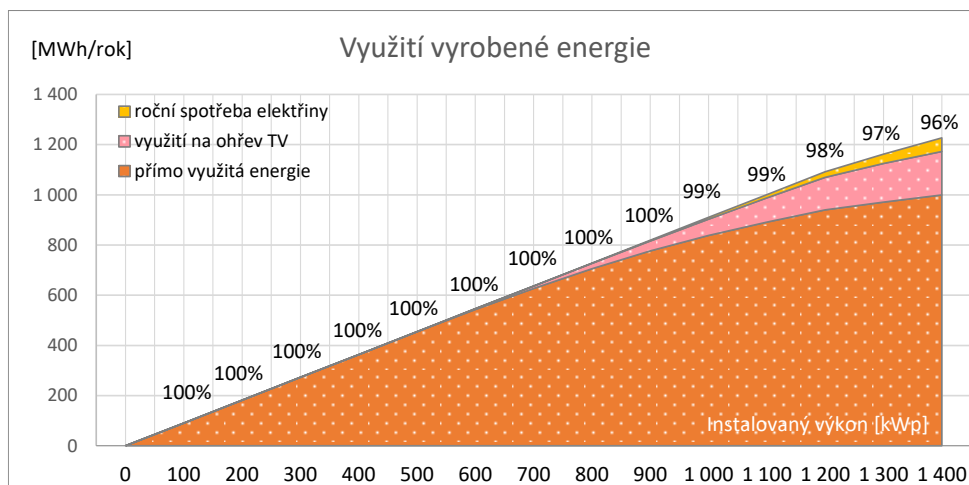
Dalším způsobem akumulace vyrobené elektrické energie je přeměna jejich přebytků na energii tepelnou, kterou je možno přehřívat vodu v zásobnících teplé vody. Tato přeměna je realizována pomocí elektrických topných spirál umístěných v zásobnících teplé vody.

Pro porovnání jednotlivých variant řešení jsou opět rozšiřovány předem vytvořené modely fotovoltaické elektrárny. Primárně je vyrobená elektrická energie využívána na spotřebu elektřiny v areálu kolejí. Přebytky nespotřebované elektrické energie jsou v daném objektu převedeny na energii tepelnou a pomáhají k ohřevu vody v zásobníku teplé vody. Vzhledem k vysoké spotřebě teplé vody během hodin, kdy fotovoltaická elektrárna vyrábí elektrickou

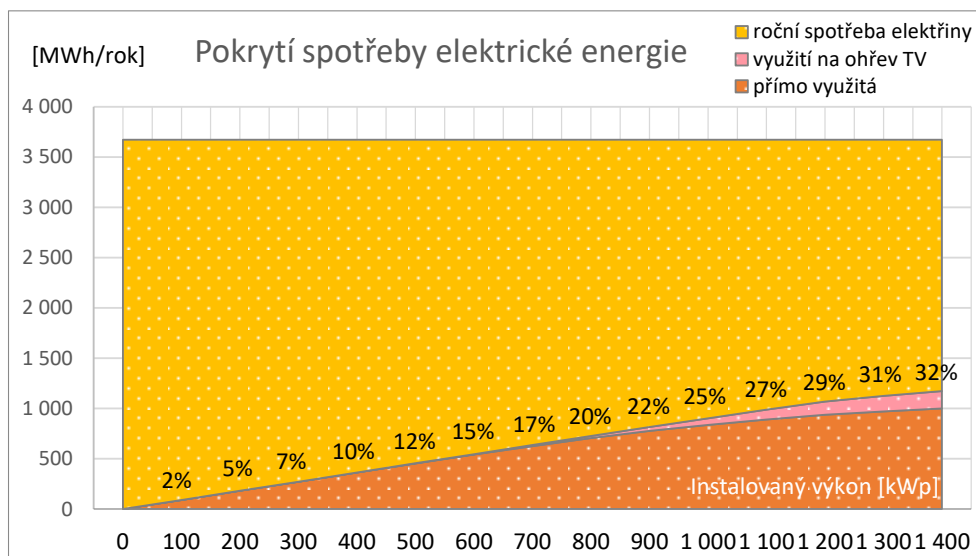
energii není zásobník teplé vody přehříván nad požadovanou teplotu a přebytečná energie je využita pouze na pomocný přehřev teplé vody místo plynových kotlů.

počet budov	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12	12
instalovaný výkon [kWp]	100	201	301	401	501	602	702	802	903	1003	1103	1203	1308	1402
počet panelů [ks]	218	436	654	872	1 090	1 308	1 526	1 744	1 962	2 180	2 398	2 616	2 844	3 048
návrhový úhel	25 °	25 °	25 °	25 °	25 °	25 °	25 °	25 °	25 °	25 °	25 °	25 °	32 °	39 °
roční vyrobená el. energie [MWh/rok]	101	201	302	403	503	604	705	805	906	1 007	1 107	1 208	1 286	1 357
vyrobená energie za dobu životnosti [MWh]	2 275	4 550	6 825	9 100	11 374	13 649	15 924	18 199	20 474	22 749	25 024	27 299	29 057	30 669
přímo využitá energie za dobu životnosti [MWh]	2 275	4 550	6 825	9 100	11 373	13 586	15 676	17 647	19 416	20 954	22 296	23 495	24 287	24 989
ohřev za dobu životnosti FV [MWh]	0	0	0	0	2	63	247	533	984	1 623	2 398	3 244	3 825	4 318
využitá energie za dobu životnosti [MWh]	2 275	4 550	6 825	9 100	11 374	13 649	15 923	18 180	20 400	22 576	24 694	26 739	28 111	29 308
využití energie	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	99,9 %	99,6 %	99,2 %	98,7 %	97,9 %	96,7 %
poměr pokrytí spotřeby	2,5 %	5,0 %	7,4 %	9,9 %	12,4 %	14,9 %	17,3 %	19,8 %	22,2 %	24,6 %	26,9 %	29,1 %	30,6 %	31,9 %

Tabulka 3-16: Výsledky simulace pokrytí střešních areálů kolejí FV panely o různém instalovaném výkonu pro variantu s akumulací do TV



Obrázek 3-15: Využití vyrobené energie střešní FVE s akumulací energie do zásobníků TV



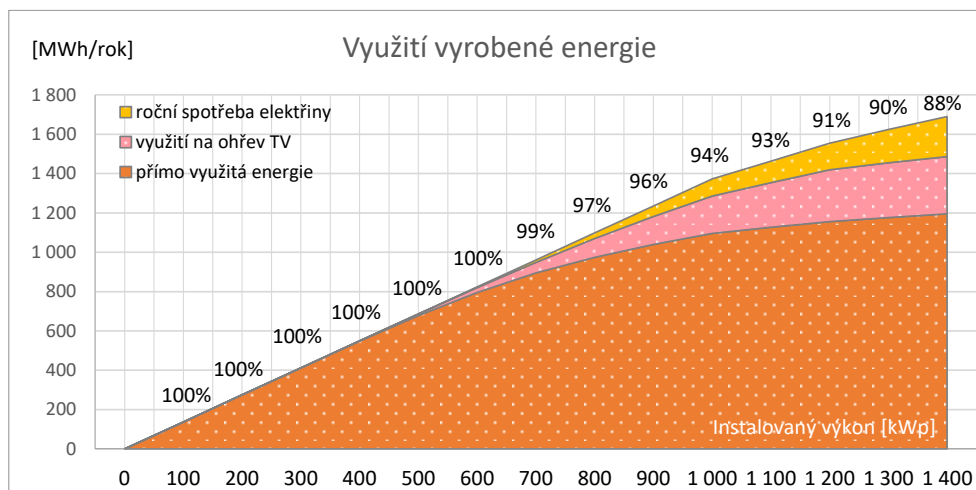
Obrázek 3-16: Pokrytí spotřeby areálu střešní FVE s akumulací energie do zásobníků TV

Z výsledků simulace vyplývá, že v důsledku velké spotřeby teplé vody v objektech areálu kolejí je využita téměř všechna vyrobená elektrická energie. Pro všechny instalované výkony je využití vyrobené energie větší než 95 %. Z tohoto důvodu je možné doplnit střešní fotovoltaickou elektrárnou o fotovoltaické panely na fasádě objektu, které zvýší instalovaný výkon fotovoltaické

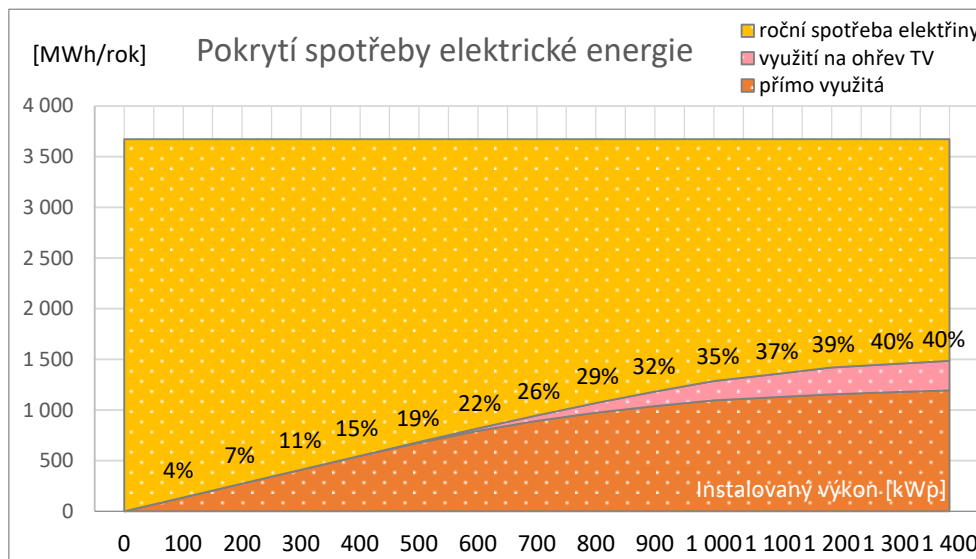
elektrárny a tím i množství vyrobené elektrické energie, kterou bude možné z velké části v areálu využít.

počet budov	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12	12
instalovaný výkon [kWp]	188	376	564	752	940	1 128	1 316	1 504	1 692	1 880	1 980	2 080	2 185	2 279
počet panelů [ks]	422	844	1 266	1 688	2 110	2 532	2 954	3 376	3 798	4 220	4 438	4 656	4 884	5 088
roční vyrobená el. energie [MWh/rok]	154	309	463	617	771	926	1 080	1 234	1 388	1 543	1 643	1 744	1 822	1 893
vyrobená energie za dobu životnosti [MWh]	3 430	6 861	10 291	13 722	17 152	20 582	24 013	27 443	30 874	34 304	36 579	38 854	40 612	42 224
přímo využitá energie za dobu životnosti [MWh]	3 430	6 861	10 291	13 711	16 932	19 868	22 363	24 341	25 980	27 396	28 182	28 900	29 401	29 870
ohřev za dobu životnosti FV [MWh]	0	0	0	10	213	618	1 327	2 387	3 566	4 752	5 660	6 596	6 975	7 288
využitá energie za dobu životnosti [MWh]	3 430	6 861	10 291	13 722	17 145	20 486	23 689	26 727	29 545	32 148	33 842	35 496	36 376	37 158
využití energie	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,5%	98,7%	97,4%	95,7%	93,7%	92,5%	91,4%	89,6%	88,0%
poměr pokrytí spotřeby	3,73%	7,47%	11,20%	14,94%	18,67%	22,30%	25,79%	29,10%	32,17%	35,00%	36,85%	38,65%	39,61%	40,46%

Tabulka 3-17: Výsledky simulace pokrytí střech a fasád areálu kolejí FV panely o různém instalovaném výkonu pro variantu s akumulací do TV



Obrázek 3-17: Využití vyrobené energie střešní a nástěnné FVE s akumulací energie do zásobníků TV



Obrázek 3-18: Pokrytí spotřeby areálu střešní a nástěnnou FVE s akumulací energie do zásobníků TV

## 3.2 Ekonomika projektu

Díky výsledkům provedené studie je po stanovení cen energií možné vypočítat finanční úspory, které jednotlivá řešení fotovoltaických elektráren přinášejí. Tyto částky se každoročně mění s ohledem na klesající účinnost fotovoltaické elektrárny a mění se cenu energetických komodit. K návrhům jsou následně doplněny ostatní komponenty fotovoltaických elektráren popsané v teoretické části práce. Na základě jejich cen a nákladů souvisejících s instalací jsou stanoveny investiční náklady jednotlivých variant řešení. Z těchto údajů je pomocí ekonomických ukazatelů zpracována ekonomická analýza a výhodnost investic pro jednotlivé výkony fotovoltaické elektrárny, ze které by měla být patrná ekonomicky nejvýhodnější varianta využití vyrobené energie a optimální hodnota instalovaného výkonu.

Veškeré ceny v této diplomové práci jsou uváděny bez DPH.

### 3.2.1 Cena komponentů fotovoltaické elektrárny

Celková cena fotovoltaické elektrárny je složena z dílčích částí, které jsou v následujících tabulkách rozděleny do 3 kategorií. Tyto třídy zahrnují ceny za jednotlivé prvky fotovoltaického systému, práci a služby. Položky celkové ceny fotovoltaické elektrárny jsou rozlišovány na fixní a variabilní, tedy položky nezávislé a závislé na instalovaném výkonu či počtu osazených budov. Díky tomu vzniká rozdílná cena za 1 kWp fotovoltaické elektrárny v závislosti na výši instalovaného výkonu.

Technologie:

	<b>Jednotková cena</b>
FV panely SUNOVA SOLAR 460 Wp	3 926 Kč/ks
FV panely SUNMAN 430 Wp	6 553 Kč/ks
Konstrukce pro šikmé střechy	2 540 Kč/ks
Konstrukce pro flexi panely	2 540 Kč/ks
Střídač Huawei SUN	143 866 Kč/ks
Baterie (LiFePO4)	16 955 Kč/kWh
Topné těleso	13 237 Kč/ks
Optimizer	1 036 Kč/ks
Elektroinstalace	1 698 Kč/ks
Monitoring	16 307 Kč/objekt

Tabulka 3-18: Rozložení ceny technologické složky fotovoltaické elektrárny

Cena elektroinstalace zahrnuje elektroinstalaci rozvaděče, kabeláž na stejnosměrné a střídavé straně, jistící prvky, kabelový žlab a chráničky kabelů. Cena za monitoring pak obsahuje výkonový snímač a SmartLogger.

Práce:

	<b>Jednotková cena</b>
Práce elektro	1 420 Kč/ks
Práce montáž panelů	520 Kč/ks
Práce montáž baterie	24 000 Kč/objekt
Práce na topném tělesu	16 000 Kč/objekt

Tabulka 3-19: Rozložení ceny technologické složky fotovoltaické elektrárny

Služby:

	<b>Jednotková cena</b>
Elektroprojekt, smlouva o připojení, žádost o připojení, ...	30 000 Kč/areál
Projekt pro stavební povolení	54 000 Kč/areál
Požárně bezpečnostní řešení	24 000 Kč/objekt
Licence ERÚ, OTE	12 000 Kč/areál
Statický posudek	42 000 Kč/objekt
Stavební povolení	36 000 Kč/areál
Distribuční řízení FVE	174 000 Kč/objekt
Revize	24 000 Kč/objekt
Doprava	98 000 Kč/objekt

Tabulka 3-20: Rozložení ceny technologické složky fotovoltaické elektrárny

### 3.2.2 Cena elektřiny a plynu, diskont

„Pro obchod s energií vyrobenou v České republice je velmi důležitá burza v Německu, konkrétně v Lipsku, protože právě tam se obchoduje s energiemi pro střední Evropu, kam spadá i Česká republika.“ [60] Ceny zatím nakoupené elektrické energie a plynu pro nadcházející roky jsou zobrazeny v následujících tabulkách. Elektřina a plyn byly obchodovány za aktuálního kurzu, a proto také přepočtení jejich cen je proveden podle aktuálního kurzu koruny k euru, který podle údajů ČNB [61] činí 23,40 Kč/EUR. <sup>7</sup>

	<b>Cena elektřiny [EUR/MWh]</b>	<b>Cena elektřiny [Kč/MWh]</b>
<b>2024</b>	144,84	3 389,26
<b>2025</b>	124,81	2 920,55
<b>2026</b>	110,28	2 580,55

Tabulka 3-21: Nasmlouvané ceny silové složky elektrické energie [62]

	<b>Cena plyn [EUR/MWh]</b>	<b>Cena plyn [Kč/MWh]</b>
<b>2024</b>	57,31	1 341,05
<b>2025</b>	50,59	1 183,90
<b>2026</b>	40,83	955,45
<b>2027</b>	36,35	850,64

Tabulka 3-22: Nasmlouvané ceny silové složky plynu [63]

Výše uvedené hodnoty jsou ceny nakoupené silové elektřiny a plynu, které jsou jen částí celkové fakturované částky. U elektřiny dále tvoří celkovou výši ceny složka za distribuci a přenos, cena za systémové služby, cena na podporu elektřiny z podporovaných zdrojů energie, cena za činnost operátora trhu, platba za rezervovanou kapacitu odvíjející se od hodnoty rezervovaného ¼ hodinového maxima a daň z elektřiny. U zemního plynu se jedná o ceny za distribuci plynu, ceny za služby operátora trhu, ceny ostatních služeb dodávky zemního plynu a daň ze zemního plynu. Dále je podobně jako u elektřiny účtována cena za denní rezervovanou kapacitu, jejíž hodnota vychází z maximální denní spotřeby za poslední 3 roky.

Tyto částky určuje pro každý následující rok Energetický regulační úřad v tzv. cenových rozhodnutích [64]. Energetické regulační věstníky však nejsou pro následující roky ERU

<sup>7</sup> Nakoupené ceny elektřiny a plynu i kurz koruny k euru je uvažováno ke dni 7.5.2023.

v současné době zveřejněny. Z tohoto důvodu bude cena za regulované složky jednotlivých komodit stanovena na základě aktuálního roku 2023.<sup>8</sup>

<b>Měsíční cena za roční rezervovanou kapacitu</b>	192 953,00 Kč/MW
<b>Cena za použití sítí provozovatele distribuční soustavy</b>	72,96 Kč/MWh
<b>Platba na podporu el. z podporovaných zdrojů energie</b>	495,00 Kč/MWh
<b>Platba na podporu el. z podporovaných zdrojů energie</b>	51 463,94 Kč/MW/měsíc
<b>Systémové služby</b>	113,53 Kč/MWh
<b>Cena na činnost OTE</b>	3,43 Kč/měsíc
<b>Daň z elektřiny</b>	28,30 Kč/MWh

*Tabulka 3-23: Tabulka regulovaných složek elektřiny [65]*

<b>Roční cena za distribuovaný plyn</b>	48,11 Kč/MWh
<b>Cena za činnost OTE</b>	1,83 Kč/MWh
<b>Denní rezervovaná kapacita</b>	263 674,52 Kč/tis. m <sup>3</sup> /rok
<b>Daň ze zemního plynu</b>	30,60 Kč/MWh

*Tabulka 3-24: Tabulka regulovaných složek plynu [66]*

Cena na podporu elektřiny z podporovaných zdrojů energie je z důvodu energetické krize v ČR pro rok 2023 nulová. Nedá se však předpokládat, že tato složka platby bude odpuštěna i v nadcházejících letech, a proto je ve výpočtech uvažována cena z roku 2022, která se více přibližuje odhadům plateb na POZE následujících let.

Vedle cen za energii je do ekonomických výpočtů projektu nutno zvolit také diskontní sazbu, která zahrnuje měnící se časovou hodnotu peněz a rizika uvažované investice. Jedná se o hodnotu vyjadřující minimální požadovanou míru výnosnosti investice, tedy maximální výnos alternativních investičních variant s obdobnými mírami rizika. Diskontní sazba pak slouží k převodu budoucích peněžních toků na jejich současnou hodnotu. [67], [68], [69]

Pro účely studie řešené v této diplomové práci je s ohledem na nízkou rizikovitost investice a výnosnosti alternativních investic cena diskontu stanovena na 5,5 %.

### 3.2.3 Výpočet ekonomických ukazatelů

Jednotlivé varianty fotovoltaických elektráren, které byly vytvořeny a popsány v předcházejících kapitolách studie se pro každý způsob využití liší zejména celkovým instalovaným výkonem. Srovnání jednotlivých variant o různém instalovaném výkonu byla provedena pomocí ekonomického kritéria čisté současné hodnoty (NPV).

Čistá současná hodnota je součet současných hodnot peněžních toků jednotlivých let investice. Toto kritérium tak zohledňuje všechny peněžní toky po dobu trvání investice od investičních nákladů, až po její likvidaci. Díky započtení diskontu zohledňuje také proměnnou hodnotu peněz v čase. Finančně výhodné investice vycházejí s kladnou hodnotou NPV, ztrátové s hodnotou zápornou. Ekonomicky nejvýhodnější investicí je pak varianta s maximální hodnotou čisté současné hodnoty.

<sup>8</sup> Ceny regulovaných složek jsou uvedeny pro oblast Prahy

Výpočet čisté současné hodnoty probíhá podle vzorce:

$$NPV = \sum_{t=1}^{T_z} CF_T \cdot (1 + r)^{-t}, \quad (3-1)$$

NPV	čistá současná hodnota [Kč],
$T_z$	doba životnosti investice [rok],
$r$	diskontní sazba [-],
$CF_T$	peněžní tok v čase $T$ [Kč],
$t$	čas [rok].

Pro větší názornost je v ekonomické analýze vypočtena také diskontovaná doba návratnosti jednotlivých projektů vycházející ze vztahu:

$$PP: Inv = \sum_{t=1}^{PP} \frac{CF_t}{(1 + r)^t}, \quad (3-2)$$

$PP$	doba návratnosti investice [rok],
$Inv$	investice [Kč],
$CF_t$	peněžní tok v čase $t$ [Kč],
$r$	diskontní sazba [-]
$t$	čas [rok].

### 3.2.4 Citlivostní analýza ekonomické výhodnosti variant FVE

Podle cen jednotlivých prvků fotovoltaické elektrárny a činností souvisejících s jejich montáží či přípravou jsou v následujících odstavcích naceněny varianty s plynule rostoucími instalovanými výkony. S pomocí dat o využitelné vyrobené energii a předpokládaných cen elektřiny a plynu je možné vyčíslit finanční úsporu pro jednotlivé roky provozu fotovoltaického systému. Roční úspora se pro jednotlivé roky projektu však výrazně mění s ohledem na klesající účinnost systému a z něj plynoucí hodnoty vyčíslené vyrobené energie. V jednotlivých letech se liší také předpokládané ceny energetických komodit a časová hodnota peněz. Z těchto údajů je pro každý rok investice vypočtena bilance peněžních toků souvisejících s investicí. Pomocí nich je následně posuzována výhodnost projektů, která je vyhodnocována pomocí čisté současné hodnoty (NPV) a diskontované doby návratnosti počítaných podle vzorců (3-1) a (3-2).

Pro ekonomické výpočty a výpočty finančních úspor je nutno počítat s variabilními složkami cen, které jsou závislé na odebrané energii. Ceny energií jsou tedy pro účely ekonomické analýzy součtem variabilní části regulované složky ceny a ceny za silovou složku elektrické energie a plynu. Silové složky energií jsou ve výpočtech uvažovány podle již nakoupených cen pro nadcházející roky. V letech, pro které není silová složka dopředu nakoupena je uvažována cena z posledního zaslavněného roku navýšená o každoroční eskalaci ve výši 2 %.

Do výpočtů jsou v letech, ve kterých končí životnosti jednotlivých částí fotovoltaické elektrárny zahrnuty náklady na jejich obnovu. Obnova střídače a baterií je za dobu trvání investice uvažována pouze jednou, konkrétně na konci 13. roku investice. Pro obnovu zařízení je vypočítána cena vycházející z aktuálních cen, které jsou ročně navýšeny o hodnotu 2 % způsobenou



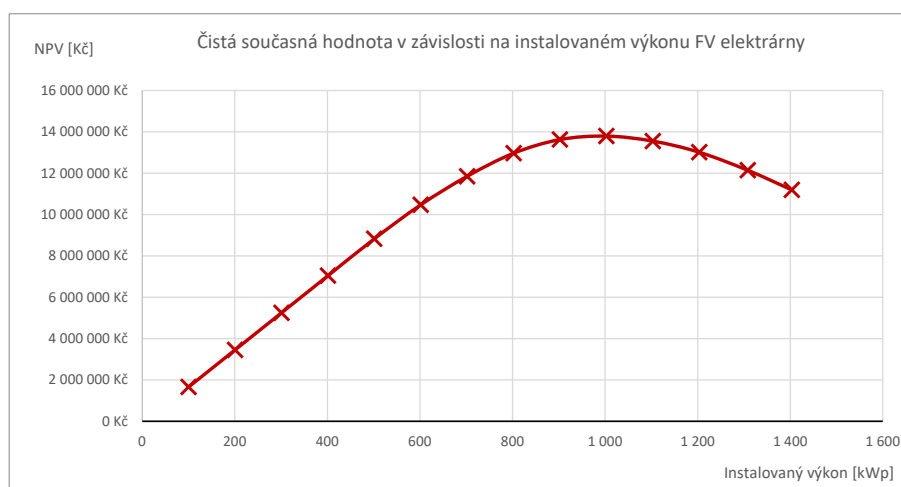
inflací. [67] Tato hodnota je stanovena na základě dlouhodobého inflačního cíle ČNB. Doby životností fotovoltaických panelů, topné spirály a ostatních částí fotovoltaické elektrárny jsou vyšší než uvažovaný investiční horizont, a proto nejsou náklady na jejich obnovu v ekonomických výpočtech zahrnuty.

### 3.2.4.1 FVE s přímou spotřebou elektrické energie

#### Střešní fotovoltaická elektrárna

počet budov	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12	
instalovaný výkon [kWp]	100	201	301	401	501	602	702	802	903	1 003	1 103	1 203	1 308	1 403
cena [Kč]	3 099 237	6 066 473	9 033 710	12 000 947	14 968 184	17 935 420	20 902 657	23 869 894	26 837 130	29 804 367	32 771 604	35 738 840	38 279 009	40 952 870
cena na kWp [Kč/kWp]	30 906	30 248	30 028	29 919	29 853	29 809	29 778	29 754	29 736	29 721	29 709	29 699	29 260	29 185
průměrná roční úspora [Kč]	364 336	728 671	1 093 007	1 457 342	1 821 435	2 176 196	2 510 942	2 826 549	3 109 992	3 355 675	3 569 263	3 758 982	3 889 160	4 020 091
NPV [Kč]	1 661 031	3 454 063	5 247 094	7 040 125	8 828 324	10 473 136	11 852 790	12 967 460	13 629 822	13 796 305	13 554 396	13 015 008	12 141 764	11 195 269
doba návratnosti [rok]	14	13	13	13	13	13	13	14	14	15	15	16	19	20

Tabulka 3-25: Souhrn ekonomických kritérií pro návrhy střešní FVE bez akumulace elektrické energie

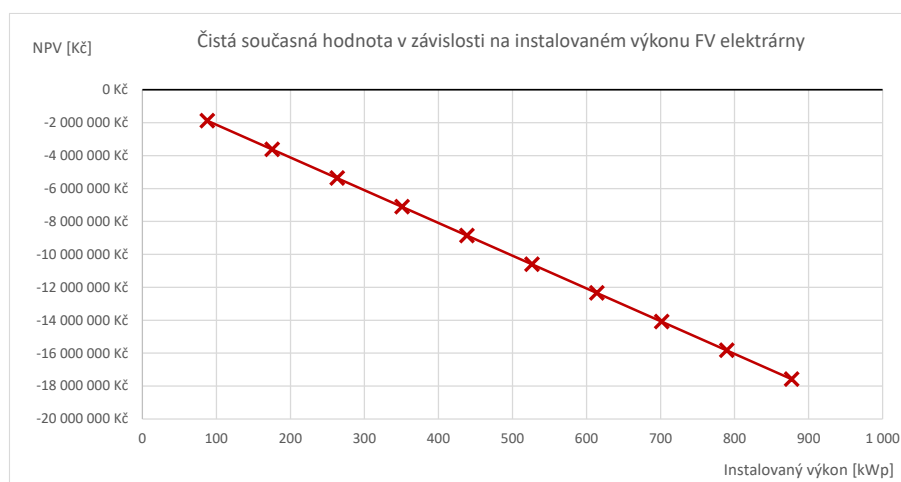


Obrázek 3-19: Vývoj NPV v závislosti na velikosti střešní FVE bez akumulace elektrické energie

#### Nástěnná fotovoltaická elektrárna

počet budov	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
instalovaný výkon [kWp]	88	175	263	351	439	526	614	702	789	877
cena [Kč]	3 479 246	6 826 492	10 173 738	13 520 985	16 868 231	20 215 477	23 562 723	26 909 969	30 257 215	33 604 462
cena na kWp [Kč/kWp]	39 663	38 911	38 660	38 534	38 459	38 409	38 373	38 346	38 325	38 309
průměrná roční úspora [Kč]	123 085	246 171	369 256	492 341	615 427	738 512	861 597	984 682	1 107 767	1 230 759
NPV [Kč]	-1 876 263	-3 620 525	-5 364 788	-7 109 050	-8 853 313	-10 597 575	-12 341 838	-14 086 100	-15 830 377	-17 576 407
doba návratnosti [rok]	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26

Tabulka 3-26: Souhrn ekonomických kritérií pro návrhy nástěnné FVE bez akumulace elektrické energie

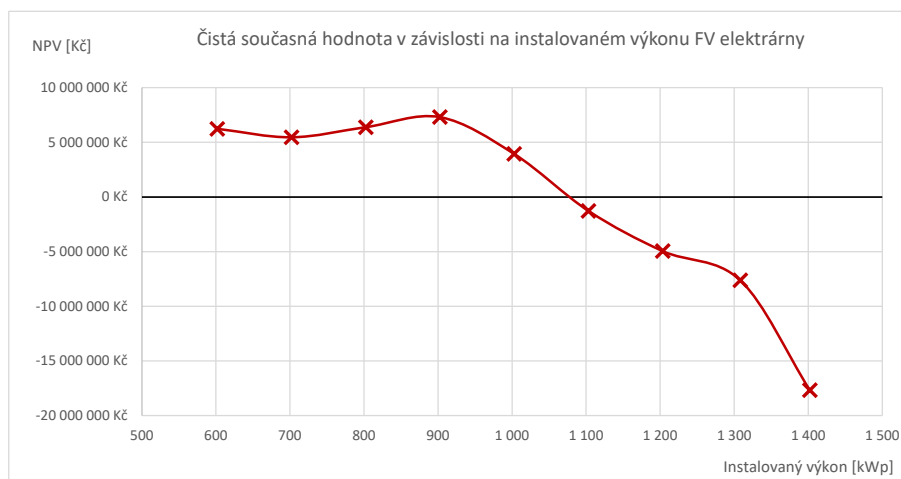


Obrázek 3-20: Vývoj NPV v závislosti na velikosti nástěnné FVE bez akumulace elektrické energie

### 3.2.4.2 FVE s akumulací do baterií

počet budov	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12	12
instalovaný výkon [kWp]	100	201	301	401	501	602	702	802	903	1 003	1 103	1 203	1 308	1 402
cena [Kč]	3 099 237	6 066 473	9 033 710	12 000 947	15 935 934	22 318 170	27 852 657	31 691 644	35 530 630	43 608 367	53 381 604	61 459 340	67 390 509	80 237 370
cena na kWp [Kč/kWp]	30 906	30 248	30 028	29 919	31 783	37 093	39 678	39 504	39 368	43 487	48 393	51 073	51 512	57 227
průměrná roční úspora [Kč]	364 336	728 671	1 093 007	1 457 342	1 821 678	2 186 014	2 550 349	2 914 685	3 279 005	3 640 734	3 992 261	4 331 461	4 584 712	4 805 007
NPV [Kč]	1 661 031	3 454 063	5 247 094	7 040 125	7 865 406	6 243 438	5 469 219	6 390 500	7 311 427	3 945 532	-1 264 943	-4 944 071	-7 620 310	-17 655 692
doba návratnosti [rok]	14	13	13	13	14	17	19	19	19	22	26	26	19	20

Tabulka 3-27: Souhrn ekonomických kritérií pro návrhy FVE s akumulací do bateriového úložiště



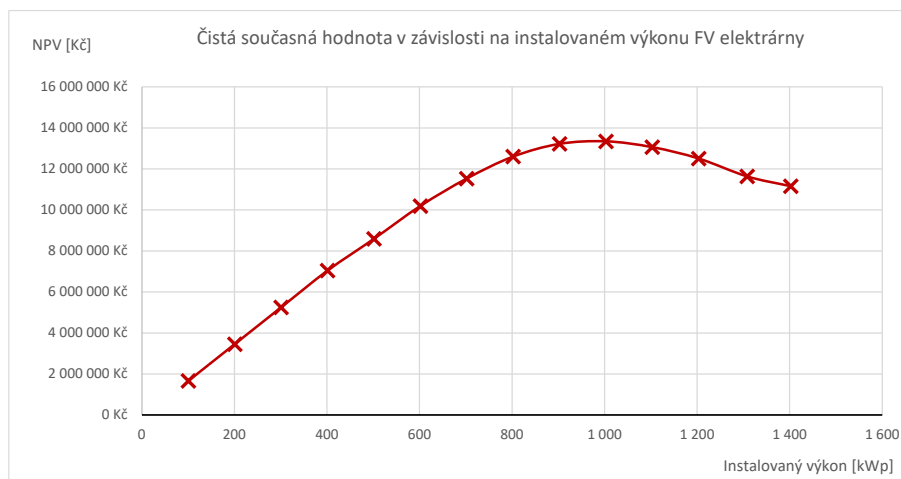
Obrázek 3-21: Vývoj NPV v závislosti na velikosti FVE s akumulací do bateriového úložiště

### 3.2.4.3 FVE s akumulací do zásobníku teplé vody

#### Střešní fotovoltaická elektrárna

počet budov	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12	12
instalovaný výkon [kWp]	100	201	301	401	501	602	702	802	903	1 003	1 103	1 203	1 308	1 402
cena [Kč]	3 099 237	6 066 473	9 033 710	12 000 947	15 207 028	18 216 738	21 226 449	24 236 160	27 245 870	30 255 581	33 265 292	36 248 528	38 788 697	40 743 791
cena na kWp [Kč/kWp]	30 906	30 248	30 028	29 919	30 329	30 276	30 239	30 211	30 189	30 171	30 157	30 123	29 650	29 060
průměrná roční úspora [Kč]	364 336	728 671	1 093 007	1 457 342	1 821 435	2 176 196	2 510 942	2 826 549	3 109 992	3 355 675	3 569 263	3 758 982	3 889 160	4 004 578
NPV [Kč]	1 661 031	3 454 063	5 247 094	7 040 125	8 589 480	10 191 818	11 528 998	12 601 194	13 221 082	13 345 091	13 060 708	12 505 320	11 632 076	11 157 023
doba návratnosti [rok]	14	13	13	13	13	13	14	14	14	15	16	17	19	20

Tabulka 3-28: Souhrn ekonomických kritérií pro návrhy střešní FVE s akumulací teplé vody

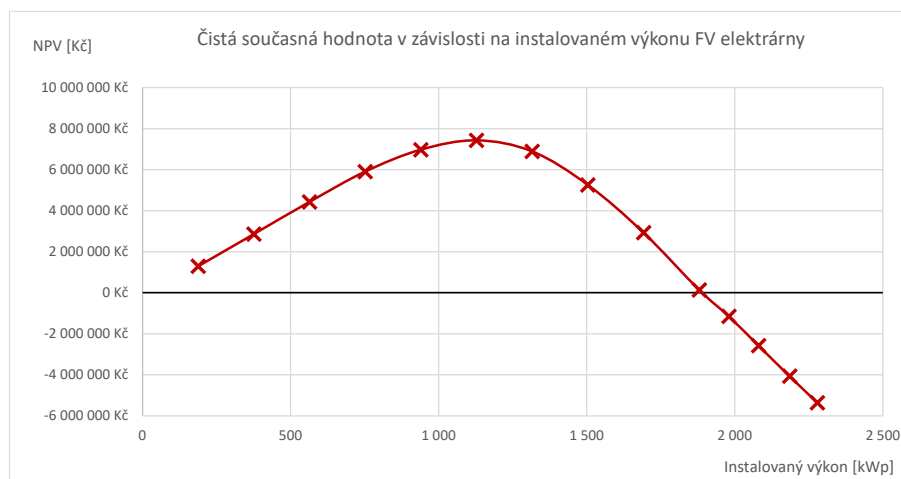


Obrázek 3-22: Vývoj NPV v závislosti na velikosti střešní FVE s akumulací teplé vody

## Střešní fotovoltaická elektrárna rozšířená nástěnné fotovoltaické panely

počet budov	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12	12
instalovaný výkon [kWp]	188	376	564	752	940	1 128	1 316	1 504	1 692	1 880	1 980	2 080	2 185	2 279
cena [Kč]	5 934 478	11 593 090	17 251 702	22 974 314	28 648 926	34 323 538	39 998 150	45 672 762	51 347 374	57 021 986	59 861 357	62 700 728	65 240 897	67 513 679
cena na kWp [Kč/kWp]	31 570	30 836	30 591	30 554	30 481	30 432	30 397	30 371	30 350	30 334	30 232	30 139	29 855	29 623
průměrná roční úspora [Kč]	553 105	1 106 210	1 659 315	2 210 898	2 730 873	3 204 681	3 607 887	3 926 602	4 188 895	4 414 696	4 536 857	4 647 747	4 730 199	4 807 297
NPV [Kč]	1 292 492	2 860 849	4 429 206	5 906 231	6 975 822	7 429 446	6 892 464	5 260 955	2 935 300	140 168	-1 147 250	-2 577 556	-4 066 186	-5 356 595
doba návratnosti [rok]	19	18	18	18	18	19	20	21	23	25	26	26	19	20

Tabulka 3-29: Souhrn ekonomických kritérií pro návrhy FVE s akumulací teplé vody rozšířené o nástěnné FV panely



Obrázek 3-23: Vývoj NPV v závislosti na velikosti střešní FVE s akumulací teplé vody rozšířené o nástěnné FV panely

### 3.2.5 Zhodnocení optimální instalace FVE

Z ekonomického hlediska se z uvažovaných variant zdrojů elektrické energie jeví jako nejvýhodnější varianta fotovoltaická elektrárna s přímým využitím elektrické energie. Z důvodu vysoké a velmi rovnoměrné spotřeby elektrické energie v rámci areálu kolejí Strahov není ekonomicky výhodné instalovat jakoukoliv formu akumulace energie. Z tohoto hlediska je nejvýhodnější variantou fotovoltaická elektrárna o výkonu 1 000 kWp se 15letou dobou návratnosti. Tato varianta pokrývá jižně orientovanými fotovoltaickými panely s 15° sklonem střechy 10 kolejních bloků.

Takto instalovaná fotovoltaická elektrárna vyrábí po dobu investičního horizontu (25 let) v průměru 910 MWh ročně, z čehož za rok průměrně 838 MWh vyrobené energie je využité přímou spotřebou elektrické energie v areálu kolejí. Tato hodnota odpovídá roční úspoře **3,3 mil. Kč bez DPH**. Takto instalovaná fotovoltaická elektrárna pokryje průměrně téměř 23 % elektrické spotřeby areálu.

Odhadovaná cena 1 000kWp fotovoltaické elektrárny bez akumulace elektrické energie je **29,8 mil. Kč bez DPH**. Diskontovaná doba návratnosti investice vychází při této variantě instalace na **15 let**.

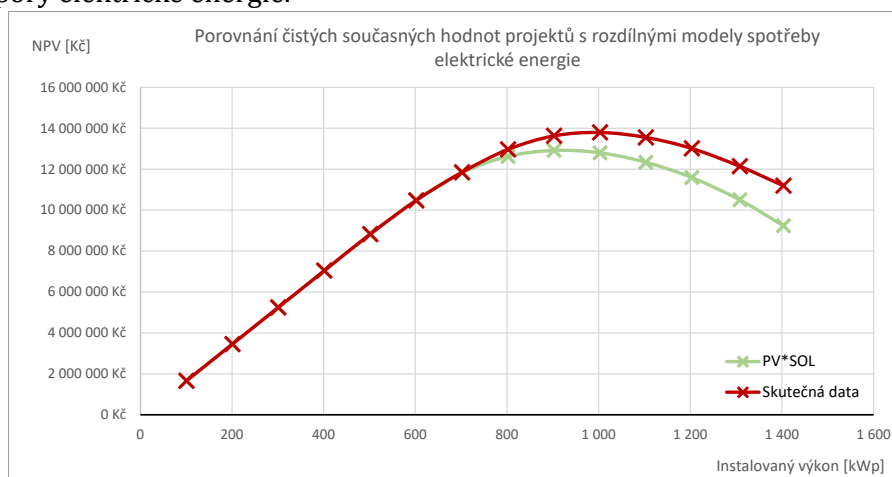
Z této částky by navíc při obnově dotační výzvy Modernizačního fondu na podporu výstavby malých fotovoltaických elektráren s instalovaným výkonem do 1 MWp mohlo být možné pokrýt až **7,4 mil. Kč**. [70] Při využití této podpory by se diskontovaná doba návratnosti fotovoltaické elektrárny zkrátila na 10 let.

### 3.2.6 Porovnání výsledků s výsledky komerčního programu

Návrhy fotovoltaických elektráren uvedených v této diplomové práci a z nich plynoucí ekonomické výsledky jednotlivých variant vycházejí z modelu spotřeb elektřiny vytvořeného podle skutečně naměřených dat uvedeného areálu kolejí. Tento postup přináší velmi přesný průběh spotřeby, pomocí kterého lze predikovat spotřebu areálu v nastávajících letech. Jedná se však o pracný způsob, který zahrnuje zpracování velkého množství dat. V některých případech, kdy objekty nejsou osazeny měřiči elektřiny či tepla zaznamenávajícími toky energie v hodinovém kroku nemusejí být tato data k dispozici. Druhou variantou, pomocí které lze odhadnout průběh spotřeby energií v objektu je převzetí předem vytvořených profilů spotřeb energií a namodelování jejich výše podle celkové roční odebrané energie. Oba tyto profily jsou popsány a srovnány v kapitole 1.12.

Díky znalosti skutečných spotřeb areálu kolejí i typických průběhů, které uživatelům nabízejí komerční programy pro návrh fotovoltaických elektráren je možné výsledky těchto metod porovnat a určit, jak moc se v konečném výsledku liší ekonomické analýzy vypracované s různě získanými profily spotřeb.

Srovnání bylo provedeno pro nejvýhodnější variantu instalace. Na následujícím grafu je pak zobrazeno porovnání výsledných hodnot NPV pro různě velké instalované výkony fotovoltaických elektráren bez akumulace energie. Z těchto výsledků je patrné, že čistá současná hodnota se pro fotovoltaické elektrárny s instalovanými výkony do 700 kWp výrazně neliší. Nad touto hranicí začínají být výsledky čisté současné hodnoty varianty s převzatými typickými profily spotřeby nižší než výsledky počítané se spotřebou skutečnou. Celková cena fotovoltaické elektrárny, ceny energií ani ekonomické parametry se však ve variantách spotřeby neliší a je tedy zřejmé, že výsledky získané za využití spotřeby stanovené návrhovými programy vykazují nižší průměrnou hodnotu úspory elektrické energie.



Obrázek 3-24: Vývoj ukazatele NPV v závislosti na volbu modelu spotřeby elektrické energie

Pro nejvýhodnější 1 000kWp variantu fotovoltaické elektrárny vychází rozdíl průměrné úspory na téměř 2 %, což v uvažovaném investičním horizontu odpovídá částce větší než 1,8 mil. Kč bez DPH. U jednotlivých variant instalace se však liší pouze výše čisté současné hodnoty. Maximální bod, a tedy i nejvýhodnější varianta investice zůstávají při rozdílných způsobech stanovení spotřeby stejné. Sběr a zpracování dat je tedy výhodnější provádět zejména při požadavku na přesné vyčíslení výhodnosti pomocí ekonomických kritérií a pro návrh velikosti instalovaného výkonu je možno počítat s jednodušší variantou.

## ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo vytvoření studie zabývající se analýzou spotřeby energií v rámci vybraného areálu kolejí ve správě ČVUT. Tato analýza byla následně využita k vytvoření typických průběhů spotřeb energií v areálu studentského ubytování. Dále, díky podrobnému zpracování dat o spotřebách v areálu, mohou být výsledky rozboru energetické spotřeby v druhé části diplomové práce použity jako podklad k návržení vhodných způsobů výroby elektrické energie v rámci areálu kolejí Strahov.

Předmětem úvodních kapitol diplomové práce bylo seznámení s posuzovaným komplexem budov a stávajícími způsoby přípravy tepla na vytápění a ohřev teplé vody. Dále bylo v této části popsáno, jakým způsobem je možné data o spotřebách v rámci areálu získat a dále vyhodnocovat. Popsán byl také způsob jejich zpracování a způsob vytvoření typických průběhů užívání jednotlivých energií v rámci areálu studentského ubytování. Typické profily spotřeby elektřiny, tepla na vytápění, ohřev teplé vody a spotřeby teplé vody jsou v hodinovém kroku znázorněny v období dnů a týdnů pro provozně odlišná období roku. Profil spotřeby elektrické energie byl následně srovnán s nejlépe se blížícím profilem nabízeným návrhovými programy.

V dalších kapitolách práce byly popsány základy fungování výroby elektrické energie pomocí fotovoltaické elektrárny, způsoby jejího návrhu ze stavebního i elektrotechnického pohledu a pomocí simulací jednotlivých návrhů fotovoltaických panelů bylo směřováno k nalezení jejich optimálního výběru a způsobu instalace.

V následující části dokumentu byly nejvýhodnější způsoby instalací porovnány přímo na modelech posuzovaného komplexu kolejí, tedy na modelech jednotlivých bloků kolejí Strahov. Návrhy fotovoltaických elektráren byly vytvářeny pro plynule se zvyšující instalované výkony a rozličné způsoby využití vyrobené elektrické energie. Mezi uvažovanými způsoby využití byla přímá spotřeba elektrické energie, akumulace přebytků do bateriového úložiště a rozšíření spotřeby o pomocný přehřev teplé vody. Dále se pro využití přebytků nabízí také možnost ohřevu otopné vody, ta však vzhledem k omezené velikosti fotovoltaické elektrárny a nízkým přebytkům vyrobené elektrické energie byla z úvahy vyřazena.

Výroba elektrické energie byla pro jednotlivé varianty získána pomocí simulací provedených v programu PV\*SOL. Množství vyrobené energie bylo následně sníženo o ztráty prvků fotovoltaického systému a v hodinovém kroku porovnáno s vytvořenou modelovou spotřebou areálu kolejí. Z tohoto porovnání bylo pro každou variantu instalovaného výkonu fotovoltaické elektrárny a každý popsán způsob spotřeby elektrické energie získáno její využitelné množství, které areálu ušetří náklady za nákup elektřiny a zemního plynu.

Díky této studii a nacenění jednotlivých variant fotovoltaických elektráren bylo následně možné provést ekonomickou analýzu projektu. Jejím cílem je nalezení ekonomicky nejvýhodnější varianty fotovoltaické elektrárny pro areál kolejí Strahov. Nalezení vhodné instalace bylo řešeno pomocí maximalizace čisté současné hodnoty projektu. Pro větší názornost výhodnosti projektů byla vypočtena také diskontovaná doba návratnosti jednotlivých variant.

Z provedené studie vychází jako ekonomicky nejvýhodnější variantou využití vyrobené elektrické energie její přímá spotřeba. Optimálním řešením je pak fotovoltaická elektrárna o instalovaném výkonu **1 000 kWp**. Cena této elektrárny je podle kalkulace uvedené v diplomové práci **29, 8 mil. Kč bez DPH**. Uvedená varianta by v případě realizace mohla přinášet průměrnou roční úsporu více než **3,3 mil. Kč bez DPH**. Diskontovaná doba návratnosti investice vychází při takto nastavených parametrech na **15 let**. V případě obnovení dotační výzvy Modernizačního fondu by bylo možné využít dotaci na podporu malých fotovoltaických elektráren ve výši až 7,4 mil. Kč a zkrátit tak diskontovanou dobu návratnosti na 10 let.

Další směřování této diplomové práce by mohlo být zaměřeno na konkrétní realizaci fotovoltaické elektrárny, způsoby jejího financování, navržení fotovoltaické elektrárny do dalších areálů kolejí ve správě ČVUT, využití komunitní energetiky či nalezení dalších způsobů výroby pomocí jiných zdrojů energie. V případě realizace jedné z navrhovaných variant by mohlo být posouzeno, jakým způsobem se navrhované hodnoty liší od hodnot skutečných.



## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] VALENTIN SOFTWARE. *PV\*SOL premium* [software]. 26.1.2023 [cit. 2023-05-21]. Dostupné z: <https://valentin-software.com/downloads/>
- [2] GOOGLE. *Google Earth* [software]. 3.6.2021, 25.1.2023 [cit. 2023-05-21]. Dostupné z: <https://earth.google.com/web/@50.08122483,14.4263953,224.62029649a,2730.40260431d,35y,88.43465185h,86.69326995t,359.99999998r>
- [3] *Meteonorm Software: Weltweite Einstrahlungsdaten* [online]. [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://meteonorm.com/>
- [4] *Správa účelových zařízení v Praze* [online]. SÚZ ČVUT, 2019 [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <https://www.suz.cvut.cz/cz>
- [5] *Pasportizace objektů ČVUT - KOLEJE STRAHOV - BLOK 3: střecha - 7np*. Leden 2005. INDESS.
- [6] doc. Ing. Jan Fiedler, Dr. *Výhody a omezení malých kogeneračních jednotek* [online]. 26.9.2011 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/7866-vyhody-a-omezeni-malych-kogeneracnich-jednotek>
- [7] Prof. Ing. Vítězslav Benda, CSc., Ing. Kamil Staněk a Ing. Petr Wolf. *Fotovoltaické systémy*. 15.4.2011. Centrum pro rozvoj výzkumu pokročilých řídicích a senzorických technologií CZ.1.07/2.3.00/09.0031, 2011.
- [8] Ing. Vladislav Poulek, CSc. a prof. Ing. Martin Libra. *Konstrukce a výroba fotovoltaických článků a panelů. ELEKTRO časopis pro elektroniku* [online]. FCC PUBLIC, 2021, (12/2021) [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/konstrukce-a-vyroba-fotovoltaickych-clanku-a-panelu--10310>
- [9] *Co je to fotovoltaika. ELEKTROVEGA elektromontáže, fotovoltaické systémy* [online]. 2009 [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <http://www.elektrovega.cz/info.php>
- [10] *Provozní podmínky fotovoltaických systémů. České vysoké učení technické v Praze FAKULTA ELEKTRONICKÁ: Laboratoř diagnostiky fotovoltaických systémů* [online]. [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: [http://pasan.feld.cvut.cz/a1b13svs/2016\\_svs7a.pdf](http://pasan.feld.cvut.cz/a1b13svs/2016_svs7a.pdf)
- [11] Ing. Bronislav Bechník, Ph.D. *Nejpoužívanější pojmy ve fotovoltaice. TZB-info* [online]. 29.9.2014 [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11772-nejpouzivanejsi-pojmy-ve-fotovoltaice>
- [12] *Vliv sklonu a orientace. EkoWATT* [online]. 2008 [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <https://fotovoltaika.ekowatt.cz/vliv-sklonu-orientace.php>
- [13] *Umístování solárních kolektorů a fotovoltaických panelů na střechu. VIESSMAN* [online]. [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/umistovani-kolektoru-a-panelu.html>
- [14] Mgr. Jiří Zilvar. *Jaký je nejlepší sklon a orientace fotovoltaických panelů pro solární pole?. TZB-info* [online]. 26.8.2021 [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/22703-jaky-je-nejlepsi-sklon-a-orientace-fotovoltaickych-panelu-pro-solarni-pole>
- [15] Ing. Petr Wolf, Ph.D., Ing. Pavel Hrzina, Ph.D. a Univerzitní centrum energeticky efektivních budov, ČVUT v Praze. *Návrh fotovoltaických systémů na rovných plochách s ohledem na efektivní využití technologie i dostupné plochy. TZB-info* [online]. 23.7.2020 [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/20966-navrh-fotovoltaickych-systemu-na-rovnnych-plochach-s-ohledem-na-efektivni-vyuziti-technologie-i-dostupne-plochy>
- [16] *Recenze: Výkonové optimizéry SolarEdge vs. Tigo. SOLARITY* [online]. [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <https://solarity.eu/cs/blog/recenze-vykonove-optimizery-solaredge-vs-tigo/>
- [17] *Technologie Half-Cell (HC). Green Energy Trading* [online]. [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <https://www.getrading.eu/blog/9902-prehled-a-vyznam-dvou-nejpouzivanejsich-vyrazu-a.html>
- [18] *How half-cut solar cells work in shaded conditions*. In: *GSES Global Sustainable Energy Solutions* [online]. <https://www.gses.com.au/>, 14. 3. 2021 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: [https://www.youtube.com/watch?v=AZ8VQzmf1M&t=92s&ab\\_channel=GSESGlobalSustainableEnergySolutions](https://www.youtube.com/watch?v=AZ8VQzmf1M&t=92s&ab_channel=GSESGlobalSustainableEnergySolutions)
- [19] Milan Vaněček, Antonín Fejfar a Fyzikální ústav Akademie věd ČR, v.v.i., Praha. *Fotovoltaika - jaká je nejlepší dostupná technologie?. TZB-info* [online]. 22.3.2010 [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/6327-fotovoltaika-jaka-je-nejlepsi-dostupna-technologie>
- [20] *3 typy fotovoltaických panelů – jaké jsou jejich výhody?. Bce* [online]. 13. října 2019 [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <https://www.bce.cz/3-typy-fotovolatickych-panelu/>



- [21] O fotovoltaice: Kolik elektřiny vyrobí vaše FVE? Roli hraje nejen lokalita, sklon či orientace panelů. *Silektra ENERGY* [online]. [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <https://www.silektra.cz/kolik-elektriny-vyrobi-vase-fve-rol-hraje-nejen-lokalita-sklon-ci-orientace-panelu/>
- [22] Mgr. Jiří Zilvar. : Střídače pro domácí fotovoltaiku I. – funkce a parametry. *TZB-info* [online]. 28.11.2022 [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/24668-stridace-pro-domaci-fotovoltaiku-i-funkce-a-parametry>
- [23] *Fotovoltaičné systémy pro výrobu elektrické energie: Dimenzování střídačů* [online]. [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: [https://moodle.fel.cvut.cz/pluginfile.php/291764/mod\\_resource/content/0/B1B%2010.pdf](https://moodle.fel.cvut.cz/pluginfile.php/291764/mod_resource/content/0/B1B%2010.pdf)
- [24] Fotovoltaika: Fotovoltaický střídač - účinnost není vše. *TZB-info* [online]. 20.4.2009 [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/5571-fotovoltaicky-stridac-ucinnost-neni-vse>
- [25] Typy střídačů. *WATTcontrol: ...výkon pod kontrolou* [online]. 2023, 2023 [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://www.wattcontrol.cz/stridace/>
- [26] Mgr. Jiří Zilvar. Střídače pro domácí fotovoltaiku II. – jednofázové a třífázové instalace. *TZB-info* [online]. 29.11.2022 [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/24672-stridace-pro-domaci-fotovoltaiku-ii-jednofazove-a-trifazove-instalace>
- [27] Ing. Petr Klimek a Ing. Bronislav Bechník, Ph.D. Střídač pro fotovoltaickou elektrárnu. Jakou technologii zvolíte?. *TZB-info* [online]. 11.2.2013 [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/9555-stridac-pro-fotovoltaiickou-elektrarnu-jakou-technologie-zvolite>
- [28] Fotovoltaika pro rodinný dům: Výhody a nevýhody, návratnost. *D/Sarchitecture* [online]. [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <https://www.djsarchitecture.cz/fotovoltaika-pro-rodinny-dum>
- [29] Filip Březina. Faktory ovlivňující výnos fotovoltaických střídačů. *TZB-info* [online]. 29.3.2021 [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/6267-faktory-ovlivnujici-vynos-fotovoltaiicky-stridacu>
- [30] S-Power Energies, s.r.o. Pořizujete fotovoltaiku? Pozor na povinné úpravy elektroměrových sloupků. *TZB-info* [online]. 7.9.2021 [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/20379-porizujete-fotovoltaiku-pozor-na-povinne-upravy-elektromerovych-sloupku>
- [31] KVASNIČKA, Michal. *Instalace fotovoltaických panelů na střechu objektu*. 2022. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební. Vedoucí práce Ing. Rostislav Sulc, Ph.D. Komponenty pro fotovoltaické elektrárny. *WT WINTeCH* [online]. 2023 [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://www.wintech.cz/komponenty-pro-fotovoltaiicke-elektrarny/>
- [32] Photon Energy Operations CZ, UCEEB, HZS StČK a . Zásady protipožárního zabezpečení střešních instalací FVE a opatření požární prevence. *Hasičský záchranný sbor ČR* [online]. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/soubor/firefve-brozura-a5-final-web-pdf.aspx>
- [33] Installation Manual BlueSolar Panels: victron energy BLUE POWER. *Victron energy BLUE POWER* [online]. 6. srpna 2012 [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://www.victronenergy.cz/upload/documents/Installation-Manual-BlueSolar-Panels-CZ.pdf>
- [34] DAH Solar: INSTALAČNÍ MANUÁL FOTOVOLTAICKÉ MODULY. *BATTERY IMPORT* [online]. [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: [https://www.battery-import.cz/user/documents/DAH\\_Solar\\_instalacni\\_manual.pdf](https://www.battery-import.cz/user/documents/DAH_Solar_instalacni_manual.pdf)
- [35] SOLÁRNÍ PANELE AEG: INSTALAČNÍ MANUÁL. *SOLSOL* [online]. [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: [https://www.solsol.cz/sites/default/files/documentation/pl202207\\_aeg\\_standard\\_solar\\_modules\\_installation\\_instructions\\_v1-22\\_cz\\_s-upravou-pro-x-v-nazvu\\_7\\_0.pdf](https://www.solsol.cz/sites/default/files/documentation/pl202207_aeg_standard_solar_modules_installation_instructions_v1-22_cz_s-upravou-pro-x-v-nazvu_7_0.pdf)
- [36] Instalační příručka pro solární fotovoltaické moduly LONGi. In: *GBC Solino: ODBORNÝ VELKOBOCHOD* [online]. 2022 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: [https://gbc-solino.cz/wp-content/uploads/2022/05/MNL\\_LONGI\\_MANUAL\\_2022-CZ.pdf](https://gbc-solino.cz/wp-content/uploads/2022/05/MNL_LONGI_MANUAL_2022-CZ.pdf)
- [37] Fotovoltaika na ploché střeše Benešov. *V-System ELEKTRO* [online]. [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <https://www.v-system.cz/realizace/fotovoltaika-na-ploche-strese-benesov/>
- [38] KOTVENÍ PRO FOTOVOLTAICKÉ PANELE. *ROOFIX fv* [online]. [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://www.roofix.cz/uchyceni-fv-panelu/>
- [39] Wienerberger, s.r.o. Fotovoltaika integrovaná do střešní krytiny. *E.ON* [online]. [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/energy-globe/hlasovani/fotovoltaika-ve-stresni-krytine/>
- [40] NEVÝHODY FOTOVOLTAIKY UMÍSTĚNÉ NA BUDOVÁCH. *EkoWATT* [online]. [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://fotovoltaika.ekowatt.cz/nevyhody-fotovoltaiky-umistene-na-budovach.php>

- [41] Richard Hladík. Kotvení fotovoltaických panelů na šikmou a plochou střechu. *Evolty* [online]. 31 prosince 2022 [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <https://evolty.cz/fve/kotveni-solarnich-panelu-na-strechu/>
- [42] KOTVENÍ PRO FOTOVOLTAICKÉ PANELE. *ROOFIX fv* [online]. [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://www.roofix.cz/uchyceni-fv-panelu/>
- [43] RENU SOL CS+ MONTAGEANLEITUNG: Návod pro instalaci. *Renusol Europe GmbH* [online]. [cit. 2023-05-21]. Dostupné z: <https://www.renusol.com/de/pv-montagesystem/flachdach/cs-roof/>
- [44] Ing. Jakub Čurpek, Centrum AdMaS, Fakulta stavební a Vysoké učení technické v Brně. Súčasný vývoj integrácie fotovoltaických systémov do fasád budov. *TZB-info* [online]. 20.8.2018 [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/17784-sucasny-vyvoj-integracie-fotovoltaickych-systemov-do-fasad-budov>
- [45] Schéma větrané FV fasády. In: *ResearchGate* [online]. [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/figure/entilated-PV-facade-scheme\\_fig3\\_230918278](https://www.researchgate.net/figure/entilated-PV-facade-scheme_fig3_230918278)
- [46] Jak posoudit střechu na zatížení fotovoltaickými panely. *STATIKON* [online]. 17. 2. 2023 [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <https://www.statikon.cz/cs/blog/jak-posoudit-strechu-na-zatizeni-fotovoltaickymi-panely.html>
- [47] Vliv rychlosti větru, tlaku a zatížení na solární fotovoltaické panely. *DS New Energy* [online]. Mar 13, 2019 [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <https://cz.dnsolar.com/info/the-effects-of-wind-speed-pressure-and-loadin-33283801.html>
- [48] Schüco International KG. Montážní systém Schüco MSE 210 Aero 2.0 pro energetické využití plochých střech: Fotovoltaická elektrárna s vylepšenou aerodynamikou, minimálním zatížením a maximálním využitím střechy. *TZB-info* [online]. 13.9.2013 [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/10333-montazni-system-schuco-mse-210-aero-2-0-pro-energeticke-vyuziti-plochych-strech>
- [49] Conergy Česká Republika, s.r.o. Fotovoltaika: Bezpečnost fotovoltaiky. *TZB-info* [online]. 7.4.2021 [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/10134-bezpecnost-fotovoltaiky>
- [50] kpt. Mgr. Libor Pospíšil. Praktická doporučení pro bezpečnost a požární prevenci střešních FVE [online]. [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/clanek/prakticka-doporuceni-pro-bezpecnost-a-pozarni-prevenci-stresnich-fve.aspx>
- [51] Ing. Eva Beránková a Fakulta stavební VŠB-TU Ostrava. Životní cyklus staveb. *TZB-info* [online]. 12.8.2013 [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/udrzba-budov/10219-zivotni-cyklus-staveb>
- [52] Mgr. Jiří Zilvar. Střídače pro domácí fotovoltaiku III. – kvalita, závady a servis. *TZB-info* [online]. 30.11.2022 [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/24680-stridace-pro-domaci-fotovoltaiku-iii-kvalita-zavady-a-servis>
- [53] ZEMKOVÁ, Barbora. Životnost fyzických baterií. Je nutné je vyměňovat po několika letech?. *Elektrina.cz* [online]. 23. prosince 2019 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/zivotnost-fyzickych-baterii>
- [54] SUNOVA SOLAR: High Efficiency Half-Cell Mono PERC Module. *SUNOVA SOLAR* [online]. [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: [https://www.sunova-solar.com/attached/file/20210805/HI-MILO/SS-%20%20\(440-460\)%20%20-60MDH.pdf](https://www.sunova-solar.com/attached/file/20210805/HI-MILO/SS-%20%20(440-460)%20%20-60MDH.pdf)
- [55] SUNMAN 430 Watt: 144 Half Cell Monokrystalline module. *SUNMAN* [online]. [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.sunman-energy.com/ZommonImgs/ModulesImgs/2205300221352439.pdf>
- [56] SUN2000-100KTL-M2: Inteligentní FV regulátor. *Photomate* [online]. [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: [https://www.photomate.eu/wp-content/themes/sitetheme/assets/datasheets/cz/CZ\\_Sheet\\_100KTL-M2\\_20220730\\_210x297.pdf](https://www.photomate.eu/wp-content/themes/sitetheme/assets/datasheets/cz/CZ_Sheet_100KTL-M2_20220730_210x297.pdf)
- [57] BYD Battery Box Premium LVS 4kWh bateriový modul. *Eco product* [online]. [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://ecoproduct.cz/p/85599-byd-battery-box-premium-lvs-4kwh-bateriovyy-modul-30792#downloads>
- [58] *Topné těleso, délka: 1.06m 24 kW 230 → 400 V.* [online]. [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: [https://cz.rs-online.com/web/p/topna-telesa/2318021?cm\\_mmc=CZ-PLA-DS3A\\_-google\\_-PLA\\_CZ\\_CatchAll--All--2318021&matchtype=&pla-484869950622&gclid=Cj0KCQjwslejBhDOARisANYqkD1QSY93WuFS\\_0\\_6-p65ClwtSndtfHCOH2j\\_Azz59Vj6ARBZKjdbK7laAtfzEALw\\_wcB&gclsrc=aw.ds](https://cz.rs-online.com/web/p/topna-telesa/2318021?cm_mmc=CZ-PLA-DS3A_-google_-PLA_CZ_CatchAll--All--2318021&matchtype=&pla-484869950622&gclid=Cj0KCQjwslejBhDOARisANYqkD1QSY93WuFS_0_6-p65ClwtSndtfHCOH2j_Azz59Vj6ARBZKjdbK7laAtfzEALw_wcB&gclsrc=aw.ds)
- [59] Climate data. *PV\*SOL Hilfe* [online]. [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://help.valentin-software.com/pvsol/en/calculation/irradiation/climate-data/>

- [60] Zdražení elektřiny a plynu: Jak funguje trh s energiemi na burze? [online]. 17. 1. 2023 [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <https://www.céz.cz/cs/clanky/zdrazeni-elektriny-a-plynu-jak-funguje-trh-s-energiemi-na-burze-172938>
- [61] ČESKÁ NÁRODNÍ BANKA [online]. ČNB, 2023 [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://www.cnb.cz/cs/>
- [62] EEX: Marktdaten: Storm: Futures. Eex [online]. 2023 [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <https://www.eex.com/de/marktdaten/strom/futures>
- [63] EEX: Marktdaten: Erdgas:: Futures. Eex [online]. [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <https://www.eex.com/de/marktdaten/erdgas/futures>
- [64] CENOVÁ ROZHODNUTÍ. ENERGETICKÝ REGULACNÍ ÚŘAD [online]. [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/cenova-rozhodnuti?stav=All&rok=2022&kategorie=All&stiky=All>
- [65] ENERGETICKÝ REGULACNÍ VĚSTNÍK 16/2022: Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 14/2022. ENERGETICKÝ REGULACNÍ ÚŘAD [online]. 10.03.2023 [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/energeticky-regulacni-vestnik-162022>
- [66] ENERGETICKÝ REGULACNÍ VĚSTNÍK 14/2022: Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 12/2022. ENERGETICKÝ REGULACNÍ ÚŘAD [online]. 10.03.2023 [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/energeticky-regulacni-vestnik-162022>
- [67] Inflační cíl. ČESKÁ NÁRODNÍ BANKA [online]. [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://www.cnb.cz/cs/menova-politika/inflacni-cil/>
- [68] ČÍŽEK, Bohuslav. Diskontní sazba (Discount Rate). *Středoevropské centrum pro finance a management* [online]. [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://www.finance-management.cz/080vypisPojmu.php?X=Diskontni+sazba&IdPojPass=116>
- [69] Ing. Patrik Sieber. Analýza nákladů a přínosů: metodická příručka. *Ministerstvo pro místní rozvoj: Společný regionální operační program* [online]. květen 2004 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://www.dotaceeu.cz/getmedia/3a86fbee-beab-48cb-8ad1-aa9ed89af9bc/1136372212-zpracov-n-anal-zy-n-klad-a-p-nos>
- [70] Výzva RES+ č. 1/2022 - Fotovoltaické elektrárny do 1 MWp. *STÁTNÍ FOND ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ ČESKÉ REPUBLIKY* [online]. [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://www.sfzp.cz/dotace-a-pujcky/modernizacni-fond/vyzvy/detail-vyzvy/?id=15>

