



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

POROVNÁNÍ FOTOVOLTAICKÉHO A FOTOTERMICKÉHO SYSTÉMU PRO OHŘEV TUV V BYTOVÉM DOMĚ

COMPARISON OF PHOTOVOLTAIC AND PHOTOTHERMAL SYSTEMS FOR HOT WATER HEATING IN AN
APARTMENT BUILDING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Richard Švéda

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Filip Toman, Ph.D.

BRNO 2024

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Richard Švéda**
Studijní program: Energetika
Studijní obor: bez specializace
Vedoucí práce: **Ing. Filip Toman, Ph.D.**
Akademický rok: 2023/24

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Porovnání fotovoltaického a fototermického systému pro ohřev TUV v bytovém domě

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Většina zákazníků od fotovoltaických a fototermických systému očekává úsporu. Přesto že jsou tyto systémy relativně nákladné na pořízení, jejich ceny stále klesají a elektřina nebo teplo, kterou systém v příštích desetiletích vyrobí, je téměř zdarma. Dopočítat se přesné úspory i doby návratnosti je u domácí fotovoltaiky je ovšem někdy obtížné. Do hry vstupuje řada proměnných – namátkou pořizovací cena, spotřeba elektřiny, míra využití vyrobené elektřiny, lokalita domu, stínění, cena elektřiny ze sítě, dotace a další.

Cíle bakalářské práce:

- Stručná představení fotovoltaického a fototermického systému.
- Návrh fotovoltaického a fototermického systému pro konkrétní bytový dům.
- Analýza ekonomické návratnosti navržených systémů.

Seznam doporučené literatury:

LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. Fotovoltaika: teorie i praxe využití solární energie. Praha: Ilsa, 2009. ISBN 978-80-904311-0-2.

TUHÝ, Vít. Fotovoltaika – novodobý krajinný prvek ČR. Praha, 2012. 76 s. Bakalářská práce (Bc.) Vysoká škola ekonomická v Praze, Podnikohospodářská fakulta, Podniková ekonomika a management.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2023/24

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zaměřuje na porovnání metod ohřevu teplé užitkové vody pomocí fotovoltaického a fototermického systému. V úvodní části je popsáno solární záření, jeho vznik a dopad na Zemi. Následně jsou detailně rozebrány oba systémy a je proveden výpočet. Tyto systémy jsou vypočítány a navrženy pro konkrétní bytovou jednotku a jsou hodnoceny z technického, finančního a provozního hlediska. Na základě těchto výpočtů a analýz je doporučena nejvhodnější volba pro danou lokalitu.

Klíčová slova

Solární energie, fotovoltaika, fototermika, návrh, ohřev teplé užitkové vody, porovnání

ABSTRACT

This bachelor's thesis examines the comparative merits of photovoltaic and photothermal systems for domestic hot water heating. The introductory section provides an overview of solar radiation, its origin, and its striking the Earth's surface. Thereafter, both systems are subject to detailed analysis and calculations. These systems are designed for a specific residential unit and evaluated from technical, financial, and operational perspectives. Based on these calculations and analyses, the most suitable choice for the given location is recommended.

Key words

Solar energy, photovoltaics, photothermics, design, heating of domestic hot water, comparison

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠVÉDA, Richard. *Porovnání fotovoltaického a fototermického systému pro ohřev TUV v bytovém domě* [online]. Brno, 2024 [cit. 2024-02-26]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/156924>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Filip Toman.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Porovnání fotovoltaického a fototermického systému pro ohřev TUV v bytovém domě** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....
Datum

Jméno a příjmení

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Filipovi Tomanovi Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování závěrečné práce.

Obsah

ÚVOD.....	11
1 Solární energie.....	12
1.1 Energie Slunce.....	12
1.1.1 Energie Slunce na území České republiky.....	13
1.1.2 Faktory ovlivňující sluneční energii.....	13
1.2 Fotovoltaika.....	14
1.2.1 Historie.....	14
1.2.2 Fotoelektrický jev.....	14
1.2.3 FV článek.....	15
1.2.4 První generace.....	17
1.2.5 Druhá generace.....	18
1.2.6 Třetí generace.....	18
1.2.7 Elektrické parametry fotovoltaických článků.....	19
1.3 Fototermika.....	20
1.3.1 Historie.....	20
1.3.2 Princip.....	21
1.3.3 Konstrukce.....	21
1.3.4 Typy.....	21
1.4 Ohřev TUV.....	23
1.4.1 Typy ohřivačů.....	23
1.4.2 Solární systémy na přípravu teplé vody.....	24
1.4.3 Výhody a nevýhody fotovoltaiky vůči fototermiky.....	25
2 Návrh.....	26
2.1 Popis lokality a bytové jednotky.....	26
2.2 Volba scénáře.....	26
2.3 Fototermický systém.....	28
2.3.1 Postup výpočtu spotřeby tepla.....	28
2.3.2 Postup výpočtu potřebných kolektorů.....	29
2.4 Fotovoltaický systém.....	30
2.4.1 Postup výpočtu spotřeby tepla.....	30
2.4.2 Postup výpočtu potřebných panelů.....	30
3 Analýza ekonomické návratnosti navržených systémů.....	33
3.1 Vybrané komponenty pro FV systém.....	33
3.1.1 FV panely.....	33
3.1.2 Zásobník tepla.....	34
3.1.3 Střídač.....	35
3.1.4 Wattrouter.....	35
3.1.5 Ostatní komponenty.....	35
3.2 Vybrané komponenty pro fototermický systém.....	36
3.2.1 Fototermické panely.....	36
3.2.2 Teplonosná kapalina.....	36

3.2.3	Zásobník	37
3.2.4	Oběhové čerpadlo	37
3.2.5	Expanzní nádoba.....	37
3.2.6	Solární regulátor	37
3.2.7	Ostatní.....	37
3.3	Dotace	38
3.4	Analýza ekonomické návratnosti navržených systémů	38
3.4.1	Obecný postup	38
3.4.2	FV systém	39
3.4.3	Fototermický systém.....	44
3.5	Porovnání jednotlivých variant	47
	ZÁVĚR	48
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	49
	SEZNAM ZÁKLADNÍCH POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	54
	SEZNAM OBRÁZKŮ	55
	SEZNAM TABULEK.....	56
	SEZNAM PŘÍLOH.....	57

ÚVOD

V poslední době roste v ekonomicky vyspělých státech význam snahy o ekologicky udržitelný přístup ve všech průmyslových odvětvích. Tato snaha vychází z rostoucího povědomí veřejnosti o negativních vlivech na životní prostředí, jako jsou znečišťování, globální oteplování a klesající zásoby nerostných surovin.

Se stoupající spotřebou energie, poháněnou jak rozvíjejícím se průmyslem, tak i modernizací domácností a růstem populace, se hledají alternativy k fosilním palivům. Obnovitelné zdroje energie (dále už jen OZE), jako jsou vodní, sluneční, větrné nebo geotermální zdroje, nabízejí ekologicky šetrnější alternativu. OZE ale také často čelí výzvám spojeným s nepravidelnými dodávkami a skladováním energie. Tento problém vzniká vzhledem k tomu, že doba produkce energie z těchto zdrojů nesouzní vždy s časy maximální poptávky, což klade otázku, kde efektivně uskladnit vyrobenou energii.

Za zmínku také stojí automobilový průmysl, který zejména v zemích Evropské unie, směřuje k opuštění tradičních spalovacích motorů ve prospěch ekologičtějších variant, zejména elektromobilů. Tento přechod vede k růstu spotřeby elektřiny, zejména pokud by každá domácnost měla elektrovozidlo, což klade nové nároky na energetickou infrastrukturu.

Vzhledem k rozmachu technologií spojených se solární energií se v této práci zaměřím na dva způsoby ohřevu vody, a to za pomoci fotovoltaického a fototerického systému. Tato práce je motivována aktuálností tématu a nízkým ekologickým dopadem. Rozmach v České republice je podporován státem, zejména prostřednictvím organizovaných systémů dotací. To spolu s celkově levnějšími a dostupnějšími technologiemi v poslední době přispělo k výraznému nárůstu využívání solární energie.

V práci nesoucí název „Porovnání fotovoltaického a fototerického systému pro ohřev TUV v bytovém domě“ se také snažím řešit problém efektivního a cenově dostupného zásobování teplou užitkovou vodou (dále už jen TUV). Typická domácnost totiž věnuje 20 až 30 % celkové energetické spotřeby právě ohřevu TUV. Cílem této práce je popsat, a ne jenom cenově porovnat oba tyto technologické přístupy pro ohřev TUV v konkrétním domě v dané lokalitě, přičemž bereme v úvahu omezený prostor, spotřebu a náklady. Dále hodnotím tyto přístupy ekonomicky a prezentuji výsledky.

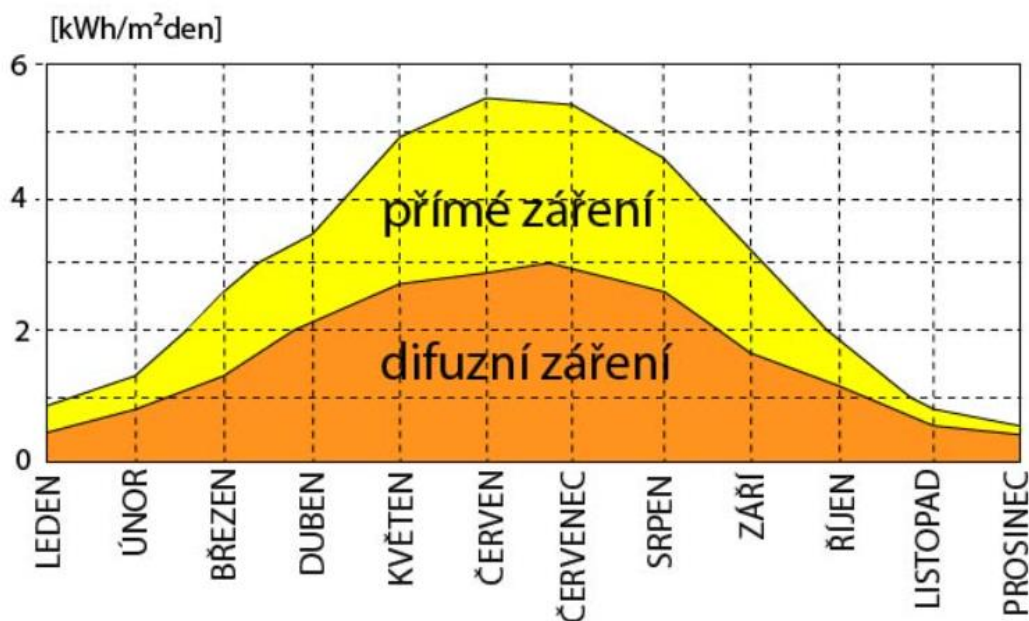
1 Solární energie

1.1 Energie Slunce

Centrum naší Sluneční soustavy tvoří nejznámější a nejbližší hvězda nesoucí název Slunce. Bez ní by život na Zemi nebyl možný, a to kvůli zásadní roli, kterou hraje v procesech, jako je fotosyntéza a v dalších chemických reakcích. Tato hvězda, stará přibližně 4,6 miliardy let, je definována jako dokonale černé těleso s povrchovou teplotou přibližně 5780 K. Hmotnost této žhavé plazmové koule je asi 330 000krát větší než hmotnost Země a odhadovaný výkon dosahuje $4 \cdot 10^{26}$ W. Avšak kvůli velké vzdálenosti od povrchu Země k nám dopadá zhruba $1,7 \cdot 10^{17}$ W, což přesto nabízí mnohem více energie, než je celková světová spotřeba. [1][2][3]

Solární energie vzniká v jádru Slunce skrze termonukleární reakce, při nichž se atomy vodíku přeměňují na helium. Téměř veškerá sluneční energie dopadá na Zemi ve formě elektromagnetického záření, a cesta z povrchu Slunce na Zemi trvá přibližně 8 minut. Tyto reakce by měli probíhat ještě dalších 5 až 7 miliard let. [3]

Část slunečního záření je v atmosféře ve výškách nad 60 km od povrchu Země pohlcena (ultrafialové a rentgenové záření), v nejnižších vrstvách atmosféry dochází k pohlcování slunečního záření vodní párou, CO_2 , prachem a kapkami vody v mracích. Záření rozptýlené v atmosféře se nazývá difúzní a dopadá na zem i přes zataženou oblohu. Existuje také záření přímé, které, i když není během průchodu atmosférou rozptýleno, závisí na různých faktorech, jako jsou úhel dopadu či oblačnost. Souhrn přímého a difúzního záření se označuje jako globální záření (viz obrázek 1.1). [1][4]

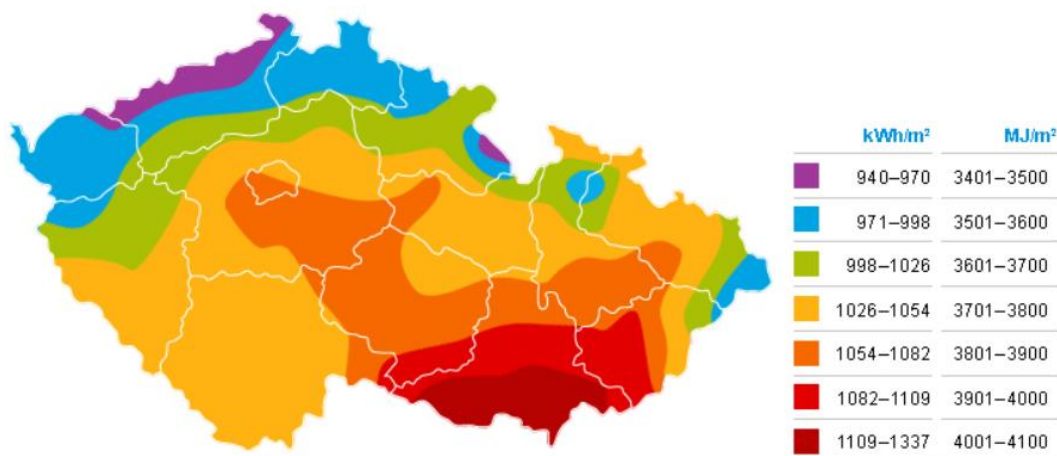


Obrázek 1.1 Závislost přímého a globálního záření na ročním období [5].

Sluneční záření hraje klíčovou roli v různých procesech, jako je konvekce, odpařování, zahřívání půdy a oceánů a další. Nicméně je nezbytné, aby zde platila takzvaná energetická bilance, která by měla být vyrovnaná, aby nedocházelo k zahřívání nebo ochlazení povrchu planety. [6]

1.1.1 Energie Slunce na území České republiky

Pro srovnání fotovoltaického a fototermického systému je nezbytné znát průměrné hodnoty sluneční energie dopadající na povrch v České republice. Podle dat prezentovaných v obrázku 1.2 se tato hodnota pohybuje přibližně v rozmezí $I = 1000$ až $1200 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$ za rok. Průměrná roční doba slunečního svitu se pak pohybuje mezi 1400 až 1800 hodinami. Nejvyšší množství sluneční energie dopadne na území jižní Moravy, zatímco nejméně na severozápadě Čech. [2]



Obrázek 1.2 Sluneční záření v ČR [7].

1.1.2 Faktory ovlivňující sluneční energii

Výkon a energii slunečního záření na plochu je ovlivněn buď faktory, které lze změnit (zeměpisná šířka místa instalace, orientace plochy vůči světovým stranám – azimut plochy, sklon plochy vůči vodorovné rovině) a které nelze změnit, tj. zdánlivý pohyb Slunce vůči Zemi, který vnímáme jako čas. [8]

Tabulka 1.1 Celkové ozáření dle typu podnebí [9].

Stav	[W · m ⁻²]
Jasná obloha	700-1000
Lehce zataženo	200-700
Silně zataženo	100-200

K nejvýznamnějším faktorům patří zeměpisná šířka, přičemž se největší intenzita nachází na rovníku a postupně klesá se vzdáleností od něj. Optimální úhel dopadu je kolmý, pokud záření dopadá pod jiným úhlem, dochází k zdatelně většímu odrazu a snížení účinnosti. Dalším významným faktorem je oblačnost (viz tabulka 1.1), která určuje, do jaké míry je obloha zakryta mraky a jaké množství slunečního záření dopadá na zem. Ovlivňovat ji může také znečištění systému v podobě prachu, pylu nebo písku. [8]

1.2 Fotovoltaika

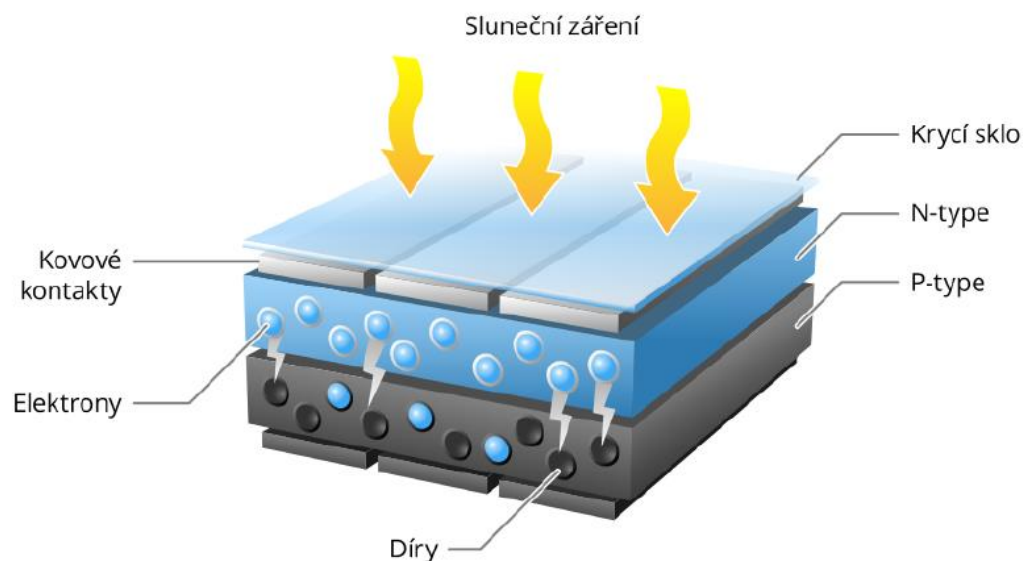
Fotovoltaika v dnešní době zažívá neobvyklý rozmach a stává se jedním z nejvíce rozšířených obnovitelných zdrojů energie. Základní princip spočívá v přeměně sluneční energie na elektrický proud. Jedná se tedy o téměř nevyčerpatelný zdroj, ze kterého lze získávat elektrická energie.

1.2.1 Historie

I přestože se o fotovoltaiice intenzivněji hovoří pouze pár let, tak základní kámen fungování, fotoelektrický jev, byl objeven a prezentován před francouzskou Akademií věd již v roce 1839 a to fyzikem Alexandrem Edmontem Becquerelem. Tento jev tvrdí, že proud vznikající mezi dvěma elektrodami ponořenými v roztoku (kapalině) se mění podle intenzity osvětlení. Jak čas plynul dál, další větší objev v tomto odvětví učinil v roce 1905 Albert Einstein, a to v práci, která také popisovala princip fotoelektrického jevu, ze které vyplývá že energie elektronu, která je uvolněn, je ovlivněna frekvencí záření (energií fotonů) a že počet elektronů závisí na intenzitě záření (počtu fotonů). Tato hypotéza byla potvrzena v roce 1916 a Einstein za ní 5 let poté dostal Nobelovu cenu za fyziku. První použitelný fotovoltaický (dále jen FV) článek z monokrystalického křemíku byl vyroben v roce 1954 s účinností okolo 6 %. Čtyři roky poté byly tyto FV články použity k napájení spotřebičů kosmických družic obíhajících kolem Země. Tento druh napájení se zde využívá dodnes. Díky neustálému vývoji, zvyšování účinnosti, dostupnosti a dotačních programů se fotovoltaiika stává stále více a více žádanější a rozšířenější. [10][11]

1.2.2 Fotoelektrický jev

Existují dva typy fotoelektrického jevu, a to vnější a vnitřní. V případě, kdy jsou elektrony uvolňovány z obalu atomů látky ve formě fotoelektronů a zároveň tento proces probíhá na povrchu materiálu a elektrony se následně uvolňují do okolí, hovoříme o vnějším fotoelektrickém jevu. Toto je zapříčiněno poté, co je určitý kov vystaven vlivu elektromagnetického záření a absorbuje ho = fotoefekt. Pokud fotoefekt probíhá uvnitř látky (elektrony se již neuvolňují do okolí, ale zůstávají uvnitř jako vodivostní elektron), tak se jedná o vnitřní fotoelektrický jev, kde jednou z jeho forem je fotovoltaiický jev. Tohoto jevu využívají solární panely. [12]

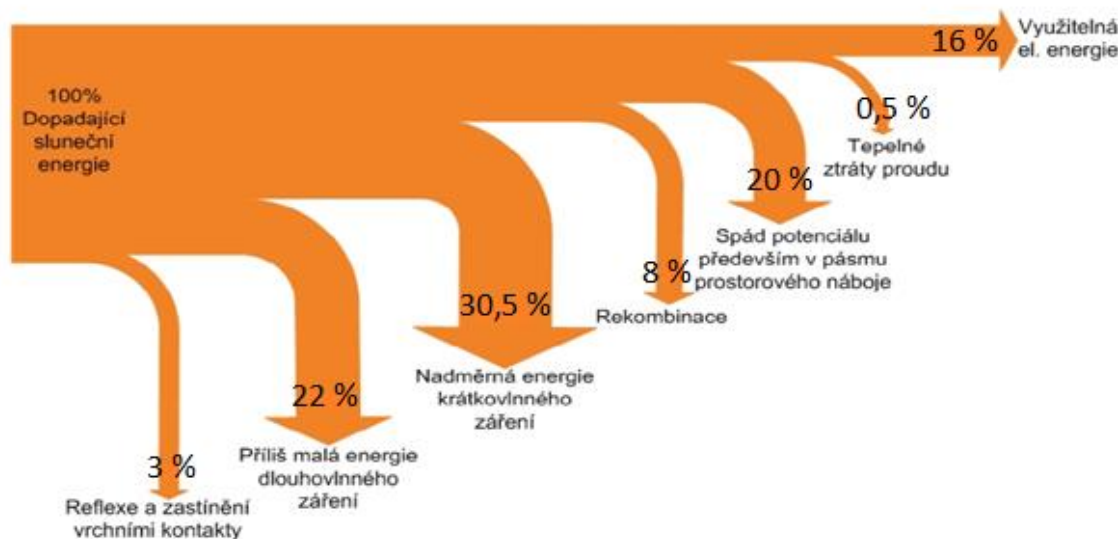


Obrázek 1.3 Princip fotovoltaického jevu [13].

Nejčastější polovodič je křemík, čtyřvázný prvek, který vytváří velmi stabilní mřížku. Mezi další polovodiče patří například germanium nebo selen. Když na tento polovodič dopadne foton a trefí elektron, tak se tento elektron uvolní (neboli excituje) z obalu atomu a zanechá po sobě díru s kladným nábojem. Pohyb uvolněných částic i elektronů (takzvaná vlastní vodivost) v polovodiči představuje základ pro vznik elektrického napětí a proudu. Tento jev má díky opačné polaritě tendenci se přitahovat a opět spojovat. Tomu předchází tím, že se na vrstvu křemíku v peci nadifunduje vrstva fosforu („bariéra“), což vytváří PN přechod. Vzniká tedy horní N vrstva záporných elektronů a spodní P vrstva kladných děr, kde teče elektrický proud pouze jedním směrem, tedy elektrony z P vrstvy mohou pronikat do N vrstvy. Kvůli tohoto vzniká v N vrstvě přebytek volných elektronů a v P vrstvě přebytek děr a vytváří se elektrické napětí. Stejnoseměrný proud, generovaný elektrodami opačné polarizace, je následně veden do akumulátorů. Princip tohoto jevu je znázorněn na obrázku 1.3. [12] [14]

1.2.3 FV článek

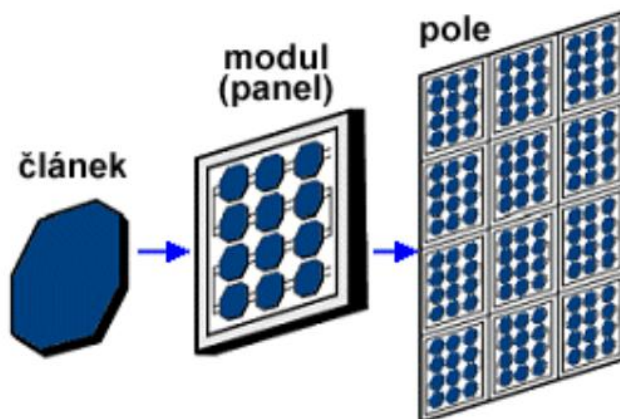
FV článek umožňuje přímou přeměnou slunečního záření vyrobít elektrický proud. Tento článek ale nedokáže zachytit záření s jakoukoliv vlnovou délkou (pracuje jen v určitém pásmu spektra), pokud dopadne na článek kratší či delší vlnová délka, jejich energie se nepřemění na elektrickou energii. Krátkovlnné záření článek absorbuje (část energie využita na emitování elektronu, zbytek se vyzáří ve formě tepla), dlouhovlnné záření článkem projde (viz obrázek 1.4). Aby článek vyráběl elektrinu není potřeba přímé osvětlení, ale stačí difúzní záření. [15]



Obrázek 1.4 Tok energie FV článku [15].

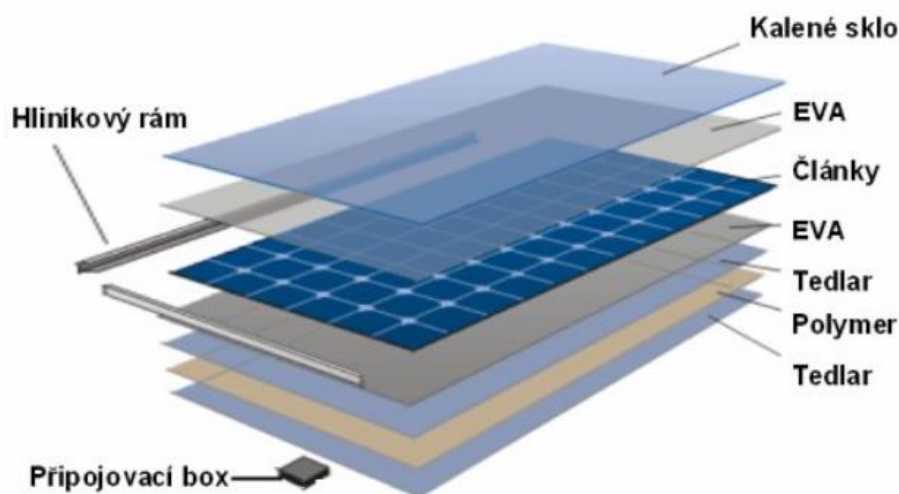
Jelikož výkon i napětí (cca 0,5 V) jediného FV článku je pro většinu aplikací příliš malý, články se spojují do FV panelů a tyto panely dalším spojením vytvářejí FV pole (viz obrázek 1.5). Články je možné skládat do panelů buď paralelně, pro zvýšení napětí, anebo sériově, pro zvýšení proudu. Spojením jednotlivých panelů dosáhneme požadovaného napětí, většinou 12 V nebo 24 V. Tyto hodnoty jsou vhodné pro menší systémy, na které je konstruována většina měničů a spotřebičů. [15] [16]

FV článek je sám o sobě velice křehký a snadno mechanicky zničitelný, proto je z obou stran obklopen organickou fólií z ethylvinylacetátu (dále jen EVA). EVA je velice odolný, průhledný polymer, který chrání diody a vodiče před možným zničením v důsledku otřesů, zatékání vody, zanášení částicemi písku atd. Čelní strana panelu je tvořena tvrzeným sklem, které má za úkol chránit před vnějšími vlivy, jako například krupobití, možné poškození při (de)montování, povětrnostními podmínkami, ale zároveň musí být co nejtěsnější, kvůli optickým vlastnostem.



Obrázek 1.5 Od článku až po pole [17].

U těchto skel, které se vyznačují vysokou stálostí propustnosti světla, je vyžadováno ve složení co nejmenší množství železa. Na spodní vrstvě se nachází krycí deska. Tato deska je vyráběna nejčastěji z plastu (např. z polypropylenu, polyethyltereftalátu nebo tedlaru). Uvedené rozdělení čelní a spodní části není, avšak jediná možnost, jelikož existují také panely, které jsou z obou stran prosklené. Z prostoru mezi uvedenými vrstvami se odčerpává vzduch. Aby všechny tyto vrstvy držely pohromadě, je zde ještě hliníkový rám. Poslední dvě komponenty celistvosti panelu jsou rozvodová skříň a kabely. [18] [19]



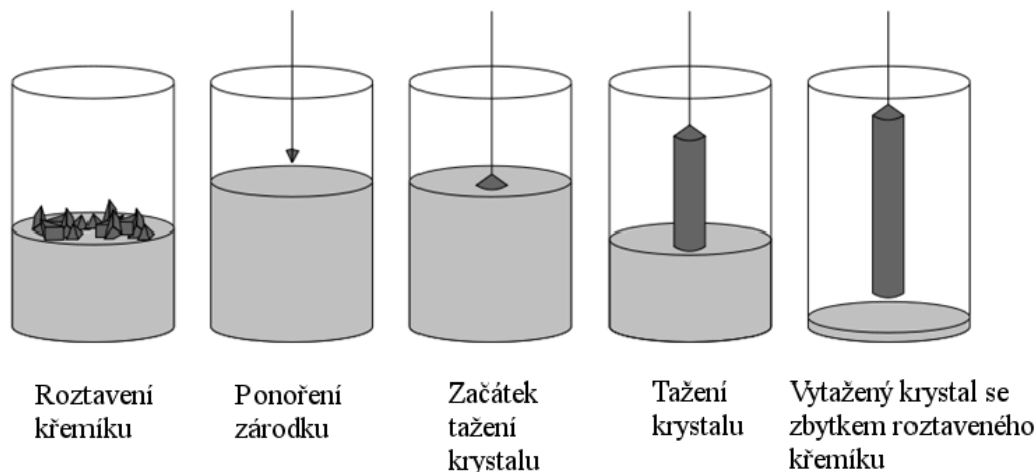
Obrázek 1.6 Skladba panelu s krystalickými křemíkovými články [20].

Záruka se u výrobců povětšinou uvádí 25 let, což konkrétně znamená, že dané solární panely mají garantovanou účinnost po uplynutí této doby alespoň 83 % původního výkonu. Životnost může být klidně více než 30 let, jen se musíme smířit s nižší účinností. Pro výrobu FV článků se používá převážně křemík. Mezi nejvyužívanější typy FV článků patří monokrystalické, polykrystalické a amorfni. [21]

1.2.4 První generace

Tato generace představuje hlavní část FV článků na trhu. Na trhu se objevila již v 70. letech 20. století. Nejznámější typy jsou monokrystalické a polykrystalické, které podrobněji popíší níže.

Mezi nejrozšířenější tvary monokrystalických článků patří čtvercový, či šestihranný s modrou až černou barvou. Jejich účinnost je vyšší než u polykrystalických a pohybuje se v rozmezí 16 až 20 %, v ideálních laboratorních podmínkách až 25 %. Monokrystalické články, jak název naznačuje, jsou složeny z jediného krystalu (tzv. ingotu), který je velice energeticky náročný a nákladný na výrobu. Nejčastěji využívána metoda pro výrobu monokrystalického článku se nazývá Czochralského proces. Při tomto procesu se křemík taví při teplotě vyšší než 1420 °C (teplota tání křemíku) spolu s příměsí bóru v křemíkových nádobách. Do taveniny se ponoří zárodečný krystal, který se pomalu otáčí a tahá se vzhůru, vytvářející tyč o kruhovém průměru až 300 mm a délce několik metrů. Tento proces je znázorněn na obrázku 1.7. Kvalitu krystalu ovlivňuje rovnoměrná teplota a pomalý a stálý růst. Tato tyč je dále upravena do požadovaného tvaru (nejčastěji čtverce) a nařezána na destičky (takzvané wafery) o tloušťce 0,3 mm. Řežou se kolmo ve směru růstu. Odpad z úpravy destiček je recyklován a znovu použit v novém procesu. [15][22][23][24]



Obrázek 1.7 Czochralského proces [25].

Existují také vysoce výkonné články, kde jsou zapotřebí materiály s vysokou čistotou. Čistější křemík lze vyrobit díky metodě nazývané zonální tavba, která umožňuje vyrobit čistší kvazi-monokrystal křemíku. V důsledku této metody může být dosaženo zvýšení účinnosti až o 2 % ve srovnání s klasickým monokrystalickým článkem. [15]

Polykrystalické články mají jasně modrou barvu s patrnou krystalickou strukturou. Nejčastěji se využívají ve čtvercovém tvaru. Přestože účinnost oproti monokrystalickým článkům je znatelně menší (13 až 16 %), dokážou lépe využívat difúzní záření, což se projevuje při nepříznivých světelných podmínkách. Výrobní proces těchto článků se nazývá blokové lití.

Tento postup začíná roztavením surového křemíku na teplotu 1500 °C, který je následně nalit do čtvercových forem. Poté se křemík ochlazuje na bod tání (1420 °C) a následně se řeže na čtvercové či obdélníkové plátky. Díky této „blokové“ výrobě je odpad minimální a celá procedura je levnější a jednodušší oproti výrobě monokrystalických článků. Nižší účinnost zapříčiňuje nižší kvalitu křemíku, která způsobuje vyšší elektrický odpor na hranicích dotýkajících se krystalových zrn. [15][26][27]

1.2.5 Druhá generace

Druhá generace FV článků představuje snahu nahradit čistý křemík polykrystalickým, mikrokrytalickým nebo amorfním křemíkem z důvodů drahého materiálu a výrobních nákladů. Tyto články jsou také často označovány jako tenkovrstvé díky své velmi tenké aktivní absorbující polovodičové vrstvě (tzv. thin film). Nahrazením čistého křemíku nejenže klesne cena a hmotnost, ale i celková účinnost, která dosahuje hodnot do 10 %. Velká flexibilita materiálu umožňuje použití těchto článků jako ohebné fólie nebo jako krycí fólie na střechy. [28]

Nejznámější zástupce druhé generace je amorfní článek, který má namísto pravidelné krystalické struktury neuspořádanou síť. Jeho výroba probíhá chemickým odlučováním z plynného silanu za teploty 200 °C v plazmovém reaktoru. Amorfní články mají výhodu dobré absorpce záření a menších ztrát při snížení osvětlení. Mezi nevýhody patří rychlé podléhání degradaci světlem, což v prvních dvou letech provozu může způsobit pokles výkonu až o 30 %. [22]

Do této generace spadají také méně rozšířené typy článků, jako jsou mikromorfní solární články, CIS články, CIGS články, články na bázi teluridu kademnatého a další. [22]

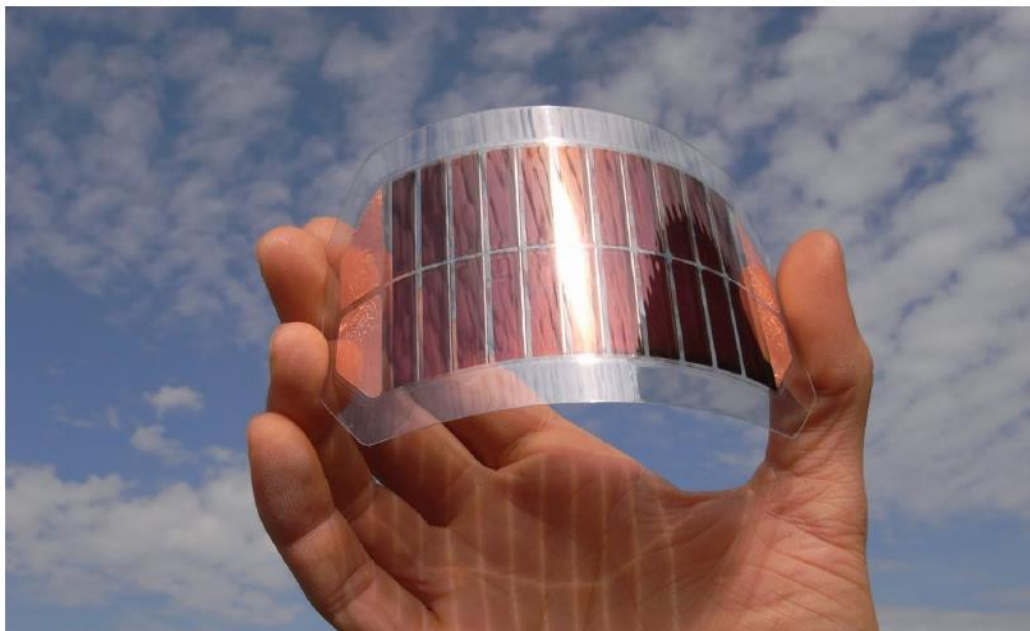
Tabulka 1.2 Vlastnosti nejpoužívanějších FV technologií [15].

Materiál	Účinnost [%]	Teplotní koeficient [%·K ⁻¹]	Potřebná plocha pro 1 kWp [m ²]
Monokrystalický křemík	11-18	-0,5	5-9
Polykrystalický křemík	10-16	-0,5	7-10
Amorfní křemík	4-7	-0,2	15-26
Mikromorfní křemík	7-12	-0,3	8,5-15
CIS	6-11	-0,36	9-17
CIGS	11-14	-0,5	8-9
CdTe	6-11	-0,25	9-17

1.2.6 Třetí generace

Hlavním cílem třetí generace FV článků je využít maximální energii dopadajících fotonů a maximalizovat počet absorbovaných fotonů. Mezi nejúspěšnější článek této generace patří vícevrstvý článek, kde každá jeho vrstva absorbuje určitou část spektra. Aby byl vícevrstvý článek efektivní, musí platit proudová rovnost, což znamená udržování stejného proudu ve všech vrstvách. Pro solární články lze rovněž využít organický materiál (viz obrázek 1.8),

který dodává článkům průhlednost a viditelnost. To umožňuje jejich využití jako alternativy k běžným oknům, přičemž zároveň slouží jako zdroj elektrické energie. [28]



Obrázek 1.8 Organický solární panel [29].

1.2.7 Elektrické parametry fotovoltaických článků

Klíčovým nástrojem pro návrh a diagnostiku solárních systémů je voltampérová charakteristika (zkráceně V-A charakteristika – viz obrázek 1.9), která umožňuje optimalizaci výkonu a sledování stavu fotovoltaických článků během provozu. Jak název naznačuje, tato charakteristika popisuje vztah mezi proudem a napětím ve fotovoltaických člancích. Prostor pod křivkou této charakteristiky lze vepsat do obdélníku, jehož rozměry odpovídají aktuálnímu výkonu. Tato vizualizace umožňuje efektivní monitorování a optimalizaci výkonu solárního systému. Níže uvedu parametry spojené s charakterizací fotovoltaických článků. [30][31]

Proud nakrátko I_{SC} označuje maximální proud, který může protékat obvodem při nulovém napětí za určitého osvětlení. Z toho vyplývá, že pokud je sériový odpor nulový, tak proud nakrátko je roven proudu generovaným světlem. Je závislý na intenzitě osvětlení, teplotě, ozářené ploše a spektrální citlivosti. [30][31]

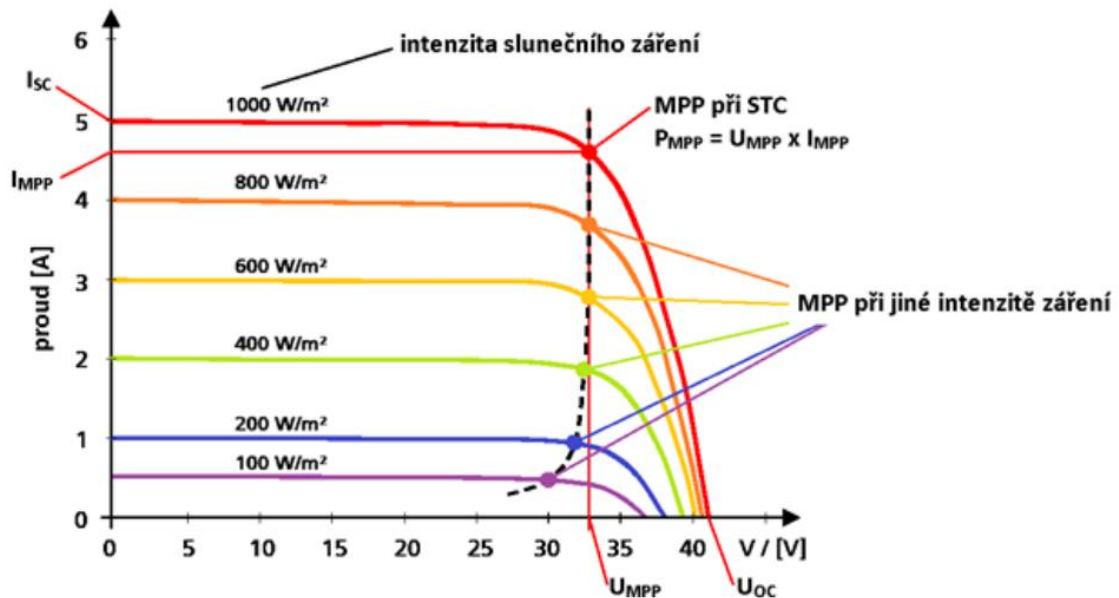
Napětí naprázdno U_{oc} je maximální napětí, které může být naměřeno na výstupech fotovoltaického systému, když není připojena žádná zátěž nebo spotřebič, a to při dané teplotě a intenzitě osvětlení. [30][31]

MPP (Maximum Power Point) neboli bod maximálního výkonu je stav na V-A charakteristice FV článku, kde je dosaženo maximálního výkonu. Zařízení, které udržují pracovní bod na MPP, se nazývají MPPT (Maximum Power Point Tracking) regulátory. Ty průběžně upravují pracovní bod tak, aby odpovídal podmínkám prostředí a zajistil co nejvyšší možný výkon. [30][31]

Faktor plnění je poměr mezi maximálním možným výkonem, kterého by panel mohl dosáhnout a výkonem, který panel skutečně dosahuje při reálném provozu. Faktor plnění

se pohybuje mezi 0 a 1. Čím blíže je k 1, tím je výkonnost fotovoltaického zařízení vyšší. [30][31]

Účinnost vyjadřuje, jak efektivně se sluneční záření přeměňuje na elektrickou energii. Tato veličina je úzce spjata s vlastnostmi materiálu fotovoltaického článku, jelikož materiál ovlivňuje spektrální citlivost článků na dopadající záření. [30][31]



Obrázek 1.9 V-A charakteristika FV modulu [31].

1.3 Fototermika

Fototermika, známá také jako solární kolektor, slouží k přeměně energie solárního záření na energii tepelnou prostřednictvím fototermické přeměny. Tento proces umožňuje efektivní využití slunečního záření k ohřevu tekutin nebo vzduchu. Tyto kolektory můžeme rozlišovat podle tvaru, a to na ploché, trubicové vakuové a koncentrační, anebo podle způsobu přenosu tepla na kapalinové, teplovzdušné a kombinované systémy. Kapalinové systémy využívají teplotněstabilní látku, kterou může být voda, nemrznoucí směs, plyn, olej nebo sůl. Aplikace těchto systémů je obrovská, nejčastěji se však využívají pro ohřev vody v rodinných domech. [32][33][34]

1.3.1 Historie

Historie fototermických kolektorů sahá až do roku 1891, kdy Američan Clarence M. Kemp získal první patent na plochý sluneční kolektor s názvem „aparát pro využití slunečních paprsků pro ohřev vody“. Jeho systém zahrnoval zásobník vody umístěný na střeše zakrytý sklem. Vylepšení přišlo téměř dvacet let později, kdy byl kolektor přemístěn na střechu a zásobník umístěn do interiéru. Velký pokrok nastal také v roce 1930, kdy Charles G. Abbot získal patent na vakuové trubice, které byly významným vylepšením fototermických kolektorů. Tato technologická inovace přinesla zvýšenou účinnost a schopnost lépe využívat sluneční energii. Zlomovým okamžikem pro fototermiku byl rok 1973, kdy svět čelil ropné krizi. Tato událost vedla k zvýšenému zájmu o alternativní zdroje energie, včetně slunečních kolektorů.

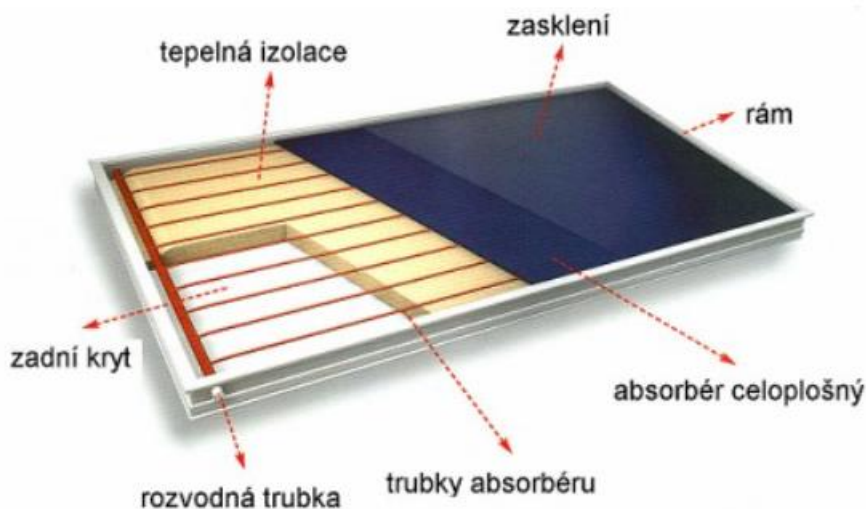
V této době začala fototermika hrát významnou roli ve snaze o větší energetickou nezávislost a udržitelnost. [35]

1.3.2 Princip

Již zmíněná fototermická přeměna představuje jednu z nejjednodušších cest k využití dopadajícího slunečního světla. Princip spočívá v absorpci slunečního záření na povrchu materiálů, kdy se energie fotonů mění na teplo. Množství pohlceného slunečního záření je ovlivněno jak materiálem, tak barvou povrchu. Vzniklé teplo je dále přenášeno pomocí teplotnosné látky, která je obvykle kapalina nebo vzduch, k místu jeho využití, případně uložení. Fototermická přeměna tak umožňuje efektivní využití sluneční energie prostřednictvím jednoduchého procesu absorpce a přenosu tepla. [36][37]

1.3.3 Konstrukce

Fototermický panel je většinou vybaven trubicemi, nazývanými také kolektory, s absorberem, který vstřebává sluneční záření a ohřívá teplotnosnou látku. Tento buď měděný či hliníkový absorber, vyrobený z plechu, obsahuje ze zadu měděné trubky. Plech je opatřen tzv. selektivním spektrálním nátěrem (černou vrstvou), která zlepšuje absorpci a minimalizuje odraz. Celý systém je uzavřen v kovové, plastové, hliníkové nebo dřevěné skříni, což poskytuje ochranu před nepříznivými vlivy. Je zde také izolace, zpravidla z minerální vlny nebo polyuretanu, která zabraňuje úniku tepla a slouží k ochraně před vlhkostí okolí. Jako poslední prvek je krycí sklo, s vysokou propustností pro sluneční záření. Sklo je velmi tvrdé, což zvyšuje odolnost kolektoru vůči kroupám a jiným vnějším vlivům. Mezi nejvýznamnější ztráty patří tepelné ztráty a ztráty způsobené odražením. Názorná ukázka konstrukce kapalinového a vzduchového kolektoru je na obrázku 1.10 a obrázku 1.11. [33]



Obrázek 1.10 Konstrukce plochého kapalinového kolektoru [36].

1.3.4 Typy

Typy kolektorů se dělí podle přenosu tepla na pasivní a aktivní. Rozdíl mezi těmito druhy je takový, že aktivní využívají doplňkové technologie, jako jsou čerpadla, zatímco pasivní nevyžívají žádné dodatkové technologie. Aktivní kolektory jsou vhodné pro složitější aplikace, jako je ohřev vody, zatímco pasivní jsou ideální pro jednodušší použití, například

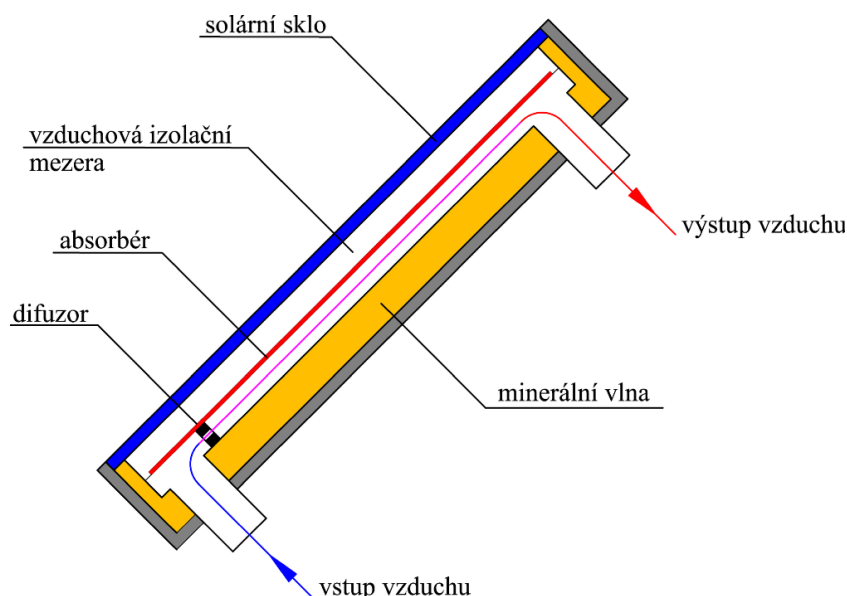
ohřev vody pro bazény. V následujícím textu si popíšeme nejznámější typy, kterými jsou plastové, ploché, vakuové trubkové, koncentrační a vzduchové kolektory.

Plastové kolektory jsou považovány za jeden z nejprimitivnějších typů kolektorů vůbec. Nejenže povětšinou nemívají zakrytý absorber, ale mají také velmi špatnou odolnost. Nezakrytý absorber sice zvyšuje tepelné ztráty, zároveň ale zvyšuje intenzitu dopadajícího slunečního záření. Tyto kolektory jsou využívány především pro sezónní ohřev. [34]

Ploché kolektory jsou oproti plastovým více sofistikované. Kolektory jsou vybaveny zasklením a plochým kovovým absorberem. Můžeme je rozlišovat podle provedení, a to buď se selektivním absorberem (který pohlcuje solární záření, ale téměř ho nevyzařuje do okolí) nebo s neselektivním absorberem. Ploché kolektory jsou vhodné pro ohřev užitkové vody v domácnostech. Z důvodu možného ochlazování, způsobeným prouděním vzduchu mezi sklem a absorberem, se vzduch uvnitř kolektoru snižuje na mírné vakuum (od 1 do 10 kPa). Proto bývají skříň z jednoho výlisku. [9]

Vakuové trubkové kolektory mají válcové zasklení. Prostor mezi absorberem a zasklením je vyplněn vakuem. Tato konstrukce umožňuje vakuovým trubkovým kolektorům dosahovat velmi nízkých tepelných ztrát, avšak na druhou stranu jsou tyto kolektory nákladnější. Existují verze s jedностěnnou či dvoustěnnou trubkou. Dají se rozlišit také podle způsobu odvodu tepla na přímo protékající a na potrubí ve tvaru U. U přímo protékajících je absorber vodivě spojen s potrubím přímo protékajícím kapalinou. U varianty ve tvaru U polovina smyčky přivádí teplotněnou látku z absorberu, zatímco druhá polovina ji odvádí zpět. [9]

U koncentračních kolektorů je sluneční záření soustředěováno pomocí zrcadel či čoček do ohniska. Tyto kolektory s parabolickým reflektorem se dělí podle tvaru ohniska na lineární a bodové. Díky tomuto soustředění dosahuje absorber obrovských teplot srovnatelných s teplotou povrchu Slunce. Hlavní nevýhodou je nutnost neustálého otáčení kolektoru podle pohybu Slunce. Celková cena těchto kolektorů je velmi vysoká, a proto se využívají především ve velkých solárních elektrárnách. [9][34]



Obrázek 1.11 Konstrukce vzduchového solárního kolektoru [38].

Vzduchové kolektory (viz obrázek 1.11) oproti předchozím využívají jako teplonosné médium vzduch. Proudění vzduchu je zajišťováno buď ventilátorem nebo přirozeným tahem. Technologie se dělí na otevřené a zavřené systémy. [39]

1.4 Ohřev TUV

V dnešní době si život bez teplé vody ani neumíme představit, přivykli jsme si mít teplou vodu včas a v dostatečném množství. S rostoucím komfortem stoupá i naše spotřeba teplé vody, a s ní i energetické nároky na její ohřev. Jak bylo uvedeno v úvodní kapitole „Spotřeby energie domu“, podíl spotřebované energie na ohřev teplé vody se pohybuje kolem 20 až 30 % z celkové energetické spotřeby. Při přípravě teplé vody jsou kladeny požadavky na jednoduchou obsluhu, bezpečnost, dodržování hygienických podmínek anebo co nejmenší tepelné ztráty při přenosu tepla od místa ohřevu k místu spotřeby, což znamená co nejkratší cestou. [40]

Existuje několik způsobů příprav teplé vody: centrální, skupinový nebo individuální. Při individuálním způsobu má každé odběrné místo vlastní ohříváč, u skupinového zásobuje jeden ohříváč sousedící místa a centrální zásobuje teplou vodou celý dům z jednoho centrálního ohříváče. Tato práce se bude zaměřovat na centrální zásobování. [40]

Neexistuje univerzální systém pro ohřev TUV, jelikož každá domácnost je odlišná a závisí na různých parametrech, jako jsou potřebné množství tepla, čas její spotřeby, cenová dostupnost, prostory k dispozici a další. Tyto zařízení se dělí na průtokové, elektrické, plynové nebo akumulární ohříváče. Zařízení pro ohřev vody za pomoci fotovoltaických či fototermických zařízení mohou být velmi úspěšná. [40]

1.4.1 Typy ohříváčů

Akumulární ohříváč slouží k ohřevu vody, která se uchovává ve zásobníku. Jejich hlavní předností je schopnost dodání velkého množství vody se stabilní teplotou během krátké doby. Obsah bojleru by měl být dostatečný na pokrytí potřeb během dne až do dalšího odběru. Teplota vody v bojleru klesá nejen během používání, ale také kvůli tepelným ztrátám, které vznikají únikem tepla přes stěny bojleru. Proto je efektivnější umístit ohříváč do místnosti s vyšší teplotou. Důležitým parametrem u tohoto ohříváče je hodnota koeficientu měrných tepelných ztrát, která udává kolik tepla se ztratí jednomu litru vody za 24 hodin, když je v bojleru. Mezi další ztráty patří úniky tepla přes potrubí, které lze minimalizovat udržováním krátké vzdálenosti mezi ohříváčem a odběrným místem. Při větší vzdálenosti je důležitá kvalitní tepelná izolace a efektivní cirkulace vody v potrubí, aby se teplá voda byla schopna dostavit co nejrychleji na dané místo. Tyto ohříváče lze dobře kombinovat s OZE, jako jsou solární kolektory či tepelná čerpadla. [40]

Elektrický zásobníkový ohříváč je především využíván v nočních hodinách, kdy jsou sniženy ceny elektřiny. Jedním z potenciálních problémů těchto zařízení je tvrdá voda, která může způsobovat vytváření vodního kamene. Tento jev vede k postupnému snižování účinnosti ohřevu, zvyšuje spotřebu energie a v extrémních případech může poškodit ohřevnou spirálu. Pravidelný servis je proto klíčový pro udržení optimálního výkonu. Elektrický zásobníkový ohříváč může být integrován s fotovoltaickými panely, což umožňuje využití obnovitelné energie pro ohřev vody, a vede ke snížení závislosti na konvenční elektřině a k ekonomickým i ekologickým výhodám. [40]

Plynové zásobníkové ohříváče využívají teplo, které vzniká spalováním plynu, k ohřevu vody. Tyto ohříváče lze rozdělit do dvou kategorií: přímo výhřevné a nepřímo výhřevné. V případě přímo výhřevných zařízení je voda ohřívána samostatným tělesem pomocí plynového hořáku, přičemž spaliny často odcházejí do komína. Naopak nepřímo výhřevné ohříváče jsou propojeny s plynovým kotlem. Tyto zařízení se nachází blízko plynového kotle, který zahřívá vodu pro topný systém. Plynový kotel zahřívá vodu využívanou v topném

systemu a tato horká voda prochází i zásobníkem na teplou vodu pomocí výměníku tepla. Tento systém je obzvláště vhodný v topném období, kdy plynový kotel pracuje nepřerušovaně. Naopak v letních měsících, kdy dochází k častému vypínání a zapínání kotlů, dochází k rychlejšímu opotřebení zařízení. [40]

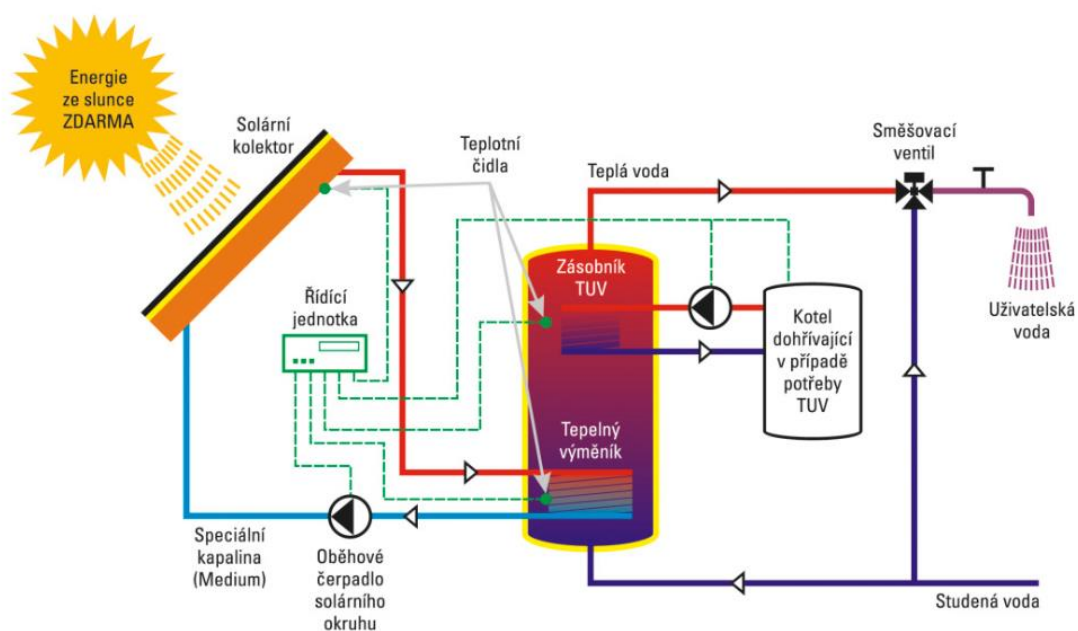
Kombinovaný (bivalentní) zásobníkový ohřivač disponuje jak odporovým elektrickým tělesem, tak tepelnými spirálami. V tepelné spirále se nachází voda zahřátá kotlem na zemní plyn. Během topné sezóny je využíváno teplo ze spalování plynu, zatímco v letních měsících teplo z elektrického ohřevu. [40]

Průtokový ohřivač se od předchozích typů odlišuje zejména tím, že okamžitě využívá ohřátou vodu, což eliminuje potřebu zásobníku. Tato vlastnost z něj činí menší zařízení, které může být umístěno blízko místa spotřeby. Díky tomu, že se voda spotřebovává okamžitě, jsou průtokové ohřivače považovány za hygieničtější, jelikož se voda nenakupuje v zásobníku, kde by mohly vznikat bakterie. Například elektrické průtokové ohřivače, kvůli své potřebě elektrického proudu, mohou být napájeny ze sítě nebo právě z fotovoltaických systémů. Tato zařízení jsou obvykle dražší a ohřejí menší množství vody, a proto je důležité zvážit, jaké požadavky máme a jaký výkon očekáváme. [41][40]

1.4.2 Solární systémy na přípravu teplé vody

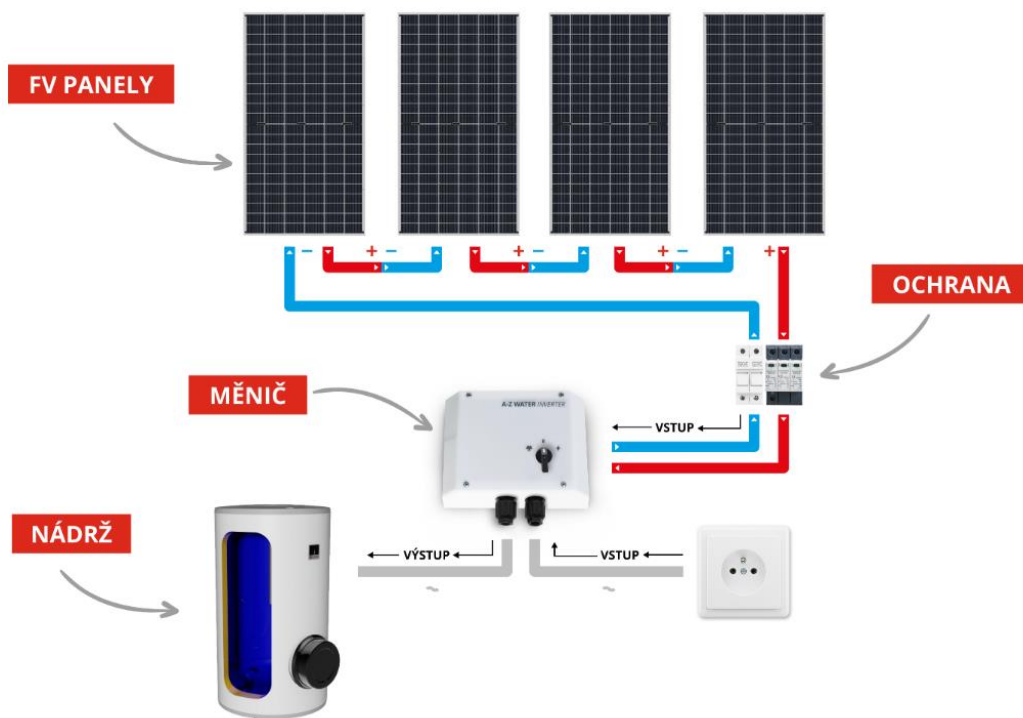
Solární systémy na přípravu teplé vody jsou v České republice čím dál tím více populárnější. Nicméně jejich použití jako jediného zdroje není možné po celý rok. Proto je vhodné zajistit dodávku tepla i z jiných zdrojů, jako jsou například plynový kotel nebo tepelné čerpadlo.

U fototermiky dopadne sluneční energie a v kolektoru se přemění na teplo v podobě zahřívání teplotnosné kapaliny. Kapalina se potrubím za pomoci cirkulačního čerpadla přenesou do výměníku tepla. Pro fototermický systém jsou nezbytné sluneční kolektory, nosná konstrukce, zásobník, potrubí s izolací, výměník tepla, čerpadlo s oběhovou soustavou, řídicí solární jednotky a vyrovnávací expanzní nádoby. Zásobníky by měly být dostatečně velké (až pro tři denní spotřebu teplé vody) z důvodu možného nepříznivého počasí. Zjednodušené schéma je znázorněno na obrázku 1.12. [40]



Obrázek 1.12 Schéma zapojení fototermického systému [42].

U fotovoltaiky se sluneční energie přeměňuje na elektrickou energii, která je následně přivedena přímo k topnému tělesu v bojleru přes přepětovou ochranu a regulátor, obvykle prostřednictvím dvou tenkých kabelů. Regulátor ohřevu vody optimalizuje využití solární energie pomocí technologie MPPT (zmněno výše) a může mít i další řídicí funkce pro snížení odběru elektřiny ze sítě. Tato systémová konfigurace běžně zahrnuje fotovoltaické panely, nosnou konstrukci, zásobník vody, regulátor, termostat a další příslušenství, jako jsou kabely, rozvaděč a podobně. Zjednodušené schéma je znázorněno na obrázku 1.13. [43]



Obrázek 1.13 Schéma zapojení FV systému [44].

1.4.3 Výhody a nevýhody fotovoltaiky vůči fototermiky

Jednou z výhod fotovoltaiky je jednodušší a rychlejší montáž. Tato technologie umožňuje výrobu elektrické energie i při nízkém slunečním záření, což znamená, že je efektivní i za oblačných dnů. Fotovoltaické panely mají schopnost odolat přehřátí, zamrznutí a podobným jevům, což zvyšuje jejich spolehlivost. Díky absenci teplotně odolné látky nejsou vystaveny ztrátám spojeným s touto látkou. V letních měsících dosahují vyšší účinnosti a nepotřebují oběhová čerpadla ani měnit nemrznoucí směsi. [15][43][45]

Nicméně fotovoltaika má také své chyby. Je citlivější na stínění a může být nebezpečná v případě nehody, kdy hrozí riziko úrazu elektrickým proudem nebo požáru. Instalace vyžaduje větší plochu. [15][43][45]

Celkově lze konstatovat, že každá z těchto technologií má své výhody a nevýhody, a volba mezi nimi závisí na konkrétních potřebách a podmínkách instalace.

2 Návrh

V této kapitole představím lokalitu a budovu obytné jednotky, kde budou instalovány fotovoltaické a fototerické panely pro ohřev TUV. Hlavním cílem je snížení nákladů na ohřev vody, který je v současné době zajišťován pouze pomocí kondenzační kotle na zemní plyn. Na základě spotřeby domácností provedu výpočet potřebného tepla a určím plochu panelů pro oba systémy.

2.1 Popis lokality a bytové jednotky

Vybraný objekt se nachází v Moravskoslezském kraji ve městě Krnov na souřadnicích 50.0895308N severní šířky a 17.6871828E východní délky. Jedná se o cihlovou budovu vybudovanou kolem roku 1930 s šesti zateplenými bytovými jednotkami o průměrné velikosti 90 m². V každé bytové jednotce bydlí tři až čtyřčlenná rodina, celkem tedy přibližně 19 lidí.



Obrázek 2.1 Satelitní snímek popisovaného domu z mapy.cz.

Střecha této budovy je orientována téměř přesně na sever a na jih, s minimální odchylkou 3°. Vzhledem k delšímu osvětlení sluneční energie během dne bude využívána jižní strana střechy. Sklon střechy činí 20°, a v okolí domu nejsou žádné větší objekty (stromy, další budovy apod.), které by mohly způsobit zastínění systémů a snížit jejich účinnost. Jižní strana střechy má na délku 22 m a na šířku 5,75 m, což dává celkovou využitelnou plochu 126,5 m². S ohledem na střešní okna, komíny a naklonění fotovoltaických panelů je použitelná plocha odhadnuta na 120 m².

2.2 Volba scénáře

Před začátkem porovnání obou systémů potřebuji znát určitá data jako je množství slunečního záření dopadající na určitou plochu či hodnoty elektrické energie. Tato data jsem získal za pomoci programu PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System). PVGIS je online nástroj poskytující informace a simulace o potenciálu solární energie na určité geografické lokalitě. Tento systém byl vyvinut Evropskou komisí a poskytuje užitečné informace pro plánování a optimalizaci solárních energetických systémů. Poskytuje data o množství slunečního záření, výkonu fotovoltaických panelů a předpovědi výroby energie pro různé typy solárních zařízení a umístění. Mezi hlavní funkce tohoto programu patří mapování potenciálu solární energie, technické a ekonomické hodnocení solárních projektů a porovnání různých typů solárních zařízení na konkrétní lokalitě. PVGIS je užitečný jak pro jednotlivce, tak i pro profesionální projektanty a investory v oblasti obnovitelných zdrojů

energie. Všechna data z tabulky 2.1 jsou tedy pro přesnou lokalitu s úhlem natočení systému 35° směřovaného přímo na jih s již započítanými ztrátami systému 10 % (viz příloha 1). Mezi další možné ztráty může patřit například změna účinnosti panelů během roku. Avšak s touto ztrátou jsem nepočítal, neboť je marginální.

Tabulka 2.1 Hodnoty elektrické energie a slunečního záření.

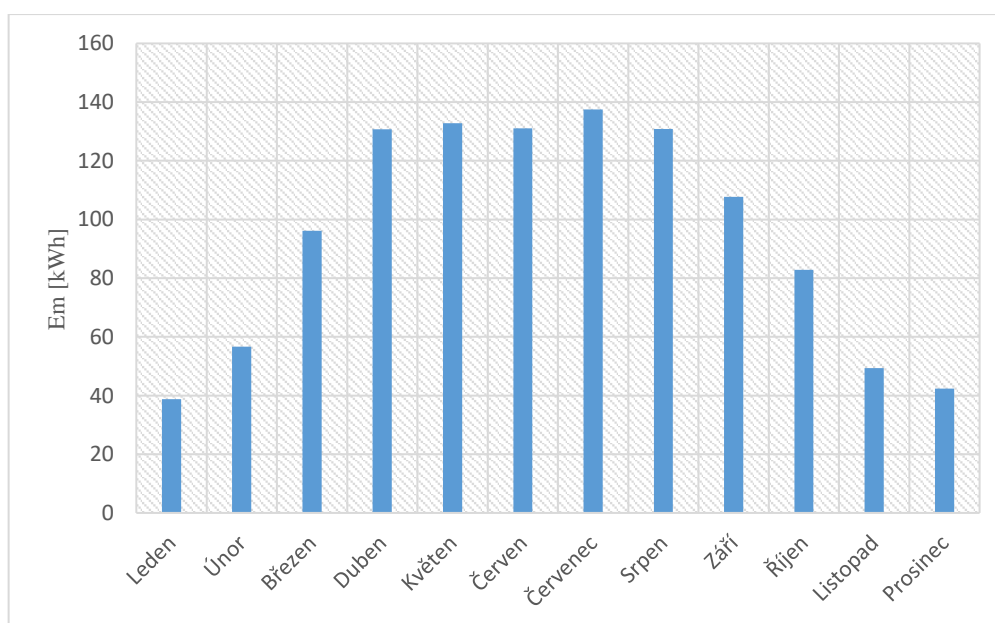
Měsíc	E_m [kWh]	E_d [kWh]	H_m [kWh · m ⁻²]	H_d [kWh · m ⁻²]
Leden	38,800	1,252	42,500	1,371
Únor	56,700	2,025	62,400	2,229
Březen	96,100	3,100	109,400	3,529
Duben	130,700	4,357	154,500	5,150
Květen	132,800	4,284	160,300	5,171
Červen	131,100	4,370	161,000	5,367
Červenec	137,500	4,435	171,600	5,535
Srpen	130,900	4,223	162,700	5,248
Září	107,700	3,590	129,600	4,320
Říjen	82,800	2,671	96,400	3,110
Listopad	49,300	1,643	55,800	1,860
Prosinec	42,400	1,368	47,000	1,516
Průměr	94,733	3,110	112,767	3,700
Celkově	1136,800	37,317	1353,200	44,406

Kde: E_m [kWh] – Průměrná měsíční výroba elektrické energie ze systému.

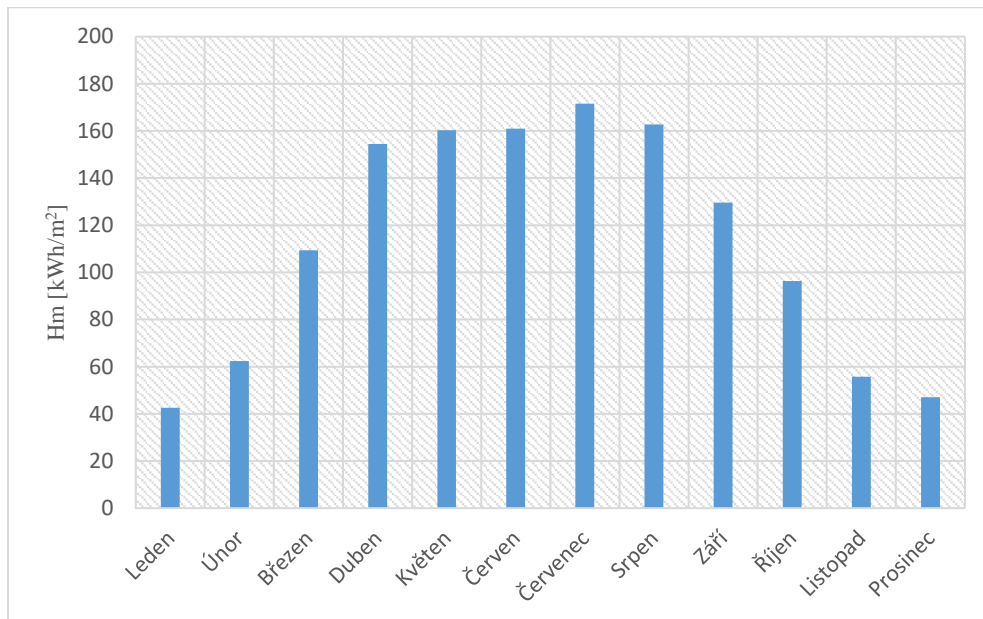
E_d [kWh] – Průměrná denní výroba elektrické energie ze systému.

H_m [kWh · m⁻²] – Průměrná měsíční suma záření na m² přijímaná moduly.

H_d [kWh · m⁻²] – Průměrná denní suma záření na m² přijímaná moduly.



Obrázek 2.2 Průměrná měsíční výroba elektrické energie ze systému.



Obrázek 2.3 Průměrná měsíční suma záření na m^2 přijímaná moduly.

2.3 Fototerický systém

Prioritou tohoto systému je zajistit dostatečné množství teplé vody od dubna do září pro 19 osob, při zvyšování teploty vody z $t_1 = 30\text{ °C}$ na $t_2 = 65\text{ °C}$. Zvolení vyšší počáteční hodnoty t_1 je z důvodu udržení teploty v zásobníku. Mimo toto období bude sloužit jako dohřev vody plynový kondenzační kotel. Přestože denní maximální spotřeba teplé vody činí 50 litrů na osobu, nelze objem mechanicky násobit, spíše se počítá s průměrnou spotřebou na rodinu, která se pohybuje kolem 130 litrů [46]. Pro našich 6 bytových jednotek to znamená potřebu celkového přibližného objemu $6 \cdot 130 = 780$ litrů. S ohledem na možnou potřebu nahřátí dvojnásobného množství vody z důvodu nepříznivého počasí, a dalších faktorů, zvolím zásobník o objemu 1500 litrů.

2.3.1 Postup výpočtu spotřeby tepla

Metoda výpočtu spotřeby tepla je založena na kalorimetrické rovnici, která je definována následovně:

$$Q_s = c_{p,w} \cdot \rho_w \cdot V \cdot \Delta t. \quad (1)$$

Kde $c_{p,w}$ představuje měrnou tepelnou kapacitu vody a ρ_w hustotu vody, které jsou upraveny pomocí interpolace:

$$x = x_0 + (y - y_0) \cdot \frac{x_1 - x_0}{y_1 - y_0}. \quad (2)$$

Interpolaci jsem aplikoval z důvodu nedostatku konkrétních hodnot v tabulkách [47], tedy hodnoty byly známy pouze v některých bodech tohoto intervalu za pomoci nichž jsem získal přibližnou potřebnou hodnotu. Tyto hodnoty jsou stanoveny pro střední teplotu vody, definovanou jako průměr mezi počáteční teplotou t_1 a konečnou teplotou t_2 . Když tedy znám

střední teplotu vody, která činí 47,5 °C, tak si najdu v tabulkách nejbližší vyšší a nižší hodnoty (50 °C a 45 °C) a použiji interpolaci, viz vzorec 2, k určení měrné tepelné kapacity a hustoty. Kde $c_{p,w0}$ a ρ_{w0} je pro $t_0 = 45$ °C, $c_{p,w1}$ a ρ_{w1} je pro $t_1 = 50$ °C, $c_{p,w}$ a ρ_w pro $t = 47,5$ °C. Tedy výpočet $c_{p,w}$ po dosazení do vzorce 2 bude vypadat následovně:

$$c_{p,w} = c_{p,w0} + (t - t_0) \cdot \frac{c_{p,w1} - c_{p,w0}}{t_1 - t_0} \quad (3)$$

$$c_{p,w} = 4176 + (47,5 - 45) \cdot \frac{4178 - 4176}{50 - 45} = 4177 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}.$$

A výpočet ρ_w bude vypadat:

$$\rho_w = \rho_{w0} + (t - t_0) \cdot \frac{\rho_{w1} - \rho_{w0}}{t_1 - t_0} \quad (4)$$

$$\rho_w = 990,2 + (47,5 - 45) \cdot \frac{988,0 - 990,2}{50 - 45} = 989,1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}.$$

Objem zásobníku je již v kapitole 2.3 definován a posledním neznámým faktorem je Δ_t , což je rozdíl teplot. Tento rozdíl jsem vypočetl odečtením počáteční teploty t_1 od konečné t_2 , tedy $\Delta_t = t_2 - t_1 = 65 - 30 = 35$ °C.

Objem zásobníku jsem převedl z litrů na metry krychlové, $V = 1500 \text{ l} = 1,5 \text{ m}^3$. Nakonec jsem dosadil vypočítané a převedené hodnoty do vzorce 1 a výsledek převedl z jouľů na kilowatthodiny, tedy

$$Q_s = 4180 \cdot 988,05 \cdot 1,5 \cdot (35) = 216\,827\,573 \text{ J} = 60,23 \text{ kWh}. \quad (5)$$

2.3.2 Postup výpočtu potřebných kolektorů

V různých částech systému, jako jsou potrubí a zásobníky, dochází k určitým tepelným ztrátám, které jsou již zahrnuty v hodnotách z PVGIS, kde jsem předpokládal 10% ztrátu. Nejnižší množství slunečního záření dopadajícího na jeden metr čtvereční za den, od dubna do září, se vyskytuje v září. Proto provedu demonstraci výpočtu potřebné plochy pro tento měsíc, a tento výpočet opakuji pro každý měsíc.

Pro výpočet potřebného množství solárních kolektorů postupuji následovně. Nejprve určím počet kolektorů pomocí průměrné účinnosti. Standardní účinnost fototermických zařízení se pohybuje mezi 70 až 80 % [48], proto volím 75 % účinnost.

Dále vypočítám reálné množství energie H_r a to tak, že hodnotu H_d vynásobím zvolenou účinností. Tedy:

$$H_r = H_d \cdot \eta = 4,320 \cdot 0,75 = 3,240 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}. \quad (6)$$

Nakonec vypočítám potřebnou plochu kolektorů jako podíl spotřeby tepla Q_s a reálného množství energie H_r :

$$P_k = \frac{Q_s}{H_r} = \frac{60,23}{3,240} = 18,60 \text{ m}^2. \quad (7)$$

Tabulka 2.2 Hodnoty pro fototerický systém.

Měsíc	H_r [$\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}$]	P_k [m^2]
Leden	1,03	58,60
Únor	1,67	36,05
Březen	2,65	22,77
Duben	3,86	15,60
Květen	3,88	15,54
Červen	4,03	14,97
Červenec	4,15	14,51
Srpen	3,94	15,31
Září	3,24	18,60
Říjen	2,33	25,84
Listopad	1,40	43,19
Prosinec	1,14	52,99

Kde: H_r [$\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}$] – Měrný výkon kolektoru při účinnosti 75 % (H_d při účinnosti 75 %).
 P_k [m^2] – Plocha kolektorů při 75% účinnosti.

2.4 Fotovoltaický systém

V rámci tohoto systému budu pracovat s hodnotami a postupy, které byly popsány v předchozí kapitole 2.3. Tedy cílem je zajistit dostatečné množství teplé vody od dubna do září pro 19 osob při zvyšování teploty vody z $t_1 = 30$ °C na $t_2 = 65$ °C. Stejně jako u fototerického systému bude sloužit jako dohřev vody mimo toto období plynový kondenzační kotel a objem zásobníku bude činit taktéž 1500 litrů.

2.4.1 Postup výpočtu spotřeby tepla

Princip postupu výpočtu bude naprosto stejný jako v kapitole 2.3.1, proto postup zkrátím. Ze známých hodnot t_1 a t_2 (viz kapitola 2.3) můžeme vypočítat neznámou $\Delta_t = 35$ °C. Dále určím střední hodnotu t , která činí 47,5 °C. Pro tuto teplotu chybí hodnoty v tabulkách [47]. Proto si najdu nejbližší vyšší a nižší hodnoty (50 °C a 45 °C) a použiji interpolaci, viz vzorec 2, k určení měrné tepelné kapacity a hustoty. Viz vzorec 3 a 4 vyjdou stejné hodnoty a to $c_{p,w} = 4177 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ a $\rho_w = 989,1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Objem zásobníku převedu z litrů na metry krychlové, $V = 1500 \text{ l} = 1,5 \text{ m}^3$. A nakonec dosadím vypočítané a převedené hodnoty do rovnice 1 a dostanu stejný výsledek jako u fototerického systému, a to 60,23 kWh.

2.4.2 Postup výpočtu potřebných panelů

U FV panelů budu počítat se dvěma výrobními provedeními, které jsou monokrystalické a polykrystalické panely. Každý typ má svou specifickou účinnost, kterou dále popíšu. Z důvodů podobného výpočtového principu jako v kapitole 2.3.2 celý postup zkrátím. Ztrátu jsem předpokládal 10 %.

U monokrystalických panelů se standardní účinnost obvykle pohybuje v rozmezí mezi 15 až 24 % [49]. Pro účely výpočtu zvolím přibližnou průměrnou hodnotu účinnosti zaokrouhlenou na celá čísla směrem dolů, konkrétně 19 %.

U polykrystalických panelů se účinnost pohybuje mezi 13 až 20 % [49]. Zvolím stejně jako minule přibližnou průměrnou hodnotu účinnosti zaokrouhlenou na celá čísla směrem dolů, to je v tomto případě 16 %. Dále vypočítám reálné množství denního slunečního záření (H_r)

a to tak, že hodnotu H_d vynásobím zvolenou účinností. Tento postup opakuji pro každý měsíc, a pro demonstraci použiji měsíc září. Prvním typem, na který se zaměřím, budou monokrystalické fotovoltaické panely:

$$H_r = H_d \cdot \eta = 4,32 \cdot 0,19 = 0,82 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}. \quad (8)$$

Druhým typem, polykrystalické panely:

$$H_r = H_d \cdot \eta = 4,32 \cdot 0,16 = 0,69 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}. \quad (9)$$

Výpočet plochy panelů při účinnosti pro monokrystalické panely bude vypadat tedy:

$$P_k = \frac{Q_s}{H_r} = \frac{60,23}{0,82} = 73,41 \text{ m}^2. \quad (10)$$

A pro polykrystalické panely:

$$P_k = \frac{Q_s}{H_r} = \frac{60,23}{0,69} = 87,18 \text{ m}^2. \quad (11)$$

Tabulka 2.3 Hodnoty pro monokrystalický panel.

Měsíc	H_r [kWh · m ⁻²]	P_k [m ²]
Leden	0,26	231,32
Únor	0,42	142,30
Březen	0,67	89,86
Duben	0,98	61,58
Květen	0,98	61,33
Červen	1,02	59,09
Červenec	1,05	57,29
Srpen	0,10	60,43
Září	0,82	73,41
Říjen	0,59	101,98
Listopad	0,35	170,50
Prosinec	0,29	209,17

Kde: H_r [kWh · m⁻²] – Měrný výkon panelu při účinnosti 19 % (H_d při účinnosti 19 %).
 P_k [m²] – Plocha panelů při 19% účinnosti.

Tabulka 2.4 Hodnoty pro polykrystalický článek.

Měsíc	H_r [$\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}$]	P_k [m^2]
Leden	0,22	274,69
Únor	0,36	168,99
Březen	0,53	113,83
Duben	0,82	73,13
Květen	0,83	72,83
Červen	0,86	70,17
Červenec	0,89	68,03
Srpen	0,84	71,76
Září	0,69	87,18
Říjen	0,50	121,11
Listopad	0,30	202,47
Prosinec	0,24	248,39

Kde: H_r [$\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}$] – Měrný výkon panelu při účinnosti 16 % (H_d při účinnosti 16 %).

P_k [m^2] – Plocha panelů při 16% účinnosti.

3 Analýza ekonomické návratnosti navržených systémů

3.1 Vybrané komponenty pro FV systém

Při volbě komponentů jsem požádal několik firem, aby mi připravily nezávazné nabídky na solární fotovoltaický systém. Srovnával jsem tyto nabídky s ohledem na ceny, recenze, kvalitu a dostupnost, abych pak pečlivě vybral komponenty, které považuji za jedny z nejlepších voleb na trhu. Ceny jednotlivých komponent jsou odvozeny z reálných nabídek, což zahrnuje i mírné navýšení od firem za jejich zprostředkování a kompletaci. Tyto komponenty jsem vybral s ohledem na optimální funkčnost a kompatibilitu systému.

3.1.1 FV panely

Pro monokrystalický systém jsem zvolil panel Jinko 405 Wp IP67, uveden na obrázku 3.1. Bifaciální povrch panelů (neboli oboustranný) umožňuje efektivnější využití sluneční energie, což přináší vyšší výkon a lepší absorpci světla ve srovnání s tradičními jednostrannými panely. Přední strana zachytává přímé sluneční světlo, zatímco spodní strana v tutéž chvíli zachytává ostatní světlo z okolního prostředí, buď rozptýlené nebo odražené od podlahy/okolí, kde panel stojí. Tento panel má vynikající poměr ceny a výkonu na trhu a dosahuje účinnosti kolem 19 %, s čímž počítám ve výpočtech. Dále je vybaven samočisticím sklem a prokazuje vysokou odolnost. Celková cena za 36 kusů dosahuje 100 440 Kč, přičemž cena jednoho panelu činí 2790 Kč. Rozměry panelu jsou 2031×1008×40 mm, což odpovídá ploše 2,05 m². [50] [51]



Obrázek 3.1 FV panel Jinko 405 Wp IP67 [50].

Poté vypočítaný obsah 73,41 m² (viz vzorec 10) vydělím potřebnou plochou pro monokrystalické panely 2,05 m² a tím získám potřebný počet panelů (viz vzorec 12), který zaokrouhlím směrem nahoru. Výkonová kapacita solární elektrárny s 36 panely bude přibližně 14,58 kWp, poté co předpokládám, že každý panel bude mít výkon 405 Wp.

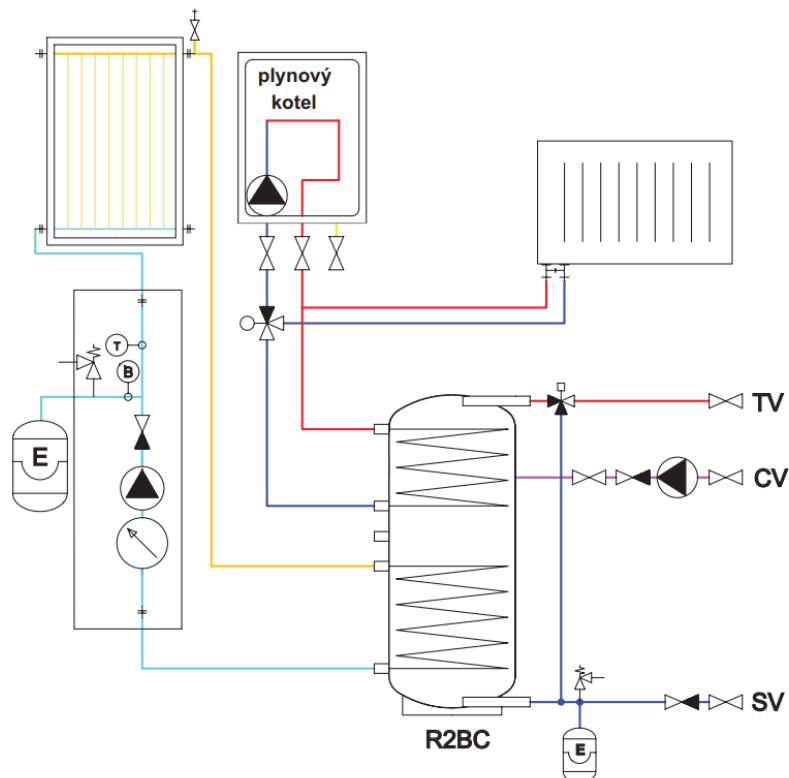
$$C = \frac{P_k}{S} = \frac{73,41}{2,05} = 35,86 \approx 36 \quad (12)$$

Kde C je potřebný počet panelů, P_k plocha panelů při účinnosti 19 % a S je plocha jednoho panelu.

Pro polykrystalický systém jsem zvolil panel Victron Energy 45 Wp. Panel byl vybrán s ohledem na jeho účinnost, poměr ceny a výkonu a další vlastnosti, které přispívají k jeho spolehlivosti a výkonu. Účinnost panelu dosahující 16 % odpovídá předpokladům uvedeným výše. Jeho cena ve výši 1257 Kč za kus ho řadí mezi produkty s atraktivní cenou a solidním výkonem. Mezi další výhody patří robustní rám z anodizovaného hliníku, který poskytuje odolnost vůči povětrnostním vlivům a zajišťuje dlouhou životnost panelu. Dále je výhodou nízký součinitel závislosti napětí na teplotě, což zvyšuje účinnost provozu panelu i při vysokých teplotách. Celková cena za 308 kusů dosahuje 387 156 Kč, přičemž cena jednoho panelu činí 1257 Kč. Rozměry panelu jsou 668×425×25 mm, což odpovídá ploše 0,284 m² [52; 50]. Poté vypočítaný obsah 87,18 m² (viz vzorec 11) vydělíme potřebnou plochou pro monokrystalické panely 0,884 m² a tím získám potřebný počet panelů (viz stejný princip jako u vzorce 12), který zaokrouhlím směrem nahoru. Výkonová kapacita solární elektrárny s 308 panely bude přibližně 13,86 kWp, předpokládajíc, že každý panel bude mít výkon 45 Wp.

3.1.2 Zásobník tepla

Zásobníkový ohříváč teplé vody pro domácnost R2BC (dále jen zásobník), je vybaven dvěma smaltovanými hady, což zaručuje dlouhou životnost. Zásobníky jsou dodávány s tvrzenou snímatelnou polyuretanovou izolací tloušťky 100 mm s bílým koženkovým povrchem.



Obrázek 3.2 Schéma zapojení s plynovým kotlem a solárním systémem [53].

Pro dohřev teplé vody je možné do zásobníku instalovat elektrické topné těleso, které se instaluje do bočního návarku. Tato instalace umožňuje ohřev vody pomocí elektrické energie

získané z fotovoltaických článků. Teplotu teplé vody v zásobníku je doporučeno udržovat v teplotním rozmezí 60 až 65 °C, což beru v úvahu při výpočtech. Tato teplota zaručuje optimální provoz zásobníků a současně zajišťuje ochranu proti tvorbě bakterie Legionelly. Při připojení k solárnímu systému se přívod ohřátého média ze solárního systému připojí k hornímu nátrubku topného hada, zatímco spodní vývod se připojí k vratnému potrubí do solárního systému. Všechny připojovací rozvody mezi zásobníkem a solárním systémem pečlivě zaizolujeme. Tato konfigurace platí jak pro monokrystalické, tak pro polykrystalické systémy. [53]

3.1.3 Střídač

Třífázový měnič GoodWe 15KN-DT(G2) je vybaven pasivním chlazením a má nízkou vlastní spotřebu energie. Měnič disponuje automatickým systémem, který kontroluje proud tak, aby nedocházelo k nechtěným přetokům do sítě distributora. Také umožňuje bezplatně monitorovat systém odkudkoliv na světě. Měnič je vysoce kompatibilní s většinou fotovoltaických technologií a lze ho snadno kombinovat s regulátorem Watrouter. [54]

3.1.4 Watrouter

WATrouter ECO je programovatelný regulátor pro optimalizaci vlastní spotřeby pro objekty s instalovanou fotovoltaickou elektrárnou. Skládá se z měřicího modulu a vlastního regulátoru. Díky bezkontaktním spínacím prvkům SSR, kde přenos signálu ze vstupu na výstup je zprostředkován pouze optickou vazbou, se eliminují potíže s hlukem ventilátoru a prašností. [55]

3.1.5 Ostatní komponenty

Dalšími komponenty zahrnutými v solárním systému jsou nosná konstrukce, rozvaděče a elektromateriál. Rozvaděč je centrálním bodem elektroinstalace, do kterého jsou integrovány prvky jako jističe a jističové automaty. Elektromateriál zahrnuje širokou škálu součástí, jako jsou kabely, pojistky, pojistkové skříně a spínače. Kromě toho jsou součástí systému i další služby a prvky, jako je montáž, projektová dokumentace, doprava osob a materiálu či instalace plošiny. [56]

Tabulka 3.1 Přehled cen komponentů pro monokrystalický FV systém.

Druh komponentu	Název komponentu	Cena za 1 kus [Kč]	Počet kusů	Cena [Kč]
Kolektor	Jinko 405 Wp IP67	2790	36	146367
Střídač	GoodWe 15KN-DT(G2) (3f, 2 MPP)	69401	1	64404
Zásobník	R2BC	163508	1	163508
Watrouter	WATROUTER ECO	12967	1	12967
Nosná konstrukce	-	-	-	69384
Elektromateriál včetně přepěťových ochran	-	-	-	81235
Montáž	-	-	-	60054
Projektová dokumentace	-	-	-	13440
Ostatní (dovoz materiálu, osob atd.)	-	-	-	10192
				621551

Tabulka 3.2 Přehled cen komponentů pro polykrystalický FV systém.

Druh komponentu	Název komponentu	Cena za 1 kus [Kč]	Počet kusů	Cena [Kč]
Kolektor	Victron Energy 45Wp	1257	308	387156
Střídač	GoodWe 15KN-DT(G2) (3f, 2 MPP)	69401	1	64404
Zásobník	R2BC	163508	1	163508
Watrouter	WATTRouter ECO	12967	1	12967
Nosná konstrukce	-	-	-	83124
Elektromateriál včetně přepětových ochran	-	-	-	88235
Montáž	-	-	-	66774
Projektová dokumentace	-	-	-	13440
Ostatní (dovoz materiálu, osob atd.)	-	-	-	10192
				889800

3.2 Vybrané komponenty pro fototermický systém

Při volbě komponentů jsem požádal několik firem, aby mi připravily nezávazné nabídky na solární fototermický systém. Srovnával jsem tyto nabídky s ohledem na ceny, recenze, kvalitu a dostupnost, abych pečlivě vybral komponenty, které považuji za jedny z nejlepších voleb na trhu. Ceny jednotlivých komponentů jsou odvozeny z reálných nabídek, což zahrnuje i mírné navýšení od firem za jejich zprostředkování a kompletaci. Tyto komponenty jsem vybral s ohledem na optimální funkčnost a kompatibilitu systému.

3.2.1 Fototermické panely

Vana kolektoru KPS1 je vyrobena z hliníkového plechu, což zajišťuje lehkost a odolnost. Použité bezpečnostní sklo má tloušťku 3,0 mm a izolace je tvořena minerální vlnou o síle 60 mm, která zajišťuje minimální tepelné ztráty. Cena jednoho kolektoru na českém trhu je 26243 Kč, takže celková cena za 10 kusů činí 262 430 Kč. Rozměry těchto panelů jsou 2099x1099x110 mm, ale vzhledem k rámcům je účinná plocha absorberu 2,00 m², zatímco celková plocha je 2,31 m² [57]. Poté vypočítaný obsah 18,60 m² (viz vzorec 7) vydělím potřebnou plochou pro monokrystalické panely 2,00 m² a tím získám potřebný počet panelů, tedy 10, který zaokrouhlím směrem nahoru (viz stejný princip jako u vzorce 12).

3.2.2 Teplonosná kapalina

Teplonosná kapalina slouží k přenosu tepla z kolektoru do zásobníku TUV. Jedná se o nejedovatou a ekologicky šetrnou kapalinu na bázi propylenglykolu, která se vyznačuje mrazuvzdorností a vysokým bodem varu. Rovněž má antikorozi vlastnosti, které zajišťují dlouhou životnost systému. Tato kapalina mění své skupenství v závislosti na teplotě kolektoru. Pod teplotou -30 °C se mění na ledovou kaši, což zabraňuje roztržení sběrače absorberu tlakem

zmrzlé kapaliny. Pro zvolený vysokovýkonný solární kolektor je ideální teplotná kapalina Wolf ANRO 30 kg. [58]

3.2.3 Zásobník

Zvolím stejný zásobník jako v kapitole 3.1.2, přičemž elektricky topné těleso zde není potřeba.

3.2.4 Oběhové čerpadlo

Čerpadlové skupiny zajišťují přenos tepla z kolektorů do zásobníku. Kromě oběhového čerpadla obsahují i další nezbytné komponenty solárního okruhu, jako jsou pojistný ventil, průtokoměr, zpětná klapka, plnicí armatury a další. Tyto čerpadlové skupiny jsou plně smontované, otestované a uzavřené ve dvoudílném termoizolačním obalu. Mají pevnou zadní desku, která umožňuje rychlou montáž jak na stěnu, tak na solární zásobník. Do čerpadlové skupiny se také zapojuje solární expanzní nádoba. Solární čerpadlová skupina 10 od prodejce Wolf umožňuje napojení až 10 solárních kolektorů s průtokem $50 \frac{l}{h}$ přes 1 kolektor. [59][60]

3.2.5 Expanzní nádoba

Expanzní nádoby slouží k vyrovnávání změn objemu vody způsobených změnou teploty a udržují přetlak v soustavě v předepsaném rozmezí. Tyto nádoby jsou vyrobeny z vysoce kvalitní oceli a mají antikorozi povrchovou úpravu, která zajišťuje jejich dlouhou životnost. Uvnitř nádoby je umístěna nepropustná, velmi elastická membrána, která je odolná vůči vysokým teplotám. Tato membrána efektivně vyrovnává objemové změny vody, čímž zajišťuje stabilní provoz celého systému. [60] [61]

3.2.6 Solární regulátor

Efektivitu a účinnost přenosu tepelné energie zajišťuje solární regulátor. Tento regulátor monitoruje a informuje o správném chodu solárního systému, teplotách na kolektorech a v zásobníku. Když solární regulátor zaznamená dosažení nastavených teplotních diferencí mezi kolektory a zásobníkem, vyšle signál čerpadlu, které následně zajistí přenos ohřáté kapaliny z kolektorů do ohříváče vody. Tímto způsobem solární regulátor optimalizuje provoz systému a přispívá k jeho maximální účinnosti. [60]

3.2.7 Ostatní

Dalšími komponenty zahrnutými v solárním systému jsou konstrukce, do které patří háky na střešní krytinu, ližiny pro uchycení solárních kolektorů a drobný spojovací materiál. Drobným spojovacím materiálem se rozumí úchyty kolektorů k ližinám, které mohou být vyrobeny z oceli, hliníku, nerezů a podobně, dle typu provedení. Všechny konstrukce určené pro solární kolektory by měly být řádně zafixovány proti možnosti pohybu a zaizolovány proti nežádoucím vlivům, jako je zatékání pod střešní plášť. Rozvaděče a elektromateriál budou potřeba v menší míře než u fotovoltaických systémů. Přestože je počet panelů nižší než u fotovoltaických systémů, montáž je náročnější z důvodů realizace propojení a nutnost instalovat potrubí z mědi či oceli pro přenos energie. Rovněž je třeba započítat kompenzátory, odvodušnění či dovoz materiálu a osob. [60] [62]

Tabulka 3.3 Přehled cen komponentů pro fototerický systém.

Druh komponentu	Název komponentu	Cena za 1 kus [Kč]	Počet kusů	Cena [Kč]
Kolektor	KPS1	25990	10	259900
Solární kapalina	Wolf ANRO 30 Kg	10543	1	10543
Zásobník	R2BC	163508	1	163508
Oběhové čerpadlo	Wolf – čerpadlová skupina 10	20328	1	21860
Expanzní nádoba	Wolf 105 1	12600	1	30030
Solární regulátor	Wolf SM2-2	19239	1	19239
Montáž	-	-	-	85732
Nosná konstrukce	-	-	-	62310
Příprava teplé vody včetně regulace	-	-	-	28422
Připojení zásobníku na přívod studené vody	-	-	-	19332
Projektová dokumentace	-	-	-	14173
Ostatní (dovoz materiálu, osob atd.)	-	-	-	28166
				743215

3.3 Dotace

Výše dotací byla stanovena externími zdroji pro systémy, které jsou podrobně popsány v předchozích kapitolách. Tyto dotace využívají program Nová zelená úspora, která slouží k zvýšení energetické soběstačnosti. U fototerického systému tato dotace činí 119 000 Kč a u fotovoltaického systému 257 424 Kč.

3.4 Analýza ekonomické návratnosti navržených systémů

3.4.1 Obecný postup

Pro výpočet návratnosti jsem postupoval následovně. Nejprve jsem zjistil průměrnou cenu elektřiny v naší bytové jednotce za jednu kilowatthodinu za minulý rok, která činila přibližně 5,55 Kč. Z počtů potřebných panelů pro každý měsíc, které jsou uvedeny v kapitolách 3.1.1 a 3.2.1 jsem odečetl počet panelů, které jsem již navrhnul (tedy u fototerického systému 10 panelů, u FV monokrystalického systému 36 a u FV polykrystalického systému 308). Následně jsem si vypočítal procentuální nedostatek energie (viz vzorec 13) za pomoci trojčlenky, abych zjistil, kolik procent potřebné energie nejsem schopen pokrýt (pro ukázání výpočtů jsem si vybral měsíc leden u fototerického systému):

$$E = \frac{D \cdot 100}{C} = \frac{19,30 \cdot 100}{29,30} = 65,87 \% \quad (13)$$

Kde C je potřebný počet panelů, D je počet potřebných panelů po odečtení 10 kolektorů a E [%] je procentuální nedostatek energie. Poté jsem opět pomocí trojčlenky, podle vzorce 14, dopočítal, kolik kilowatthodin je třeba dodat z jiného zdroje (v našem případě kondenzační plynový kotel):

$$F = \frac{Q_s \cdot E}{100} = \frac{60,23 \cdot 65,87}{100} = 39,69 \text{ kWh.} \quad (14)$$

Kde Q_s je vypočítaná spotřeba tepla (viz vzorec 5), E je procentuální nedostatek energie a F je potřebné množství dodané z jiného zdroje. Potřebné kilowatthodiny jsem poté vynásobil zvolenou cenou za jednu kilowatthodinu a danými dny v měsíci, tj. $39,69 \cdot 5,55 \cdot 31 = 6824,37$ Kč. Částky za jednotlivé měsíce jsem sečetl, čímž jsem získal roční částku potřebnou k zaplacení za to, co systém nedokáže pokrýt. Tuto částku jsem následně odečetl od roční částky, kterou bych platil, kdybych neměl žádný systém, čímž jsem získal částku, kterou ušetřím každý rok. Výpočet částky, kterou bych zaplatil bez solárního systému, bude proveden násobením ceny za kWh, denní spotřebou kWh a počtem dnů v měsíci, tedy $5,55 \cdot 60,23 \cdot 31 = 10360,2$ Kč. Nakonec jsem vypočetl návratnost systému, jak s dotací, tak bez dotace. Začal jsem cenou systému, od které jsem odečetl ušetřenou částku za rok. Poté jsem vzal cenu systému s ušetřenou částkou za rok a znovu odečetl ušetřenou částku za rok. Tento postup jsem opakoval, dokud jsem nedostal kladnou hodnotu, což značí, že se mi investice do systému navrátila. Výsledky pro jednotlivé systémy jsou uvedeny v následujících kapitolách.

3.4.2 FV systém

Pro monokrystalický systém vypadají výsledky a grafy následovně:

Tabulka 3.4 Výpočet roční ušetřené částky pro monokrystalický FV systém.

Měsíc	C [kus]	D [kus]	E [%]	F [kWh]	G [Kč]	H [Kč]
Leden	112,99	76,99	68,14	41,06	7059,36	10360,22
Únor	69,51	33,51	48,21	29,05	4511,20	9357,62
Březen	43,90	7,90	17,99	10,84	1863,41	10360,22
Duben	30,08	0	0	0	0	10026,02
Květen	29,96	0	0	0	0	10360,22
Červen	28,86	0	0	0	0	10026,02
Červenec	27,98	0	0	0	0	10360,22
Srpen	29,52	0	0	0	0	10360,22
Září	35,86	0	0	0	0	10026,02
Říjen	49,81	13,81	27,73	16,71	2873,11	10360,22
Listopad	83,28	47,28	56,77	34,21	5692,19	10026,02
Prosinec	102,17	66,17	64,77	39,02	6709,86	10360,22
Cena celkem:					28709,13	121983,3
Ušetřená částka (H – G):					93274,15	

Kde: C [kus] – Počet potřebných panelů.

D [kus] – Počet potřebných panelů po odečtení 36 kusů.

E [%] – Procento energie, které nejsem schopný pokrýt.

F [kWh] – Množství energie, které je nutné dodat z jiného zdroje.

G [Kč] – Náklady na energii, kterou systém nepokryje.

H [Kč] – Náklady na energii, které bych platil bez systému.

Tabulka 3.5 Určení doby návratnosti pro FV monokrystalický systém bez dotace.

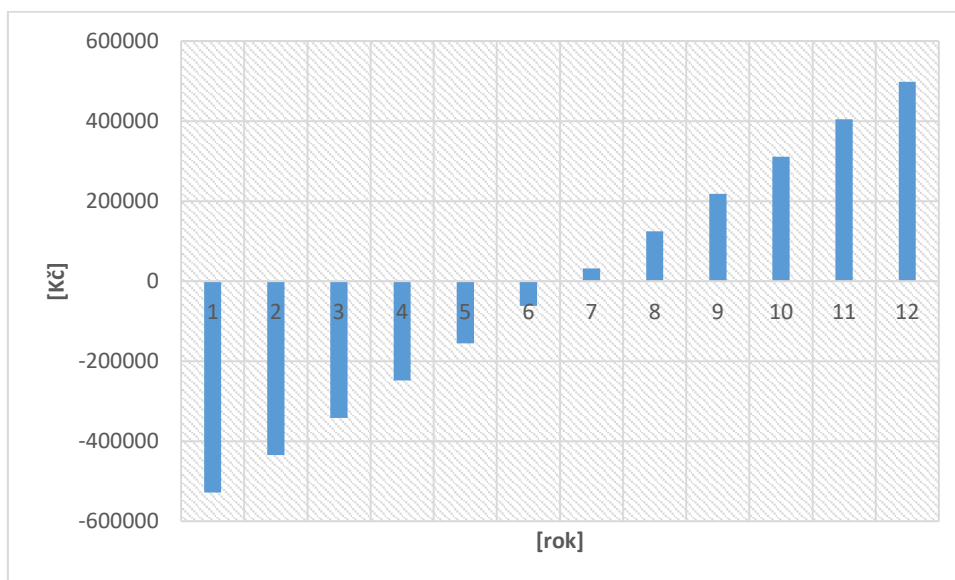
Rok	Zisk za rok [Kč]	Cena systému [Kč]
0	-	-621551,00
1	93274,15	-528276,85
2	93274,15	-435002,71
3	93274,15	-341728,56
4	93274,15	-248454,42
5	93274,15	-155180,27
6	93274,15	-61906,13
7	93274,15	31368,02
8	93274,15	124642,16
9	93274,15	217916,31
10	93274,15	311190,45
11	93274,15	404464,60
12	93274,15	497738,75

Pomocí aritmetické posloupnosti jsem vypočítal přesnou dobu návratnosti, kde obecný vzorec vypadá $a_n = a_1 \cdot (n - 1) \cdot d$, kde a_n představuje hledanou výši částky (částka při které dojde k úplné návratnosti investice), a_1 označuje cenu systému v prvním roce, n hledanou neznámou (tedy přesný rok návratnosti) a d značí zisk za jeden rok. Tedy:

$$a_n = a_1 \cdot (n - 1) \cdot d \quad (15)$$

$$0 = 528276,85 + (n - 1) \cdot (-93274,15)$$

$$n = 6,66 \text{ let.}$$

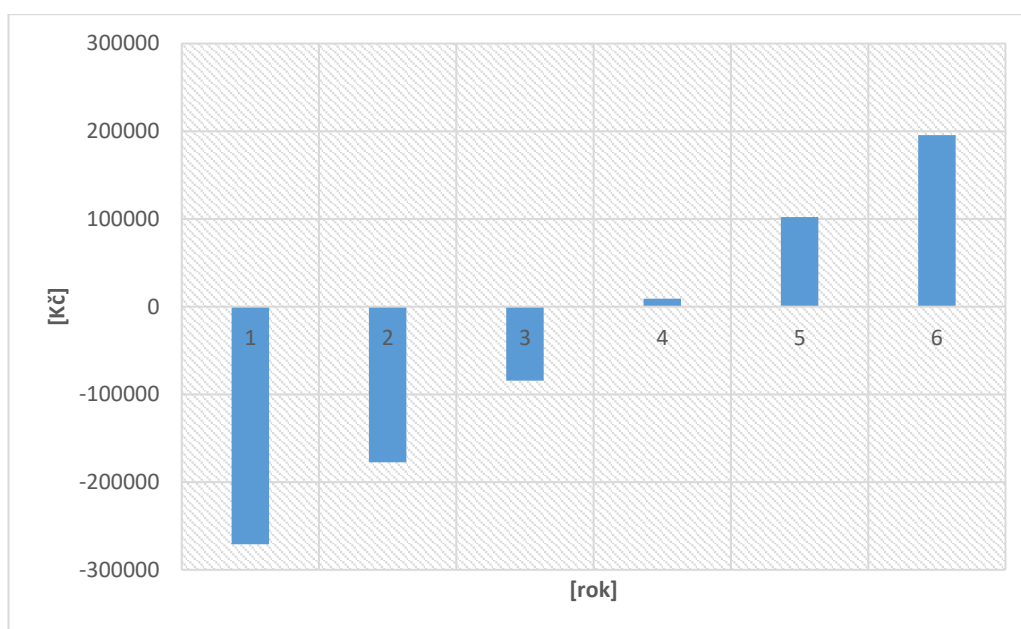


Obrázek 3.3 Graf návratnosti investice do FV monokrystalického systému bez dotace.

Tabulka 3.6 Určení doby návratnosti pro FV monokrystalický systém s dotací.

Rok	Zisk za rok [Kč]	Cena systému [Kč]
0	-	-364187,00
1	93274,15	-270852,85
2	93274,15	-177578,71
3	93274,15	-84304,56
4	93274,15	8969,58
5	93274,15	102243,73
6	93274,15	195517,87

Úplně stejným způsobem jako v předchozím případě (viz vzorec 15) jsem pomocí aritmetické posloupnosti vypočítal přesnou dobu návratnosti, která vychází na 3,90 let.



Obrázek 3.4 Graf návratnosti investice do FV monokrystalického systému s dotací.

Pro polykrystalický systém vypadají výsledky a grafy následovně:

Tabulka 3.7 Výpočet roční ušetřené částky pro polykrystalický FV systém.

Měsíc	C [kus]	D [kus]	E [%]	F [kWh]	G [Kč]	H [Kč]
Leden	967,57	659,57	68,17	41,07	7062,33	10360,22
Únor	595,23	287,23	48,26	29,08	4515,55	9357,62
Březen	400,94	92,94	23,18	13,97	2401,63	10360,22
Duben	257,58	0	0	0	0	10026,02
Květen	256,53	0	0	0	0	10360,22
Červen	247,18	0	0	0	0	10026,02
Červenec	239,64	0	0	0	0	10360,22
Srpen	252,75	0	0	0	0	10360,22
Září	307,06	0	0	0	0	10026,02
Říjen	426,58	118,58	27,80	16,75	2879,85	10360,22
Listopad	713,18	405,18	56,81	34,23	5696,08	10026,02
Prosinec	874,93	566,93	64,80	39,04	6713,14	10360,22
Cena celkem:					29268,59	121983,3
Ušetřená částka (H – G):					92714,68	

Kde: C [kus] – Počet potřebných panelů.

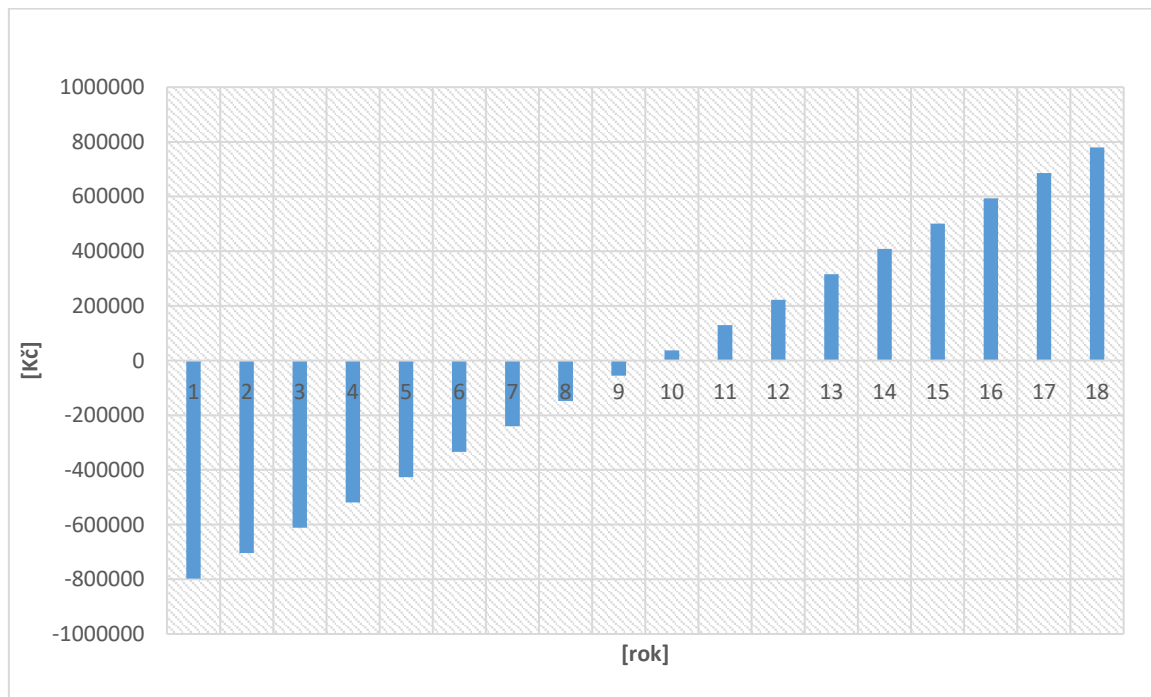
D [kus] – Počet potřebných panelů po odečtení 308 kusů.

E [%] – Procento energie, které nejsem schopný pokrýt.

F [kWh] – Množství energie, které je nutné dodat z jiného zdroje.

G [Kč] – Náklady na energii, kterou systém nepokryje.

H [Kč] – Náklady na energii, které bych platil bez systému.



Obrázek 3.5 Graf návratnosti investice do FV polykrystalického systému bez dotace.

Tabulka 3.8 Určení doby návratnosti pro FV polykrystalický systém bez dotace.

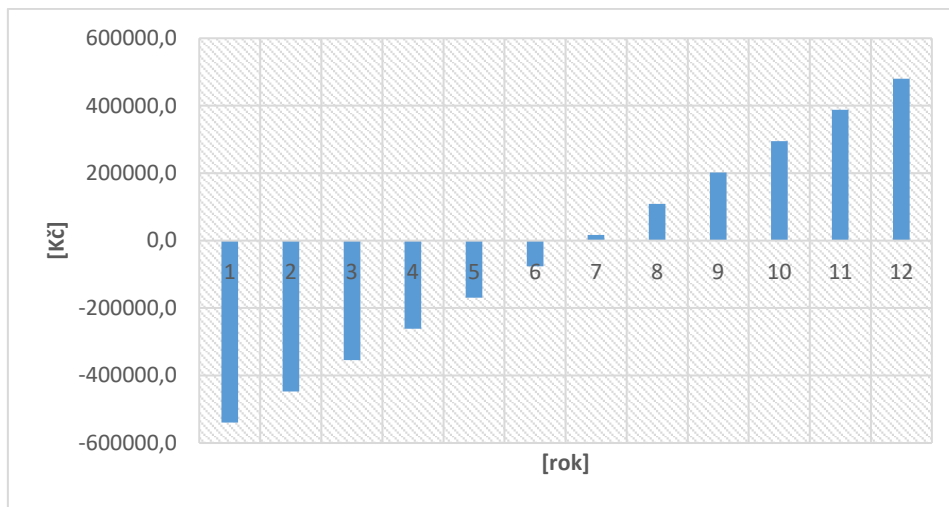
Rok	Zisk za rok [Kč]	Cena systému [Kč]
0	-	-889800,00
1	92714,68	-797085,32
2	92714,68	-704370,64
3	92714,68	-611655,97
4	92714,68	-518941,29
5	92714,68	-426226,61
6	92714,68	-333511,93
7	92714,68	-240797,25
8	92714,68	-148082,58
9	92714,68	-55367,90
10	92714,68	37346,78
11	92714,68	130061,46
12	92714,68	222776,14
13	92714,68	315490,81
14	92714,68	408205,49
15	92714,68	500920,17
16	92714,68	593634,85
17	92714,68	686349,53
18	92714,68	779064,20

Úplně stejným způsobem jako v předchozím případě (viz vzorec 15) jsem pomocí aritmetické posloupnosti vypočítal přesnou dobu návratnosti, která vychází na 9,60 let.

Tabulka 3.9 Určení doby návratnosti pro FV polykrystalický systém s dotací.

Rok	Zisk za rok [Kč]	Cena systému [Kč]
0	-	-632376,00
1	92714,68	-539661,32
2	92714,68	-446946,64
3	92714,68	-354231,97
4	92714,68	-261517,29
5	92714,68	-168802,61
6	92714,68	-76087,93
7	92714,68	16626,75
8	92714,68	109341,42
9	92714,68	202056,10
10	92714,68	294770,78
11	92714,68	387485,46
12	92714,68	480200,14

Úplně stejným způsobem jako v předchozím případě (viz vzorec 15) jsem pomocí aritmetické posloupnosti vypočítal přesnou dobu návratnosti, která vychází na 6,82 let.



Obrázek 3.6 Graf návratnosti investice do FV polykrystalického systému s dotací.

3.4.3 Fototerický systém

Pro fototerický systém vypadají výsledky a grafy následovně:

Tabulka 3.10 Výpočet roční ušetřené částky pro fototerický systém.

Měsíc	C [kus]	D [kus]	E [%]	F [kWh]	G [Kč]	H [Kč]
Leden	29,30	19,30	65,87	39,69	6824,37	10360,22
Únor	18,03	8,03	44,52	26,83	4166,15	9357,62
Březen	11,38	1,38	12,15	7,32	1258,74	10360,22
Duben	7,80	0	0	0	0	10026,02
Květen	7,77	0	0	0	0	10360,22
Červen	7,49	0	0	0	0	10026,02
Červenec	7,26	0	0	0	0	10360,22
Srpen	7,65	0	0	0	0	10360,22
Září	9,30	0	0	0	0	10026,02
Říjen	12,92	2,92	22,59	13,61	2340,23	10360,22
Listopad	21,60	11,60	53,70	32,36	5383,70	10026,02
Prosinec	26,50	16,50	62,26	37,51	6450,04	10360,22
Cena celkem:					26423,23	121983,3
Ušetřená částka (H – G):					95560,04	

Kde: C [kus] – Počet potřebných kolektorů.

D [kus] – Počet potřebných kolektorů po odečtení 10 kusů.

E [%] – Procento energie, které nejsem schopný pokrýt.

F [kWh] – Množství energie, které je nutné dodat z jiného zdroje.

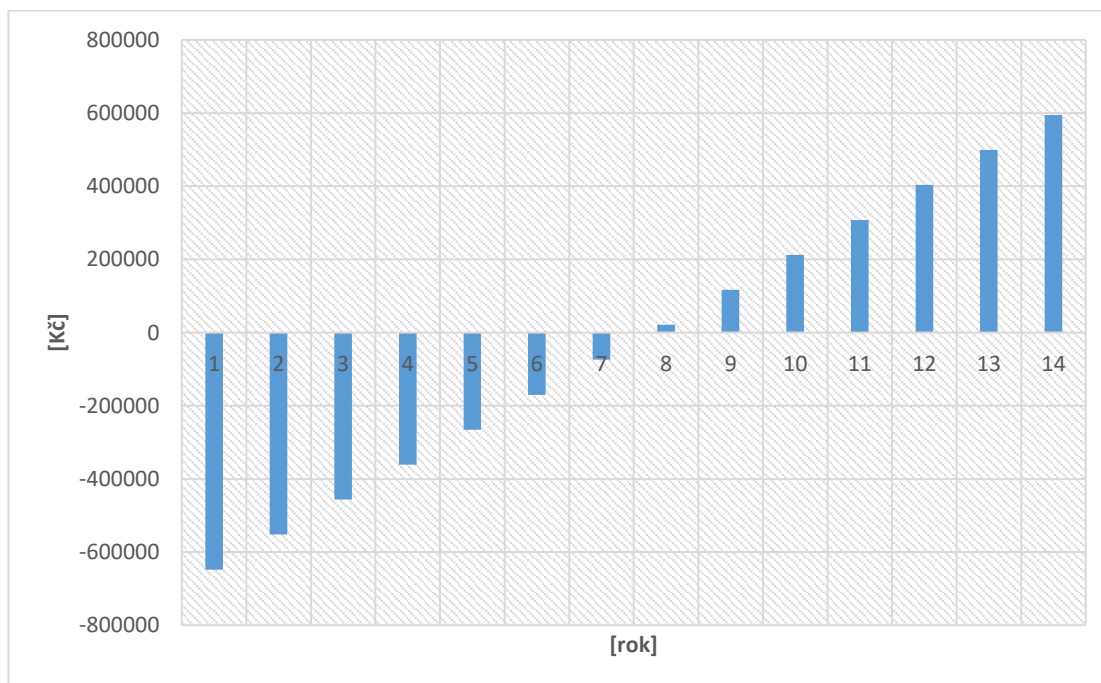
G [Kč] – Náklady na energii, kterou systém nepokryje.

H [Kč] – Náklady na energii, které bych platil bez systému.

Tabulka 3.11 Určení doby návratnosti pro fototerický systém bez dotace.

Rok	Zisk za rok [Kč]	Cena systému [Kč]
0	-	-743215,00
1	95560,04	-647654,96
2	95560,04	-552094,93
3	95560,04	-456534,89
4	95560,04	-360974,85
5	95560,04	-265414,82
6	95560,04	-169854,78
7	95560,04	-74294,74
8	95560,04	21265,29
9	95560,04	116825,33
10	95560,04	212385,37
11	95560,04	307945,40
12	95560,04	403505,44
13	95560,04	499065,47
14	95560,04	594625,51

Úplně stejným způsobem jako v předchozím případě (viz vzorec 15) jsem pomocí aritmetické posloupnosti vypočítal přesnou dobu návratnosti, která vychází na 7,78 let.

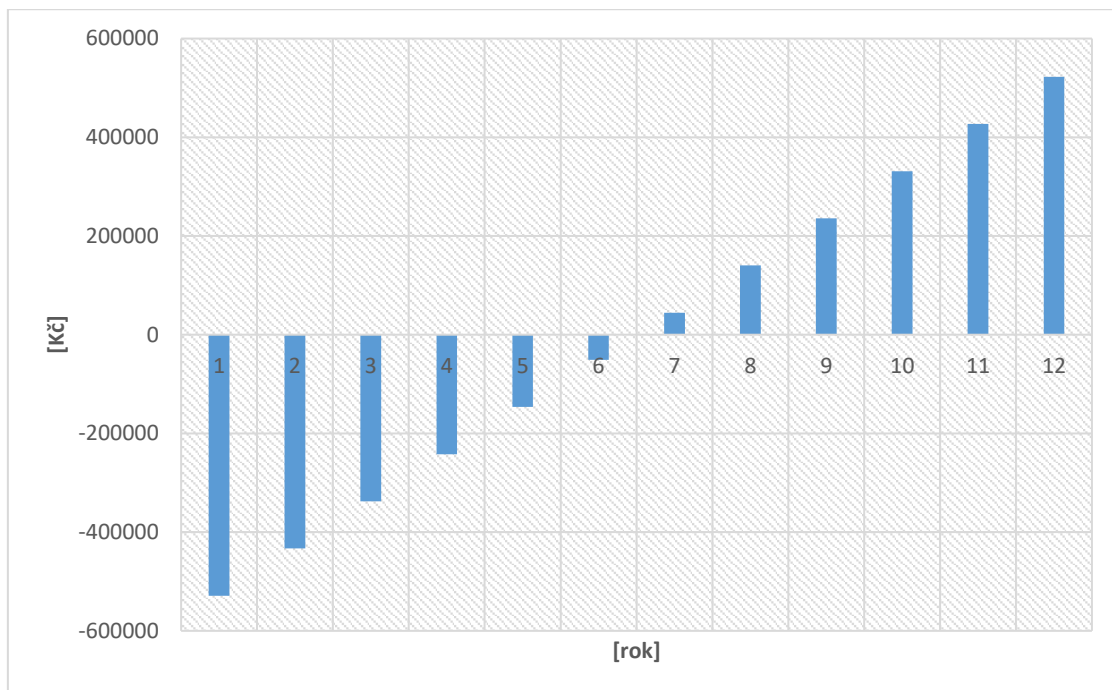


Obrázek 3.7 Graf návratnosti investice do fototerického systému bez dotace.

Tabulka 3.12 Určení doby návratnosti pro fototerický systém s dotací.

Rok	Zisk za rok [Kč]	Cena systému [Kč]
0	-	-624215,00
1	95560,04	-528654,96
2	95560,04	-433094,93
3	95560,04	-337534,89
4	95560,04	-241974,85
5	95560,04	-146414,82
6	95560,04	-50854,78
7	95560,04	44705,26
8	95560,04	140265,29
9	95560,04	235825,33
10	95560,04	331385,37
11	95560,04	426945,40
12	95560,04	522505,44

Úplně stejným způsobem jako v předchozím případě (viz vzorec 15) jsem pomocí aritmetické posloupnosti vypočítal přesnou dobu návratnosti, která vychází na 6,53 let.



Obrázek 3.8 Graf návratnosti investice do fototerického systému s dotací.

3.5 Porovnání jednotlivých variant

V tabulce 3.13 jsem shrnul náklady a návratnost jednotlivých systémů, a to jak bez dotace, tak s dotací. Nejvýhodnější variantou z hlediska návratnosti je FV systém s monokrystalickými panely a dotací, jehož návratnost činí 3,90 let. Tato varianta také vyžaduje nejnižší počáteční investici. Hned za první příčkou se umístil fototermický systém s dotací, a to s návratností 6,53 let. Avšak tato varianta vyžaduje podstatně vyšší počáteční investici.

Poté, co jsem zohlednil všechny faktory, včetně finančních nákladů a provozní náročnosti, se jako nejvhodnější řešení jeví FV systém s monokrystalickými panely a dotací. Tato volba není jen ekonomicky nejvýhodnější, ale také méně náročná na údržbu, což z ní činí optimální variantu pro dlouhodobé využití.

Tabulka 3.13 Přehled cen a doby návratnosti systémů.

Systém	Fototermický		Fotovoltaický			
	-		Monokrystal		Polykrystal	
Druh systému	-		-		-	
Dotace	Ne	Ano	Ne	Ano	Ne	Ano
Cena [Kč]	743215	624215	621551	364127	889800	632376
Návratnost [let]	7,78	6,53	6,66	3,90	9,60	6,82

ZÁVĚR

V úvodní kapitole mé bakalářské práce jsem se zaměřil na popis slunečního záření, počínaje jeho vznikem až po jeho dopad na zemský povrch. Dále jsem analyzoval dopad slunečního záření na území České republiky a faktory ovlivňující jeho intenzitu. Poté jsem se věnoval teoretickým popisům fotovoltaiky a fototeriky. I když tyto teoretické základy nejsou nezbytné pro samotný návrh solárního systému, poskytují důležité informace při rozhodování, zda daný systém implementovat, a nabízejí přehled o jejich fungování. Dále jsem podrobně popsal principy fungování obou technologií, jejich historii a u fotovoltaiky i jednotlivé generace panelů. Rovněž jsem rozebral možnosti ohřevu teplé užitkové vody (TUV), včetně typů ohřivačů a solárních systémů pro ohřev vody. Na závěr kapitoly jsem porovnal oba systémy a uvedl výhody a nevýhody každého z nich.

Ve druhé kapitole jsem se zabýval analýzou konkrétní lokality, rozlohou střechy a dalšími potřebnými parametry pro určení intenzity slunečního záření a potřebné plochy pro jednotlivé panely. Hodnoty elektrické energie a slunečního záření jsem získal pomocí programu PVGIS. Pro ohřev TUV jsem zvolil 1500 litrový zásobník, který by měl vystačit pro přibližně 19 osob na 2 dny používání. Ohřev vody jsem navrhl z 30 °C na 65 °C, přičemž výsledná spotřeba energie činila 60,23 kWh. Potřebná plocha kolektorů pro pokrytí této spotřeby od dubna do září byla u fototerických kolektorů 18,60 m² (při účinnosti 75 %), u FV monokrystalických panelů 73,41 m² (při účinnosti 19 %) a u FV polykrystalických panelů 87,18 m² (při účinnosti 16 %).

Ve třetí kapitole jsem vypočítal počet potřebných kolektorů pro každý systém. U fototerických systémů to bylo 10 kolektorů, u FV systémů s monokrystalickými panely 36 kolektorů (výkon solární elektrárny činí 14,58 kWp) a u FV systémů s polykrystalickými panely 308 kolektorů (výkon solární elektrárny činí 13,86 kWp). Dále jsem popsal jednotlivé komponenty nezbytné pro realizaci celého systému. Typy komponentů a cenové nabídky jsem získal od externích dodavatelů, které jsem porovnal a vybral nejvhodnější součástky z hlediska ceny, kvality a výše dotace. Celkové ceny systémů bez dotace činily: u fototerických systémů 743 215 Kč, u FV systémů s monokrystalickými panely 621 551 Kč a u FV systémů s polykrystalickými panely 889 800 Kč. Dotace na jednotlivé systémy činily: u fototerických systémů 119000 Kč a u FV systémů 257424 Kč. Výpočtem doby návratnosti jsem zjistil, že u fototerických systémů bez dotace činí 7,78 let, s dotací 6,53 let. U FV systémů s monokrystalickými panely bez dotace 6,66 let a s dotací 3,90 let. U FV systémů s polykrystalickými panely je návratnost bez dotace 9,60 let a s dotací 6,82 let. Z těchto výsledků vyplývá, že nejvýhodnější variantou je FV systém s monokrystalickými panely a dotací.

FV systémy se rychle rozvíjejí a zlepšují, přičemž jsou na ně poskytovány vysoké dotace. Jelikož se jedná o obnovitelný zdroj energie, mohou tyto systémy přispět ke snížení negativních dopadů lidské činnosti na životní prostředí a k jeho ochraně. Přestože obnovitelné zdroje energie zatím nemohou plně nahradit tradiční zdroje, současná doba vyžaduje diverzifikaci energetických zdrojů. Spotřeba energie neustále roste, a proto je nezbytné hledat stabilní zdroje energie, které nejsou tolik závislé na proměnlivých faktorech, jako jsou počasí a čas dodávky.

Celkově tedy tato práce ukazuje, že pro danou lokalitu a konkrétní podmínky je nejvhodnější volbou FV systém s monokrystalickými panely a dotací. Tento systém nabízí nejen nejrychlejší návratnost investic, ale je také méně náročný na údržbu než fototerický systém.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] MURTINGER, Karel a Jan TRUXA. *Solární energie pro váš dům*. Brno: ERA, 2005. 21. století. ISBN 80-7366-029-6.
- [2] *Světlo: časopis pro světelnou techniku a osvětlování*. Praha: FCC Public, 2011. ISSN 1212-0812.
- [3] Slunce. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 22.1.2024 [cit. 2024-02-18]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Slunce>
- [4] *Teorie fotovoltaiky* [online]. c2009 [cit. 2024-02-18]. Dostupné z: <http://www.isofenenergy.cz/fotovoltaika.aspx>
- [5] *Závislost přímého a globálního záření na ročním období* [online]. In: . [cit. 2024-02-18]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/91/06.html>
- [6] KRAMER, Matthias, Maria URBANIEC a Ilona OBRŠÁLOVÁ. *Mezinárodní management životního prostředí*. Praha: C.H. Beck, 2005. Ekonomie (C.H. Beck). ISBN 80-7179-919-x.
- [7] *Mapa slunečního svitu ČR* [online]. In: . c2013 [cit. 2024-02-18]. Dostupné z: http://mojeelektrarna.cz/energie-ze-slunce.html#prettyPhoto_PhotoGallery1%5BPhotoGallery1%5D/4/
- [8] MATUŠKA, Tomáš. *Solární tepelné soustavy* [online]. 2012, 2018 [cit. 2024-02-18]. Dostupné z: <https://profesis.ckait.cz/dokumenty-ckait/mp-1-6/mp-1-6-11/#priloha-b>
- [9] MATUŠKA, Tomáš. *Solární zařízení v příkladech*. Praha: Grada, 2013. Stavitel. ISBN 978-80-247-3525-2.
- [10] BECHNÍK, Bronislav. *Stručná historie fotovoltaiky* [online]. 2014, 1. 9. 2014 [cit. 2024-02-17]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11652-strucna-historie-fotovoltaiky>
- [11] *Historie fotovoltaiky* [online]. c2024 [cit. 2024-02-17]. Dostupné z: <https://mobis.cz/fotovoltaicke-elektrarny/historie-fotovoltaiky>
- [12] HASELHUHN, Ralf a Petr MAULE. *Fotovoltaické systémy: energetická příručka : pro elektrikáře, techniky, instalatéry, projektanty, architekty, inženýry, energetiky, manažery, stavitele, studenty, učitele, ostatní odborné a profesní soukromé nebo veřejné instituce a zájemce o fotovoltaický obor a energetickou nezávislost*. Přeložil Anna ROHÁČOVÁ, přeložil Pavel ROHÁČ, přeložil Anna ŽENÍŠKOVÁ, přeložil Eva HOŘEJŠÍ, přeložil Jana KLAMO, přeložil Jitka HICKOVÁ, přeložil Veronika MARTINOVSKÁ, přeložil Tomáš BAROCH. Plzeň: Česká fotovoltaická asociace, 2017. ISBN 978-80-906281-5-1.
- [13] *Princip fotovoltaického jevu* [online]. In: . c2020 [cit. 2024-02-18]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/obnovitelne-zdroje-energie/slunecni-elektrarny-podrobne/fotovoltaicke-clanky-a-panely/fyzikalni-principy#&gid=1&pid=4>
- [14] *Fotovoltaika aneb jak dostat sluneční energii do sítě* [online]. 2021, 27. 8. 2021 [cit. 2024-02-17]. Dostupné z: <https://www.energie.cz/fotovoltaika/>
- [15] HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu*. Ostrava: HEL, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6.

- [16] Konstrukce a výroba fotovoltaických článků a panelů. *ELEKTRO* [online]. 2010, **10**(3), 4 [cit. 2024-02-17]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/40646.pdf>
- [17] KUSALA, Jaroslav. *Solární (fotovoltaické) články* [online]. In: . 2006 [cit. 2024-02-18]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/eede/content/microsites/solarni/k32.htm>
- [18] GUERRERO-LEMUS, R., R. VEGA, Taehyeon KIM, Amy KIMM a L.E. SHEPHARD. Bifacial solar photovoltaics – A technology review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016, **60**, 1533-1549. ISSN 1364-0321. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.041>
- [19] SVARC, Jason. *Solar Panel Construction* [online]. 2020 [cit. 2024-02-18]. Dostupné z: <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/solar-panel-components-construction>
- [20] BECHNÍK, Bronislav. *Historie a perspektivy OZE - fotovoltaika, technologie krystalického křemíku* [online]. 2009, 9. 3. 2009 [cit. 2024-02-18]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/5470-historie-a-perspektivy-oze-fotovoltaika-technologie-krystalickeho-kremiku>
- [21] *Životnost fotovoltaiky roste a návratnost se zrychluje. Dlouhé roky tak vyrábí zadarmo* [online]. 2022 [cit. 2024-02-18]. Dostupné z: <https://www.domysobe.cz/post/zivotnost-fotovoltaiky-roste-a-navratnost-se-zrychluje-dlouhe-roky-tak-vyrabi-zadarmo>
- [22] ARCHER, Mary D. a R. HILL. *Clean electricity from photovoltaics*. London: Imperial College Press, c2001. ISBN 1860941613.
- [23] GREEN, Martin A., Keith EMERY, Yoshihiro HISHIKAWA, Wilhelm WARTA a Ewan D. DUNLOP. Solar cell efficiency tables (Version 45). *Progress in Photovoltaics: Research and Applications* [online]. 2015, **23**(1), 1-9 [cit. 2024-02-18]. ISSN 10627995. Dostupné z: doi:10.1002/pip.2573
- [24] FRIEDRICH, J. *Methods for Bulk Growth of Inorganic Crystals: Crystal Growth: Crystal Growth*. In: . Elsevier, 2016. ISBN 978-0-12-803581-8. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.01010-9>
- [25] Czochralského metoda. *Wikipedie*. c2021. Dostupné také z: https://www.wikiwand.com/cs/Czochralsk%C3%A9ho_metoda#Media/Soubor:Czochralski_Process.svg
- [26] LANE, Catharine. *Types of solar panels: which one is the best choice?* [online]. 2023 [cit. 2024-02-18]. Dostupné z: <https://www.solarreviews.com/blog/pros-and-cons-of-monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels>
- [27] POLMAN, Albert, Mark KNIGHT, Erik C. GARNETT, Bruno EHRLER a Wim C. SINKE. Photovoltaic materials: Present efficiencies and future challenges. *Science* [online]. 2016, 2016-04-15, **352**(6283) [cit. 2024-02-18]. ISSN 0036-8075. Dostupné z: doi:10.1126/science.aad4424
- [28] PETERA, Jiří a Jan HEŘMAN. *FOTOVOLTAIKA* [online]. 2015 [cit. 2024-02-18]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/4831759-Fotovoltaika-mgr-jiri-petera-mgr-jan-herman.html>

- [29] *Organické solární panely trhají rekordy - a konečně jsou odolné proti poškození* [online]. In: . 2019 [cit. 2024-02-18]. Dostupné z: <https://www.obnovitelne.cz/clanek/818/organicke-solarni-panely-trhaji-rekordy-a-konecne-jsou-odolne-proti-poskozeni>
- [30] POLNICKÝ, Jan. *Fotovoltaický systém pro rodinný dům*. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2023.
- [31] BECHNÍK, Bronislav. *Nejpoužívanější pojmy ve fotovoltaice* [online]. 2014 [cit. 2024-02-18]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11772-nejpouzivanejsi-pojmy-ve-fotovoltaice>
- [32] KUSALA, Jaroslav. *Princip solárního kolektoru* [online]. 2006 [cit. 2024-02-18]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k21.htm>
- [33] LADENER, Heinz a Frank SPÄTE. *Solární zařízení*. Praha: Grada, 2003. Stavitel. ISBN 80-247-0362-9.
- [34] THEMESSEL, Armin a Werner WEISS. *Solární systémy: návrhy a stavba svépomocí*. V Gradě 1. vyd. Praha: Grada, 2005. Profi & hobby. ISBN 80-247-0589-3.
- [35] PETERKA, Jaroslav. *Výlet do fototermické historie* [online]. 2018 [cit. 2024-02-18]. Dostupné z: <https://energie21.cz/vylet-do-fototermicke-historie-2/>
- [36] *Přímé využití sluneční energie - systémy využívající fototermální kapalinové kolektory I.* [online]. 2010 [cit. 2024-02-18]. Dostupné z: https://www.pronasdum.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=68:2662010-pime-vyuiti-sluneni-energie-systemy-vyuivajici-fototermalni-kapalinove-kolektory-i
- [37] QUASCHNING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [38] MATUŠKA, Tomáš a Viacheslav SHEMELIN. *Analýza využití solárních vzduchových kolektorů pro vytápění rodinného domu* [online]. In: . c2001-2024 [cit. 2024-02-19]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/teplovzdušne-vytapani/17641-analyza-vyuziti-solarnich-vzduchovych-kolektoru-pro-vytapani-rodinneho-domu>
- [39] CIHELKA, Jaromír. *Solární tepelná technika*. Praha: T. Malina, 1994. ISBN 80-900759-5-9.
- [40] *Teplá voda bez kompromisov* [online]. 2013, 25. 1. 2013 [cit. 2024-02-25]. Dostupné z: <https://mojdom.zoznam.sk/stavba-a-rekonstrukcia/tepla-voda-bez-kompromisov/>
- [41] *Průtokové ohřivače – teplá voda rychle* [online]. [cit. 2024-02-25]. Dostupné z: <https://www.chatar-chalupar.cz/prutokove-ohrivace-tepla-voda-rychle/>
- [42] CIHLÁŘ, Jan. *Investice do decentralních zdrojů energie* [online]. In: . [cit. 2024-03-12]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/domains/oenergetice.cz/wp-content/uploads/2015/09/SchemaFTS.jpg>
- [43] MATAJS, Vladimír. *Jak funguje ohřev vody fotovoltaikou?* [online]. 2023 [cit. 2024-02-25]. Dostupné z: <https://www.solarniexpert.cz/jak-funguje-fotovoltaicky-ohrev-vody/>

- [44] *Fotovoltaický ohřev vody – ano či ne?* [online]. 2023, 23. 8. 2023 [cit. 2024-03-12]. Dostupné z: <https://acetex.cz/clanky-energeticka-optimalizace/fotovoltaicky-ohrev-vody-ano-ci-ne>
- [45] SRDEČNÝ, Karel. *Solární termické systémy – slepá vývojová větev?* [online]. 2013, 20. 10. 2013 [cit. 2024-02-25]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/10475-solarni-termicke-systemy-slepa-vyvojova-vetev>
- [46] VRÁNA, Jakub. *Stanovení potřeby teplé vody a tepla pro její přípravu a rozvod podle nové ČSN EN 15316-3* [online]. 2012, 23. 7. 2012 [cit. 2024-03-25]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/8850-stanoveni-potreby-teple-vody-a-tepla-pro-jeji-pripravu-a-rozvod-podle-nove-csn-en-15316-3>
- [47] RAŽNJEVIĆ, Kuzman a K RAŽNJEVIĆ. *Termodynamické tabulky*. Bratislava: Alfa, 1984, 313 s.
- [48] *What is the problem with solar thermal panels?* [online]. 15 April 2022n. 1. [cit. 2024-03-19]. Dostupné z: <https://www.open.ac.uk/blogs/design/what-is-the-problem-with-solar-thermal-panels/>
- [49] AMEUR, Arechkik, Asmae BERRADA, Khalid LOUDIYI a Raymond ADOMATIS. *Chapter 6 - Performance and energetic modeling of hybrid PV systems coupled with battery energy storage*. In: . Academic Press, 2021, s. 195-238. ISBN 978-0-12-821403-9. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821403-9.00008-1>
- [50] Fotovoltaický solární panel JINKO 405Wp IP67 bifaciální. *Rent.cz* [online]. c1993–2024 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: https://www.rent.cz/fotovoltaicky-solarni-panel-risen-405wp-ip68/?utm_campaign=heureka&utm_medium=product&utm_source=heureka.cz
- [51] LÁZOKOVÁ, Eva. *Velikost solárních panelů: kolik jich pořídít a jak moc místa zaberou* [online]. 2023, 25. července 2023 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://www.woltair.cz/blog/fotovoltaika/velikost-solarnich-panelu>
- [52] *Solární panel 45Wp 12V polykrystalický Victron Energy BlueSolar series 4a* [online]. c2010-2024 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: https://ecoprodukt.cz/p/82738-solarni-panel-45w-12v-polykrystalicky-victron-energy-bluesolar-series-4a-22369?utm_source=ehub&utm_medium=affiliate&ehub=1528278138c84e0ab35a73cf423c9b8b#productDescriptionLong
- [53] *Zásobníkový ohřivač TUV s dvěma topnými hady řady R2BC* [online]. c2024 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://www.solar-eshop.cz/p/z-sobn-kov-oh-va-tuv-s-dv-ma-topn-mi-hady-ady-r2bc/objem-1500-l/>
- [54] *Trifázový měnič GoodWe 15KT-DT 15kW 2x MPPT* [online]. c2010-2024 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://ecoprodukt.cz/p/81365-trifazovy-menic-goodwe-15kt-dt-15kw-2x-mppt-a-wifi-21332>
- [55] *WATTROUTER® ECO* [online]. c2010-2022 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: https://solarcontrols.cz/cz/wattrouter_eco.html
- [56] *Montáž a instalace fotovoltaiky: Cena, návratnost, dotace 2024* [online]. c2024 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://www.smartphoenix.cz/poradna/montaz-a-instalace-fotovoltaiky-cena-navratnost-dotace-2023>

- [57] *Solar.kolektor CFK - I* [online]. c2021 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://bonus.wolfcr.cz/solar-kolektor-cfk-1/>
- [58] DVOŘÁK, Stanislav. *Výměna nemrznoucí směsi v solárním systému* [online]. 2023, 1. listopadu 2023 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://solarni-ohrev-vody.cz/clanky/vymena-nemrznouci-smesi-v-solarnim-systemu>
- [59] *Solar.čerpáková skupina 10 (reg. čerpadlo) (pův.č.2484529)* [online]. c2021 [cit. 2024-05-16]. Dostupné z: <https://bonus.wolfcr.cz/solar-cerpadlova-skupina-10-reg-cerpadlo-puv-c-2484529/>
- [60] DVOŘÁK, Stanislav. *Složení solárního systému* [online]. 2023, 19. ledna 2023 [cit. 2024-05-16]. Dostupné z: <https://solarni-ohrev-vody.cz/clanky/slozeni-solarniho-systemu>
- [61] MATĚJÁK, Alois. *EXPANZNÍ TLAKOVÉ NÁDOBY NÁVOD NA INSTALACI, PROVOZ A ÚDRŽBU* [online]. 1999 [cit. 2024-05-16]. Dostupné z: <https://www.tlakinfo.com/t.py?t=2&i=219&h=103>
- [62] DVOŘÁK, Stanislav. *Jak namontovat kolektory na rovnou střechu?* [online]. 2023 [cit. 2024-05-16]. Dostupné z: <https://solarni-ohrev-vody.cz/clanky/jak-namontovat-kolektory-na-rovnou-strechu>

SEZNAM ZÁKLADNÍCH POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Veličina	Jednotka
P	Výkon	W
m	Hmotnost	kg
t	Čas	s
I	Solární konstanta	$W \cdot m^{-2}$
U	Napětí	V
T	Teplota	K
S	Plocha jednoho panelu/kolektoru	m^2
E_m	Průměrná měsíční výroba elektrické energie ze systému	kWh
E_d	Průměrná denní výroba elektrické energie ze systému	kWh
H_m	Průměrná měsíční suma záření na m^2 přijímaná moduly	$kWh \cdot m^{-2}$
H_d	Průměrná denní suma záření na m^2 přijímaná moduly	$kWh \cdot m^{-2}$
$c_{p,w}$	Měrná tepelná kapacita vody	$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$
Q_s	Denní spotřeba tepla	kWh
ρ_w	Hustota vody	$kg \cdot m^{-3}$
V	Objem zásobníku	m^3
t_1	Spodní hodnota teploty vody	$^{\circ}C$
t_2	Horní hodnota teploty vody	$^{\circ}C$
H_r	Měrný výkon kolektoru při určité účinnosti	$kWh \cdot m^{-2}$
P_k	Potřebná plocha kolektorů při dané účinnosti	m^2
F	Množství energie, které je nutné dodat z jiného zdroje	kWh
Zkratka	Význam	
OZE	Obnovitelné zdroje energie	
TUV	Teplá užitková voda	
EVA	Ethylenvinylacetát	
MPP	Maximum Power Point	
MPPT	Maximu Power Point Tracking	
PVGIS	Program Photovoltaic Geographical Information System	
ČR	Česká republika	
FV	Fotovoltaika	

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1.1 Závislost přímého a globálního záření na ročním období [5].....	12
Obrázek 1.2 Sluneční záření v ČR [7].	13
Obrázek 1.3 Princip fotovoltaického jevu [13].	14
Obrázek 1.4 Tok energie FV článku [15].....	15
Obrázek 1.5 Od článku až po pole [17].....	16
Obrázek 1.6 Skladba panelu s krystalickými křemíkovými články [20].	16
Obrázek 1.7 Czochralského proces [25].	17
Obrázek 1.8 Organický solární panel [29].	19
Obrázek 1.9 V-A charakteristika FV modulu [31].....	20
Obrázek 1.10 Konstrukce plochého kapalinového kolektoru [36].....	21
Obrázek 1.11 Konstrukce vzduchového solárního kolektoru [38].....	22
Obrázek 1.12 Schéma zapojení fototermického systému [42].....	24
Obrázek 1.13 Schéma zapojení FV systému [44].	25
Obrázek 2.1 Satelitní snímek popisovaného domu z mapy.cz.....	26
Obrázek 2.2 Průměrná měsíční výroba elektrické energie ze systému.	27
Obrázek 2.3 Průměrná měsíční suma záření na m^2 přijímaná moduly.	28
Obrázek 3.1 FV panel Jinko 405 Wp IP67 [50].....	33
Obrázek 3.2 Schéma zapojení s plynovým kotlem a solárním systémem [53].....	34
Obrázek 3.3 Graf návratnosti investice do FV monokrystalického systému bez dotace. .	40
Obrázek 3.4 Graf návratnosti investice do FV monokrystalického systému s dotací.....	41
Obrázek 3.5 Graf návratnosti investice do FV polykrystalického systému bez dotace. .	42
Obrázek 3.6 Graf návratnosti investice do FV polykrystalického systému s dotací.....	44
Obrázek 3.7 Graf návratnosti investice do fototermického systému bez dotace.	45
Obrázek 3.8 Graf návratnosti investice do fototermického systému s dotací.....	46

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1.1 Celkové ozáření dle typu podnebí [9].	13
Tabulka 1.2 Vlastnosti nejpoužívanějších FV technologií [15].	18
Tabulka 2.1 Hodnoty elektrické energie a slunečního záření.	27
Tabulka 2.2 Hodnoty pro fototerický systém.	30
Tabulka 2.3 Hodnoty pro monokrystalický panel.	31
Tabulka 2.4 Hodnoty pro polykrystalický článek.	32
Tabulka 3.1 Přehled cen komponentů pro monokrystalický FV systém.	35
Tabulka 3.2 Přehled cen komponentů pro polykrystalický FV systém.	36
Tabulka 3.3 Přehled cen komponentů pro fototerický systém.	38
Tabulka 3.4 Výpočet roční ušetřené částky pro monokrystalický FV systém.	39
Tabulka 3.5 Určení doby návratnosti pro FV monokrystalický systém bez dotace.	40
Tabulka 3.6 Určení doby návratnosti pro FV monokrystalický systém s dotací.	41
Tabulka 3.7 Výpočet roční ušetřené částky pro polykrystalický FV systém.	42
Tabulka 3.8 Určení doby návratnosti pro FV polykrystalický systém bez dotace.	43
Tabulka 3.9 Určení doby návratnosti pro FV polykrystalický systém s dotací.	43
Tabulka 3.10 Výpočet roční ušetřené částky pro fototerický systém.	44
Tabulka 3.11 Určení doby návratnosti pro fototerický systém bez dotace.	45
Tabulka 3.12 Určení doby návratnosti pro fototerický systém s dotací.	46
Tabulka 3.13 Přehled cen a doby návratnosti systémů.	47

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Data vygenerované pomocí programu PVGIS

